

Diplomarbeit

**Methoden der forensischen Bildgebung als Element der
Befundung von Verletzungen durch Schusswaffen**

eingereicht von

Lisa Maria Vock

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der gesamten Heilkunde

(Drⁱⁿ. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt am

**Diagnostik & Forschungs- (D&F) Institut für
Gerichtliche Medizin**

unter der Anleitung von

Univ.-Prof.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ med. Sarah Heinze

Univ.-Ass. Dr.scient.med. Thomas Widek, MSc

Oberschützen, Oktober 2025

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Des Weiteren erkläre ich hiermit, dass, sofern bei der Erstellung dieser Arbeit Künstliche Intelligenz (KI) Werkzeuge zur Generierung und/oder Korrektur bestimmter Textpassagen verwendet wurden, dieser Einsatz unter Einhaltung ethischer Grundsätze, akademischer Integrität und den Vorgaben meiner Universität erfolgte, sowie in Folge dies transparent gemacht und in angemessener Weise gekennzeichnet wurde.

Oberschützen, am 12.10.2025

Lisa Maria Vock eh.

Danksagungen

Vielen Dank an meine Erstbetreuerin Univ.-Prof.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ med. Sarah Heinze für ihre herausragende fachliche Expertise, ihre Geduld und die wertvollen Ratschläge, die meine Diplomarbeit maßgeblich beeinflusst haben. Gleiches gilt meinem Zweitbetreuer, Univ.-Ass. Dr. scient. med. Thomas Widek, MSc, der nicht nur Verständnis für meine Fragestellungen zeigte, sondern durch konstruktive Kritik und zuverlässige Unterstützung einen entscheidenden Beitrag zum Abschluss der vorliegenden Diplomarbeit leistete.

Ein besonderer Dank gilt meiner Familie, insbesondere meinem Lebensgefährten Mathias, der mich vom ersten Tag des Studiums an begleitet und immer unterstützt hat.

Herzlichen Dank auch meinen Freund*innen sowie Studienkolleg*innen für ihre Verlässlichkeit und Freundschaft über das Studium hinaus.

Zusammenfassung

Hintergrund

Die Wundmorphologie von Schussverletzungen ist variabel und wird durch eine Reihe von Parametern beeinflusst, welche bei der Analyse und Interpretation berücksichtigt werden müssen. Teilweise gestaltet es sich auch schwierig, das eingetretene Projektil im Körper aufzufinden. Neben den klassischen gerichtsmedizinischen Untersuchungsmethoden wie der Obduktion, kommen daher vermehrt bildgebende Verfahren zur Klärung gerichtsmedizinischer Fragestellungen zum Einsatz.

Zielsetzung

Die bildgebende Diagnostik, insbesondere die Schnittbilddiagnostik, hat sich u.a. in Deutschland und in der Schweiz als hilfreich in der Aufklärung komplexer gerichtsmedizinischer Sachverhalte gezeigt, sodass die Chancen und Potenziale für einen künftigen Einsatz forensischer Bildgebung in Österreich aufgezeigt werden sollen.

Material und Methoden

Um den aktuellen Forschungsstand hinsichtlich der Anwendung neuer Technologien in der forensischen Bildgebung zur Untersuchung von Verletzungen durch Schusswaffen umfassend darzustellen, wurde die Methode einer systematischen Literaturrecherche gewählt. Für die Recherche wurden verschiedene Quellen herangezogen, darunter Datenbanken, Fachzeitschriften und Fachbücher.

Ergebnisse

Die präsentierten Vergleichsstudien und Fallberichte unterstreichen vor allem die herausragende Rolle der postmortalen Computertomographie in der Lokalisierung von Projektilen, Identifikation von Verletzungen, Rekonstruktion von Schusskanalverläufen und der Unterscheidung zwischen Ein- und Ausschusswunden. Insbesondere in ausgewählten Fällen können diese bildgebenden Verfahren eine wertvolle Unterstützung nicht nur bei der Lokalisierung, sondern auch der Fallrekonstruktion bieten und stellen möglicherweise sogar eine Alternative zur klassischen Obduktion dar, insbesondere unter erschwerten Umständen.

Trotz dieser Fortschritte weist die forensische Bildgebung jedoch noch Grenzen auf, etwa bei der genauen Bestimmung der Todesursache oder der Erfassung äußerer Befunde wie Hautverletzungen und Schmauchspuren.

Fazit

Die enge Zusammenarbeit zwischen Radiologie und Gerichtsmedizin bleibt entscheidend, um umfassende Diagnosen zu gewährleisten. Die Integration der radiologischen Bildgebung in die forensische Praxis sollte konsequent vorangetrieben werden, da hierdurch die diagnostischen Möglichkeiten in der Gerichtsmedizin erheblich erweitert und präzisiert werden können.

Abstract

Background

The wound morphology resulting from gunshot injuries is variable and influenced by numerous factors that must be considered in the analysis and interpretation. Locating the projectile within the body can often be challenging. Therefore, in addition to traditional forensic examination methods such as autopsy, imaging techniques are increasingly employed to clarify forensic issues.

Objective

Imaging diagnostics, particularly cross-sectional imaging, has proven useful in elucidating complex forensic scenarios in Germany and Switzerland, among others. This highlights the opportunities and potential for future use of forensic imaging in Austria.

Materials and Methods

To comprehensively present the current state of research regarding the application of new technologies in forensic imaging for investigating gunshot injuries, a systematic literature review method was chosen. Various sources were consulted for the research, including databases, academic journals, and textbooks.

Results

The comparative studies and case reports presented highlight above all the critical role of post-mortem computed tomography in locating projectiles, identifying injuries, reconstructing gunshot trajectories, and distinguishing between entry and exit wounds. In selected cases, these imaging techniques can provide valuable support and may even serve as an alternative to traditional autopsy, especially under challenging circumstances.

Despite these advances, forensic imaging still has limitations, particularly in the precise determination of the cause of death or the assessment of external findings such as skin injuries and gunshot residue.

Conclusion

Close collaboration between radiology and forensic medicine remains essential to ensure comprehensive diagnoses. The integration of radiological imaging into forensic practice

should be pursued, as it can significantly enhance and refine the diagnostic capabilities in forensic medicine.

Angaben von bereits erfolgten Veröffentlichungen

Keine.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und deren Erklärung	1
Abbildungsverzeichnis.....	2
Tabellenverzeichnis	3
1. Einleitung.....	4
1.1 Begriffsdefinition Waffe – Schusswaffe.....	4
1.2 Kategorien von Waffen	5
1.3 Anzahl der registrierten Waffen in Österreich.....	5
1.4 Straftaten mit Schusswaffenverwendung.....	7
1.4.1 Österreich.....	7
1.4.2 Deutschland	7
1.4.3 Schweiz.....	8
1.5 Einteilung von Schusswaffen	8
1.5.1 Langwaffen.....	8
1.5.1.1 Büchsen	8
1.5.1.2 Flinten.....	9
1.5.2 Kurzwaffen	9
1.5.2.1 Pistolen.....	9
1.5.2.2 Revolver	9
1.5.3 Munition	10
1.5.3.1 Munition für Langwaffen	12
1.5.3.2 Munition für Kurzwaffen	12
1.6 Ballistik.....	13
1.6.1 Wundballistik.....	14
1.6.2 Schussvorgang	14
1.6.3 Schusskanal.....	15
1.6.4 Schussverletzungen.....	16
1.6.5 Ein- und Ausschuss.....	16
1.6.6 Bestimmung der Schussrichtung	17
1.6.7 Schussdistanz.....	18
1.6.8 Schrotschuss	19
1.7 Forensische Bildgebung	20
1.7.1 Computertomographie	20
1.7.2 Postmortale Computertomographie-Angiographie (PMCTA)	21
1.7.3 Konventionelle Röntgendiagnostik	21
1.7.4 Magnetresonanztomographie.....	22
1.7.5 3D-Oberflächenscanning	23
1.7.6 Fotogrammetrie.....	24

2.	Material und Methoden.....	25
2.1	Systematische Literaturrecherche	25
2.2	Suchstrategie	25
2.3	Literaturauswahl	27
2.4	Methodik der durchgeführten Literaturanalyse	27
3.	Ergebnisse.....	28
3.1	Einsatz von forensischer Bildgebung.....	28
3.1.1	Schweiz.....	29
3.1.2	Deutschland	30
3.1.3	Österreich.....	30
3.1.4	Unterschiede im Einsatz forensischer Bildgebung im deutschsprachigen Raum.....	31
3.1.4.1	Verfügbarkeit technischer Möglichkeiten	31
3.1.4.2	Durchführung von CT-Untersuchungen.....	32
3.1.4.3	Durchführung von Röntgenuntersuchungen	32
3.1.4.4	Befundung der Daten	32
3.1.4.5	Mitteilung der Befunde	33
3.1.4.6	Vergütung.....	33
3.2	Einsatzmöglichkeiten und Vorteile der forensischen Bildgebung	34
3.2.1	Rekonstruktive Aspekte.....	34
3.2.2	Beantwortung gutachterlicher Fragestellungen	36
3.2.3	Radiologische Befunde im Gerichtssaal.....	37
3.2.4	Dokumentationsvorteile im Vergleich zur klassischen Obduktion	39
3.2.5	Objektivierbarkeit im Vergleich zur klassischen Obduktion.....	42
3.3	Diagnostischer Wert forensischer Bildgebung bei der Befundung von Verletzungen durch Schusswaffen	42
3.3.1	Postmortale Multislice-Computertomographie	43
3.3.2	Spezialfall Post-Autopsie-Computertomographie	48
3.3.3	Computertomographie kombiniert mit Magnetresonanztomographie.....	48
3.3.4	7 Tesla Magnetresonanztomographie	52
3.3.5	Postmortale Computertomographie-Angiographie.....	52
4.	Diskussion.....	53
	Literaturverzeichnis	66
	Hilfsmittelverzeichnis	74
	Anhang.....	75

Abkürzungen und deren Erklärung

3D	dreidimensional
3DZZ	3D-Zentrum Zürich
AGFB	Arbeitsgemeinschaft Forensische Bildgebung
CT	Computertomographie
CTA	Computertomographie-Angiographie
DGRM	Deutsche Gesellschaft für Rechtsmedizin
DICOM	digital imaging and communications in medicine
FOR	Forensisches Institut Zürich
ForMalTec	Center for Forensic Machine Learning Technology
IRM	Institut für Rechtsmedizin
IRM-UZH	Institut für Rechtsmedizin der Universität Zürich
LBI CFI	Ludwig Boltzmann Institut für Klinisch-Forensische Bildgebung
MPMCTA	multiphase post mortem computed tomography angiography
MRT	Magnetresonanztomographie
MSCT	Multislice-Computertomographie
PACT	Post-Autopsie-Computertomographie
PMCT	Postmortale Computertomographie
PMCTA	Postmortale Computertomographie-Angiographie
SGRM	Schweizerische Gesellschaft für Rechtsmedizin
StGB	Strafgesetzbuch
T	Tesla
VR	Virtual Reality
WaffG	Waffengesetz
ZWR	Zentrales Waffenregister

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Flowchart der Literaturrecherche und des Auswahlprozesses (nach PRISMA-Statement Schema (44)).....	26
---	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick über die wesentlichen Vorteile der vorgestellten forensischen
Bildgebungsmethoden (eigene Darstellung auf Grundlage der ausgewählten Publikationen)
..... 64

1. Einleitung

Die Analyse und Interpretation von Schussverletzungen stellen eine bedeutende, wenn auch nicht alltägliche Aufgabe der Gerichtsmedizin in Österreich dar. Die Komplexität dieser Verletzungen, insbesondere unter Berücksichtigung verschiedener und neuer Projektilentwicklungen, erschwert die forensische Diagnostik, weshalb vermehrt bildgebende Verfahren in anderen Ländern wie Deutschland und der Schweiz eingesetzt werden. Bisherige wissenschaftliche Arbeiten und Praxiserfahrungen belegen die objektiven und reproduzierbaren Ergebnisse, die durch forensische Bildgebung erzielt werden können. In Deutschland und der Schweiz sind diese Methoden bereits etabliert, während sie in Österreich noch nicht in vergleichbarem Maße genutzt werden. Die Zielsetzung dieser Arbeit besteht darin, die aktuellen Möglichkeiten und Erkenntnisse der forensischen Bildgebung in Deutschland und der Schweiz mit Österreich zu vergleichen und die Chancen für einen künftigen Einsatz in Österreich herauszuarbeiten.

Nachfolgend wird eine Einführung in ballistische und wundballistische Grundlagen gegeben, mit Schwerpunkt auf die Relevanz der in der Diplomarbeit vorkommenden Publikationen.

1.1 Begriffsdefinition Waffe – Schusswaffe

Im Bundesgesetz über die Waffenpolizei (Waffengesetz 1996 – WaffG) wird festgelegt, was unter dem Begriff Waffe generell zu verstehen ist. Es handelt sich laut §1 WaffG um Gegenstände, die dazu vorgesehen sind, die Angriffs- oder Abwehrfähigkeit von Personen durch sofortige Wirkung zu beeinträchtigen oder der Jagd und dem Schießsport zu dienen. Ausschlaggebend ist dabei nicht die Eignung oder subjektive Einstufung als Waffe, sondern die Tatsache, dass der Gegenstand aufgrund seiner Bauweise und Struktur dazu vorgesehen ist, die oben genannte Wirkung auf den Menschen hervorzurufen. Dementsprechend besitzen Viehbetäubungs- und Schlachtschussapparate sehr wohl eine waffenähnliche Wirkung, werden aber definitionsgemäß nicht zu den Waffen gezählt, da sie einen anderen Verwendungszweck haben (1).

Des Weiteren definiert §2 Abs.1 WaffG jene Waffen als Schusswaffen, aus denen Geschosse, nicht aber Flüssigkeiten oder Gase, durch einen Lauf in eine ausgewählte Richtung abgegeben werden können. Folglich werden Schreckschuss- und Gaswaffen (z. B. Pfeffersprays) zwar den Waffen per se zugeordnet, allerdings nicht den Schusswaffen (1).

1.2 Kategorien von Waffen

Das österreichische Waffengesetz unterscheidet drei Kategorien: A, B und C. Waffen der Kategorie A sind für Privatbesitzer*innen grundsätzlich verboten. Es handelt sich hierbei beispielsweise um Maschinengewehre, Pumpguns sowie Kriegsmaterial (2).

Revolver, Pistolen und Halbautomaten werden der Kategorie B zugeordnet. Der Kauf, Besitz und das Führen solcher Waffen ist nur durch eine behördliche Genehmigung, also einen Waffenpass oder eine Waffenbesitzkarte, erlaubt (2).

Waffen der Kategorie C wie etwa Büchsen und Flinten dürfen grundsätzlich mit 18 Jahren erworben und besessen werden. Seit 1. Oktober 2012 muss jedoch die Registrierung innerhalb von sechs Wochen nach Erwerb oder Weitergabe erfolgen. Zum Führen dieser Waffenart sind aber nur Besitzer*innen eines Waffenpasses oder einer gültigen Jagdkarte sowie Mitglieder von Schützenvereinen berechtigt (2).

1.3 Anzahl der registrierten Waffen in Österreich

Mit 1. Jänner 2023 waren exakt 1.399.708 Waffen, verteilt auf 350.291 Waffenbesitzer*innen, im österreichischen Zentralen Waffenregister (ZWR) registriert (3). Dies bedeutet, dass jede dieser Personen im Mittel etwa 4 Schusswaffen besaß. In Bezug auf die Gesamtbevölkerung ab 15 Jahren, die laut Statistik Austria (4) zu diesem Zeitpunkt 7.789728 Personen umfasste, ergibt sich, dass etwa 4,5 % der über 15-Jährigen im Besitz einer oder mehrerer Schusswaffen waren. Im Durchschnitt entspricht dies annähernd 0,18 Schusswaffen pro Einwohner über 15 Jahre.

Knapp ein Drittel der Waffen (405.463) sind in Niederösterreich verortet (3), wo gemessen an der Gesamtbevölkerungszahl ab 15 Jahren etwa 6,22% dieser Personengruppe im Besitz von zumindest einer Schusswaffe gewesen ist (4). An zweiter Stelle folgt Oberösterreich mit 245.664 (3) (4,75%) (4) und anschließend die Steiermark mit 214.038 Waffen (3) (5,27%) (4). In Österreichs westlichstem Bundesland Vorarlberg besitzen 10.893 Personen insgesamt 38.539 Waffen (3), was einen Anteil von ca. 3,19% der über 15-Jährigen bedeutet (4).

Beim Großteil der registrierten Waffen handelt es sich um Büchsen und Flinten (Kategorie C). Genau 776.917 solcher Gewehre waren Anfang Jänner 2023 im ZWR eingetragen. An zweiter Stelle stehen 491.626 Waffen der Kategorie B. Den kleinsten Anteil der registrierten Waffen bilden jene der Kategorie A. Aktuell sind 131.165 Stück im ZWR erfasst (3).

Das vom Bundesministerium für Inneres geführte österreichische ZWR wurde am 1. Oktober 2012 eingeführt und dient der landesweiten Waffen- und Rüstungskontrolle. Die Richtlinie 2008/51/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 zur Änderung der Richtlinie 91/477/EWG des Rates über die Kontrolle des Erwerbs und des Besitzes von Waffen, machte die Einführung eines computergestützten Waffenregisters notwendig (5,6).

Ebenso wie in Österreich werden in Deutschland alle relevanten Daten zu Waffen und deren Besitzer*innen im nationalen Waffenregister gespeichert. Seit 2013 werden darin alle Informationen gesammelt und den berechtigten Behörden dauerhaft zugänglich gemacht (7).

In der Schweiz hingegen gibt es weder ein solches zentrales Waffenregister noch gesicherte Zahlen über den tatsächlichen Bestand an Waffen im Privatbesitz (8).

1.4 Straftaten mit Schusswaffenverwendung

1.4.1 Österreich

Im Jahr 2021 wurden in Österreich 410.957 strafbare Handlungen registriert, wobei es sich in 40.193 Fällen um versuchte Straftaten handelte (9).

Bundesweit sind im Bereich der Gewaltdelikte 67.441 Fälle zur Anzeige gebracht worden. Dazu gehören strafbare Handlungen gegen die Freiheit, Leib und Leben, die Selbstbestimmung und sexuelle Integrität und gegen fremdes Vermögen, welche mit einem Vorsatz begangen werden. Bei 3.022 Gewaltdelikten kam eine Schuss-, Hieb- oder Stichwaffe zum Einsatz. Im Vergleich zum Vorjahr verzeichnete man um 73 Fälle weniger (9).

Insgesamt wurden 795 Straftaten, in denen Schusswaffen ein Teil der Tathandlung waren, verübt. Darunter ist zu verstehen, dass bei der Tatbegehung eine Schusswaffe im Sinne des §2 WaffG entweder mitgeführt, damit gedroht oder geschossen worden ist (10).

Im Vergleich dazu wurden Stichwaffen fast viermal so häufig eingesetzt (3.015), gefolgt von Hiebwaffen mit 1.182 Fällen. Die Diskrepanz dieser Zahlen ergibt sich aus der Tatsache, dass nicht alle dieser Straftaten dem Bereich der Gewaltkriminalität zuzuordnen sind, sondern auch andere Tatbestände wie z. B. Tierquälerei nach §222 Strafgesetzbuch (StGB) umfassen. Von den 795 Straftaten mit Schusswaffengebrauch wurde in etwas weniger als der Hälfte der Fälle tatsächlich geschossen. Am häufigsten kam es beim Tatbestand der Tierquälerei nach §222 StGB zur Anwendung einer Schusswaffe (10).

Die Zahl der Anzeigen aufgrund von vollendeten Mordes nach §75 StGB ist verglichen mit dem Vorjahr um 8 Fälle auf 51 gestiegen. 36 Frauen und 18 Männer wurden dabei getötet (9). In 17 Mordfällen wurde mit einer Schusswaffe geschossen, während in einem Fall eine Schusswaffe zumindest mitgeführt, der Mord jedoch ohne deren Einsatz verübt wurde (10).

1.4.2 Deutschland

Im benachbarten Deutschland sind zwischen dem 1. Januar 2021 und dem 31. Dezember 2021 insgesamt 5.047.860 Straftaten erfasst worden, darunter 3.881 Schusswaffendrohungen und 4.074 Fälle von Schusswaffengebrauch. Darüber hinaus

kamen 423 Mordversuche zur Registrierung (11). 115 Männer und 142 Frauen starben bei 220 vollendeten Morden gemäß deutschem Strafrecht §211 StGB, wobei in 28 Fällen mit einer Schusswaffe geschossen wurde (12,13).

1.4.3 Schweiz

In der Schweiz ereigneten sich im gleichen Zeitraum 184 versuchte und 42 vollendete Tötungsdelikte nach Art.111-113/116 schweizerischem StGB. Bei 19 % der vollendeten Tötungsdelikte wurde eine Schusswaffe als Tatmittel sichergestellt, was einer absoluten Zahl von 8 Fällen entspricht. Insgesamt wurden 45.617 Gewaltstraftaten im Jahr 2021 in der Schweiz angezeigt (14).

1.5 Einteilung von Schusswaffen

Es gibt verschiedene Kriterien zur Klassifizierung von Schusswaffen, jedoch werden sie grundsätzlich gemäß ihrer Handhabung in Lang- und Kurzwaffen unterteilt (15).

1.5.1 Langwaffen

Bei Langwaffen handelt es sich um Schusswaffen, die eine Gesamtlänge von mehr als 60cm aufweisen (16). Sie werden auch als Handfeuerwaffen bezeichnet, da für deren Bedienung beide Hände notwendig sind (15,17,18). Darüber hinaus ist auch der Begriff „Gewehre“ für diese Waffen gebräuchlich. Langwaffen umfassen eine Vielzahl von Waffentypen, darunter Scharfschützengewehre, Maschinengewehre, Armeegewehre und Jagdgewehre (15,16). Aufgrund der Häufigkeit der Verwendung und eines aufgegriffenen Fallberichts, wird auf Letztere nachfolgend näher eingegangen.

1.5.1.1 Büchsen

Eine Büchse ist ein Gewehr, das einen oder mehrere gezogene Läufe besitzt, die im Inneren sogenannte Züge und Felder aufweisen (15–18). Diese Längsrillen verleihen dem Geschoss einen Drall, der wiederum die Flugbahn des Geschosses stabilisiert (15). Besitzt das Gewehr zwei gezogene Läufe, spricht man von einer Doppelbüchse (15,16).

1.5.1.2 Flinten

Eine Flinte, die oft auch als Schrotflinte bezeichnet wird, unterscheidet sich von der Büchse dadurch, dass ihr Lauf eine glatte Bohrung aufweist und somit keine Felder und Züge besitzt (15–18). Hauptsächlich wird eine Flinte zum Verschießen von Schrotmunition in der Jagd verwendet (15–17). Darüber hinaus kommt sie auch als Sport- oder Dienstgewehr zum Einsatz. Analog zu den Büchsen werden Flinten mit zwei glatten Läufen als Doppelflinten bezeichnet (15,16).

Werden eine Büchse und eine Flinte kombiniert und ein gezogener Lauf mit einem glatten zu einer Einheit zusammengefasst, so spricht man von einer Büchsflinte (15,16). Wahlweise kann damit die Abgabe eines „Kugel“- oder Schrotschusses erfolgen (16).

1.5.2 Kurzwaffen

Kurzwaffen, wie Pistolen und Revolver, ermöglichen im Gegensatz zu den Langwaffen die Bedienung mit einer Hand und wurden früher auch als Faustfeuerwaffen bezeichnet (15–19).

1.5.2.1 Pistolen

Pistolen sind meist mehrschüssige Selbstlader (15,17,18), die ein Magazin im Griffstück integriert haben (15–18). Nach der Schussabgabe wird die leere Hülse ausgeworfen und eine neue Patrone rückt aus dem Magazin nach, wodurch sofort wieder ein Schuss abgegeben werden kann (16–18). Einschüssige Pistolen sind vorrangig im Waffensport und daher auf Schießständen zu finden, wo eine besonders hohe Präzision gefordert wird. Eine besondere Rolle unter den Pistolen nimmt die Maschinenpistole ein. Dabei handelt es sich um eine automatische Waffe, die Pistolenmunition verschießt und je nach verwendetem Magazin eine Schusskapazität von 30 – 50 Schuss aufweist (15).

1.5.2.2 Revolver

Im Gegensatz zu den Pistolen sind Revolver Einzelfeuerwaffen (15), bei denen vor jedem Schuss der Hahn gespannt wird, um die nächste Patrone, die in der sogenannten Trommel positioniert ist, abzufeuern. Für gewöhnlich fasst die Trommel 5–8 Schuss, abhängig von

der Größe der Waffe und der Stärke der Patrone. Die Patronen werden daher nicht ausgeworfen (15,16).

Zusätzlich zu der oben genannten Einteilung in Kurz- und Langwaffen können Schusswaffen auch basierend auf der Lade- und Feuerungsmechanik klassifiziert werden: Einzellader wie z. B. Doppelbüchsen oder Doppelflinten erfordern eine separate Ladung für jeden Schuss. Im Gegensatz dazu nutzen Repetierer, die zu den Mehrladewaffen gezählt werden, ein Magazin für die Patronenzuführung. Zur Kategorie der Mehrladewaffen zählen ebenfalls automatische Schusswaffen, die in Halb- und Vollautomaten unterteilt werden. Halbautomaten laden nach jedem Schuss automatisch nach, während Vollautomaten, wie Maschinengewehre, mehrere Schüsse mit einer einzigen Betätigung des Abzugs abgeben können (15,16).

1.5.3 Munition

Der Sammelbegriff Munition umfasst sämtliches Schießmaterial für Feuerwaffen, einschließlich der Projektile, deren Treibladungen sowie Zünd- und Leuchtelemente (16).

Die einzelnen Bauteile werden im Weiteren bezüglich ihrer wichtigsten Merkmale beschrieben:

Eine Patrone setzt sich aus der Hülse mit dem Geschoss oder Projektil, der Treibladung und dem Zündsatz zusammen (15–17). Je nach Region wird sie entweder mit metrischen oder zollbasierten Maßeinheiten gekennzeichnet (15–18). Unter dem Begriff Kaliber versteht man den Durchmesser des Laufs einer Waffe bzw. des Projektils selbst (15,16,19). Zudem bezeichnet das Wort Kaliber auch die Hülsenlänge (15,16).

Treibmittel dienen dem Zweck, Geschosse zu beschleunigen (15,16) und werden als fertige oder lose Ladungen in Waffen eingebracht (16). Sie basieren mittlerweile vornehmlich auf Pulvern wie Nitrocellulose, welche eine effiziente und kontrollierte Verbrennung ermöglichen. Das vermutlich älteste bekannte Treibmittel – Schwarzpulver – wird heutzutage nur noch in einzelnen Fällen wie z.B. in historischen Vorderladerwaffen, verwendet (15,16,18).

Das Geschoss überträgt die benötigte Energie zum Ziel und existiert in verschiedenen Ausführungen wie Mantelgeschossen, Hartkerngeschossen, Vollmantel- und Leuchtpurgeschossen. Jede dieser Variante weist typische Merkmale auf und besteht je nach Verwendungszweck aus Messing, Blei, gehärtetem Stahl (15,16) oder Kunststoff (15). Zudem werden Geschosse anhand ihrer Verformbarkeit beim Eindringen in ein Medium klassifiziert, wobei zerlegende Geschosse von formstabilen und deformierenden Geschossen unterschieden werden (15).

Um das Treibmittel zu entzünden, bedürfen Patronen einem sogenannten Zündelement mit einem Zündsatz, welcher einen Funken für die Treibladung erzeugt (15,16). Mit der Verwendung des oben erwähnten Nitrocellulosepulvers mussten auch neue Zündsätze hergestellt werden, da die moderneren Pulver einen kräftigeren Zündimpuls erfordern, als es beim Schwarzpulver der Fall war. Im Laufe der Zeit wurden die Zündsätze weiterentwickelt und deren Hauptbestandteile ausgetauscht (15,16,18), sodass durch die Verwendung von Zündsätzen ohne Barium und Blei die Umweltbelastung minimiert werden konnte (16).

Bei Lang- und Kurzwaffen wird zwischen zwei Zündelement-Anordnungen unterschieden: Zentralfeuerzündung und Randfeuerzündung. Bei der Zentralfeuerung ist der Zündsatz in einer Zündkapsel in der Mitte des Hülsenbodens platziert. Die Detonation erfolgt durch Reibungs- und Schlagenergie auf den Zündstift. Zudem wird bei der Zentralfeuerung zwischen der sogenannten Boxer-Zündung und der Berdan-Zündung differenziert. In erster Linie liegt der Unterschied dieser Zentralfeuerungsarten in der Anordnung des sogenannten „Amboss“, der als Widerlager für den Schlagbolzen der Schusswaffe dient. Die Boxer-Zündung hat diesen in der Kapsel, während bei der Berdan-Zündung der Amboss Teil der Hülse ist, wodurch mindestens zwei Zündkanäle benötigt werden. Im Gegensatz dazu nutzt die Randfeuerung einen Zündsatz am Rand des Hülsenbodens und wird für Patronen mit geringem Gasdruck eingesetzt (15,16).

Die Verbrennung des Treibmittels erzeugt den hohen Gasdruck, der das Geschoss beschleunigt (15–17,19). Die Hülse schließt den Verbrennungsraum und schützt den Zündmechanismus vor Hitze. Zudem richtet sie das Geschoss mittig aus und gewährleistet ein gleichmäßiges Abbrennen des Pulvers. Es existieren, abhängig von den Anforderungen der jeweiligen Patrone, verschiedene Hülsenkonstruktionen (15).

Randhülsen unterstützen am hinteren Ende des Patronenlagers und sind typisch für Revolverpatronen. Randlose Hülsen, deren Hülsenboden nicht über den Hülsenkörper hinausragt, sind dagegen bei Pistolen und Militärmunition weit verbreitet, da sie besser ins Magazin passen. Bei Patronen mit hohem Gasdruck wird der Übergang vom Boden zum Körper der Hülse mit einem Wulst verfestigt. Derartige Hülsen werden mit der zusätzlichen Bezeichnung „mit Gürtel“ versehen. Sie sind besonders bei starken Jagdpatronen anzutreffen (15,16).

1.5.3.1 Munition für Langwaffen

Militärische Patronen sind auf hohe mechanische Belastungen und eine schnelle Abfolge von Schüssen ausgelegt (15), während Jagdmunition auf Einzelschüsse mit hoher Energie und einer guten Durchschlagskraft abzielt. Letztgenannte ist an den verhältnismäßig großen Hülsen erkennbar und wird je nach Schussdistanz und Einsatzzweck mit leichten oder schweren Geschossen eingesetzt (15,16).

Flintenmunition wird hauptsächlich in glatten Läufen verwendet und nutzt Schrotmunition, die ohne Drall eine stabile Flugbahn besitzt. Die Schrotladung besteht aus vielen kleinen Kugeln aus Hartblei oder Weicheisen (15,16). Bei Flintenlaufgeschossen handelt es sich nicht um Schrotladungen, sondern um ein Geschoss, das aus Kupfer oder Kupferlegierungen besteht und eine höhere Präzision bietet. Aufgrund der geringeren Mündungsgeschwindigkeiten und höheren Streuung ist die praktische Reichweite von Flintenmunition auf 30-50 Meter begrenzt (15).

Wegen der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Jagdbüchsen gibt es auch bei den dazugehörigen Patronen eine große Bandbreite an Kalibern und Geschosstypen. Diese umfassen Vollmantel-, Teilmantel-, sowie Blei- und verschiedene Spezialgeschosse (16).

1.5.3.2 Munition für Kurzwaffen

Revolvermunition und Pistolenpatronen weisen grundlegende Unterschiede in ihrer Konstruktion und Anwendung auf, wobei beide auf spezifische Anforderungen und Einsatzgebiete abgestimmt sind. Beide Munitionsarten bieten eine Vielzahl an Geschosskonstruktionen, um unterschiedliche Anforderungen an Durchschlagskraft und Zielwirkung zu erfüllen (15,16).

Pistolenpatronen besitzen typischerweise randlose Hülsen (15,16), die den Zuführmechanismus und die Magazinierung in Maschinen- und Selbstladepistolen erleichtern. Aufgrund der leichten Bauweise der Waffe und der Möglichkeit, sie einhändig zu bedienen, müssen der Impuls und die Energie der Mündung geringgehalten werden. Dies wird durch die Verwendung einer kleinen Menge Treibladung erreicht, was das Volumen der Hülse und die Länge der Patrone reduziert (15).

Revolvermunition hingegen verfügt über Randhülsen (15,16,18), die im Vergleich zu Patronenhülsen länger sind. Diese Konstruktion unterstützt die Funktionsweise des Revolvers, der sich durch eine andere Lade- und Abfeuerungsmechanik als die Pistole auszeichnet (15,16). Revolver verwenden vorwiegend Teilmantel- oder Vollbleigeschosse, während Pistolen hauptsächlich Vollmantelgeschosse nutzen (15,16,18). Trotzdem sind viele der Geschosskonstruktionen, die für Pistolen verfügbar sind, auch für Revolver erhältlich (15,16).

1.6 Ballistik

Die Ballistik ist eine Wissenschaft, die sich mit der Bewegung von Geschossen und den damit verbundenen physikalischen Phänomenen befasst (16,17,20). In Abhängigkeit von der Umgebung, in der sich die Geschossbewegung vollzieht, gliedert sich die Ballistik in verschiedene Teilbereiche: Die Außenballistik behandelt die Flugbahn des Projektils zum Ziel, wobei Faktoren wie Flugbahn, Geschwindigkeit und Einflüsse auf das Geschoss berücksichtigt werden. Die Innenballistik hingegen widmet sich den Prozessen, die im Zusammenhang mit der Beschleunigung eines Geschosses im Inneren einer Waffe auftreten, während die Mündungsbalistik die Bewegung des Geschosses unmittelbar nach dem Verlassen der Waffe behandelt. Die Zielballistik oder auch Endballistik untersucht die Gesetzmäßigkeiten, die auftreten, wenn das Geschoss auf ein Objekt trifft und dieses durchdringt (16,20). Im Falle eines getroffenen Menschen oder Tieres wird dieses spezifische Fachgebiet als Wundballistik bezeichnet (18,20,21). In Bezug auf die Themenstellung der vorliegenden Arbeit wird im Folgenden ausschließlich der Aspekt der Wundballistik näher betrachtet.

1.6.1 Wundballistik

Die schädliche Wirkung von Geschossen entsteht durch direkte anatomische Zerstörungen im Schusskanal sowie durch Druckschwankungen und Gewebsverlagerungen (18). Die mechanische Wirkung des Projektils hängt von der abgegebenen kinetischen Energie im Gewebe ab (17,18).

In der Wundballistik von Hochgeschwindigkeitsgeschossen ist die temporäre Wundhöhle von zentraler Bedeutung. Es kommt zur Bildung einer vorübergehenden Wundhöhle (20), die durch seitliche Verdrängung und zentrifugale Beschleunigung des Gewebes beim Durchdringen des Geschosses entsteht. Diese Höhle kann deutlich größer sein als das Geschoss selbst (18), fällt jedoch nach dem Durchgang des Geschosses zu der bleibenden Wundhöhle in sich zusammen, dem Schusskanal (17). Der bleibende Schusskanal umfasst das zerstörte Gewebe im Verlauf des Geschosses und das umgebende Areal mit temporären Dehnungen und Strukturschäden (18).

1.6.2 Schussvorgang

Die Zündung der Patrone erfolgt durch den Schlagbolzen, woraufhin das im Patronenboden enthaltene Pulver detoniert und ein erhebliches Volumen unter hohem Druck freisetzt, das das Geschoss aus dem Lauf beschleunigt. Bereits vor dem Austritt des Projektils entsteht an der Mündung eine Schmauchwolke (17,18,20), die aus Rückständen wie nicht vollständig verbranntem Kohlenstoff und Rußpartikeln besteht. Diese Partikelwolke wird durch die Luftverwirbelung abgebremst, was zu Schmauchablagerungen nahe der Mündung führt, während größere Pulverteilchen auch weiter entfernte Ziele erreichen können (18).

Das Ausmaß und die Verteilung der Schmauchspuren eines Ziels sind zum einen von der Schussentfernung und zum anderen von der spezifischen Patrone und der verwendeten Feuerwaffe abhängig (18). Eine exakte Analyse erfordert daher Vergleichsschüsse mit derselben Munition und Waffe (17,18).

Bei Faustfeuerwaffen sind typischerweise sichtbare Schmauchspuren in einer Entfernung von 10–15 cm bei Nahschüssen erkennbar. Je nach spezifischer Waffe und Munition

können Pulverpartikel Ziele in verschiedenen Entfernungen erreichen. Die Anwendung eines Schalldämpfers reduziert signifikant die Schmauchbildung, was zu einer irreführenden Einschätzung der Schussentfernung führen kann (18).

An der Mündung des Laufs lassen sich zwei verschiedene Lichterscheinungen beobachten: ein kurzer (17), dunkelroter Feuerstrahl direkt aus der Mündung (18) und ein greller Feuerball etwas weiter vom Laufende entfernt (17,18,20).

Während Nitropulver in der Regel keine thermischen Schäden an Kleidung und Haut verursacht, kann Schwarzpulvermunition bei Nahschüssen Verbrennungen und Haarversengungen hervorrufen (18).

1.6.3 Schusskanal

Ein Projektil, das den Körper durchdringt, initiiert zwei gleichzeitige Prozesse: Erstens verursacht der direkte Kontakt mit der Geschossoberfläche Zermalmungen des Gewebes und bildet einen beständigen Schusskanal, der mit Blut und zerstörten Gewebepartikeln gefüllt ist. Zweitens führen Scher- und Dehnungsbewegungen zur Bildung einer temporären Wundhöhle (s.o.).

Obwohl die temporäre Wundhöhle letztlich zusammenfällt, erleidet das Gewebe beträchtliche Zerstörungen. Diese sind insbesondere entlang des bleibenden Wundkanals stark, was als Zone der Gewebsruptur bekannt ist. In der weiter entfernten Zone der Extravasation sind keine makroskopischen Defekte sichtbar, jedoch zeigen histologische Untersuchungen Quetschungen und kleinere Einblutungen im Gewebe.

In der äußersten Zone 3 kommt es zu einer reinen Dehnung des Gewebes ohne strukturelle Schädigung. Die Intensität der Gewebszerstörung wird neben den Eigenschaften der Waffe und Munition maßgeblich durch die Elastizität des Gewebes beeinflusst (22).

Meist ist der Schusskanalverlauf im Inneren des Körpers geradlinig (18,21), wenn das Projektil nicht auf Zwischenziele wie z.B. Knochen im Körper trifft. Allerdings kann es bei Vollmantelgeschossen, die aus einem Gewehr abgefeuert werden (18), zu einer Knickbildung im Schusskanal kommen (18,21), insbesondere wenn die Schusskanallänge im Körper 20–30 cm überschreitet (18).

1.6.4 Schussverletzungen

Schussverletzungen können u.a. in Durchschuss, Steckschuss, Prellschuss und Streifschuss klassifiziert werden (17,18,22). Zudem gibt es noch einige besondere Arten von Schussverletzungen, die an dieser Stelle jedoch keine Erwähnung finden sollen.

Beim Durchschuss entstehen sowohl Ein- als auch Ausschusswunden (17,22). Verfügt das Projektil über geringe Energie, kann es zu Rissen der Haut entlang der Spaltungslinien kommen, was schlitzförmige Risse hervorruft. Stark deformierte oder fragmentierte Projektilen führen zu unregelmäßigen Austrittswunden, deren Wundränder sich in der Regel gut adaptieren lassen, es sei denn, es tritt ein signifikanter Gewebeverlust bei hoher Austrittsgeschwindigkeit oder Kontakt mit harten Objekten auf (22).

Ein Steckschuss zeichnet sich dadurch aus, dass das Projektil im Körper verbleibt und lediglich eine Einschusswunde entsteht. Oft kommt das Projektil dicht unter der Haut zu liegen und kann dadurch ertastet werden (17,18,22).

Beim Prellschuss wird das Projektil durch den Kontakt mit einem Objekt abgelenkt und deformiert, was zu einem instabilen Flug und großen, unregelmäßigen Einschusswunden führt (17,22).

Streifschüsse, bei denen das Projektil die Körperoberfläche tangential verletzt, führen zu oberflächlichen Schäden an Haut und Unterhautgewebe, wobei kleine Einrisse entlang des Streifschussdefekts auftreten (22).

1.6.5 Ein- und Ausschuss

Das Erscheinungsbild der Einschussverletzung ist bei der gerichtsmedizinischen Untersuchung von Schussverletzungen entscheidend, da es Rückschlüsse auf die Projektilmerkmale, Schussentfernung und den Auftreffwinkel zulässt. Einschussverletzungen weisen von außen nach innen folgende charakteristische Merkmale auf: An äußerster Stelle kann ein Dehnungssaum beobachtet werden, der bei genauerer Betrachtung aus zahlreichen punktförmigen Hauteinblutungen besteht (22). Der angrenzende Kontusionsring resultiert aus oberflächlichen Überdehnungs- und Schürfungseffekten und ist bei Verstorbenen durch eine braunrote Vertrocknung gekennzeichnet (18,22). Daran anschließend befindet sich der sogenannte Abstreifring.

Dieser entsteht durch die Übertragung von Zünd- und Treibstoffrückständen (17,22) und variiert in Breite und Form in Abhängigkeit vom Auftreffwinkel (22). Im Zentrum der Einschussöffnung zeigt sich ein zumeist rundlicher oder ovaler Gewebsdefekt (17,22), dessen Wundränder sich in der Regel nicht adaptieren lassen (22). Aufgrund der physikalischen Kräfte, die auf das Projektil einwirken (22), sowie der Elastizität der Haut erscheint der Durchmesser der Schussöffnung i.d.R. etwas kleiner als jener des Projektils (17,22).

Die beschriebenen Merkmale variieren erheblich, beeinflusst durch die Schussdistanz, Projektilform, getroffene Körperregion, verwendete Schusswaffe und den Einschusswinkel. Besonders instabile Geschosse können zu unregelmäßig geformten Einschusswunden führen, was die Differenzierung von Ausschusswunden erschwert. Wenn ein Projektil Lagen an Kleidung oder auch mehrere Körper durchdringt, fehlt im zweiten Körper typischerweise der Abstreifring (22).

Nachweisbare Indikatoren für Einschusswunden umfassen neben dem Abstreifring auch Nahschusszeichen wie Schmauchspuren und thermische Veränderungen der Haut und des Gewebes (17,22). Bei sehr geringen Schussdistanzen bewirkt das Mündungsfeuer thermische Veränderungen, und es kommt zu chemisch nachweisbaren Umwandlungen von Hämoglobin und Myoglobin. Aufgrund der variierenden Energieabgabe des Projektils entlang des Schusskanals ist eine Unterscheidung zwischen Ein- und Ausschuss allein anhand der Größe nicht zuverlässig (22).

Bei Ausschusswunden verlässt das Projektil den Körper, wobei die Haut zunächst nach außen gedrückt wird, bevor sie einreißt (17,22). Aufgrund dieses Prozesses zeigen jene Verletzungen oft die Form eines Schlitzes und sind ungleichmäßig gestaltet und adaptierbar. Im Gegensatz zur Einschusswunde, kommt es am Ausschuss nicht zum Auftreten eines Abstreifrings (17,18,22).

1.6.6 Bestimmung der Schussrichtung

Die Unterscheidung von Ein- und Ausschussverletzungen kann durch äußere Faktoren wie beispielsweise bei Wasserleichen oder stark fortgeschrittener Verwesung erschwert sein. Während Knochentreffer oft relevante Informationen zur Schussrichtung liefern, sind die

Verletzungen der Weichteile weniger aussagekräftig. Knochensplitter und Metallabrieb können aufgrund von Scher- und Dehnungskräften entlang des gesamten Schusskanals vorkommen und die Analyse zusätzlich erschweren (22).

Für die Rekonstruktion von Schusswaffenverletzungen ist es außerdem wichtig, nicht nur zwischen Ein- und Ausschuss zu unterscheiden, sondern auch den Schusswinkel zu bestimmen. Der Schusskanalverlauf im Körperinneren ist dabei entscheidend, da sich die Bewegungsrichtung im Falle von langen, schmalen Projektilen im Bereich der temporären Wundhöhle um bis zu 30 Grad ändern kann (22). Zur Bestimmung des Schusswinkels müssen die Wundkanallänge und die präzise Lage des Ein- und Ausschusses, beziehungsweise bei Steckschüssen die Endposition des Projektils, sorgfältig gemessen und schriftlich festgehalten werden. Aussagen zur Schussrichtung am Ereignisort können nur dann getroffen werden, wenn zusätzliche Informationen, wie etwa die Körperhaltung des Opfers, vorliegen. Bei Durchschüssen ist es für die Rekonstruktion der Flugbahn entscheidend, mögliche sekundäre Aufprall- oder Eindringstellen des Projektils zu kennen (18).

1.6.7 Schussdistanz

Im Nahschussbereich ermöglicht die Detektion von Schmauch und Pulverteilchen eine präzisere Bestimmung der Schussentfernung. Die Klassifizierung erfolgt anhand morphologischer Merkmale in Fernschuss, relativen Nahschuss und absoluten Nahschuss (21).

Ein Fernschuss wird diagnostiziert, wenn weder Nahschusszeichen noch Schmauchspuren festgestellt werden können (17,18,22), was typischerweise ab einer Distanz von etwa 3 Metern der Fall ist. Die genaue Bestimmung der Schussentfernung erfordert umfassende Informationen über die verwendete Waffe und Munition sowie eine präzise Dokumentation des Schusskanals (18).

Relative Nahschüsse zeigen um den Einschuss herum Schmauchrückstände sowie teilweise Pulverteilchen, die je nach Nähe zur Waffe unterschiedlich verteilt sind (17,18). Diese können in nähere und weitere relative Nahschüsse unterteilt werden, abhängig von der Ausdehnung der Schmauchspuren und der Menge an Pulverablagerungen (18).

Ein absoluter Nahschuss tritt auf, wenn die Waffenmündung direkt auf den Körper aufgesetzt wird (17,18,22), was zu einer signifikanten Unterminierung der Haut durch Treibmittelgase führt. Diese Art von Verletzung hinterlässt charakteristische Merkmale wie Schürfungen und Stanzmarken, deren Ausprägung durch den Druck der Treibmittel und die Nähe der Waffe beeinflusst wird. Bei Schussabgaben mit aufgesetzter oder nahezu aufgesetzter Waffe kann der Druck, welcher sich innerhalb der Schmauchhöhle unter der Haut aufbaut, derart hoch sein, dass es zu deutlich erkennbaren Schürfungen und kleinen Verlusten der obersten Hautschicht kommt (22). Diese Schürf- und Druckeffekte können zu Hauteinrissen führen und das sogenannte Waffengesicht – sprich jene Teile der Waffe, welche sich in der Ebene der Mündung oder etwas dahinter befinden – in unterschiedlichem Ausmaß wiedergeben (18,22). Man spricht in solchen Fällen von einer „Stanzmarke“, aus deren Merkmalen sich kriminalistisch wichtige Rückschlüsse ziehen lassen (17,18).

1.6.8 Schrotschuss

Konventionelle Schrotkörner bleiben oft im Körper zurück, ohne Austrittswunden zu verursachen (18,22). Das Schussbild von Schrotmunition unterliegt Veränderungen, die von der Distanz zum Zielobjekt abhängen. Auf kurze bis mittlere Entfernungen zeigt sich ein siebartiges Treffermuster (17,18). Bei nahen Schüssen besteht die Möglichkeit, dass Zwischenmittel zusammen mit der Schrotmunition in den Körper eindringen. Absolut nahe Schüsse ähneln denen aus gezogenen Läufen (18,22): Der Einschussdefekt hat eine rundliche Form, entspricht dem Laufdurchmesser und kann sternförmige Einschusswunden mit langen Rissstrahlen auf knöchernen Regionen wie der Stirn hinterlassen. In direkter Nähe der Einschussöffnung kann eine geformte Hautabschürfung auftreten, die nach dem Tod austrocknet. Die Einschussstelle ist durch Schmauch geschwärzt, während das umgebende Gewebe durch Kohlenmonoxid-Hämoglobin hellrot verfärbt ist. Kopfschüsse mit aufgesetzter Waffe können massive Zerstörungen des Schädelskeletts verursachen. Bei relativen Nahschüssen ist die Einschusswunde oft von Pulverteilen und Schmauch umgeben. Die Schrotkörner verformen sich bei Kontakt mit dichtem Gewebe und hinterlassen bei Knochenkontakt einen grauen Bleiabrieb (18).

1.7 Forensische Bildgebung

Die Fortschritte in der Bildgebung haben der Gerichtsmedizin neue Möglichkeiten eröffnet, sodass moderne Verfahren eine wichtige Rolle bei der Beurteilung und Dokumentation forensischer Befunde spielen (23). Es können im Grunde alle Ergebnisse, welche auch bei einer Obduktion festgestellt werden, mittels forensischer Bildgebung erfasst werden. Allerdings lassen sich diese Befunde nicht allein durch eine einzige Technik nachweisen, sondern erfordern die kombinierte Anwendung verschiedener Methoden (24).

1.7.1 Computertomographie

Die Computertomographie nutzt das physikalische Prinzip der unterschiedlichen Strahlenabsorption von Geweben, um auf Basis der Röntgentechnik präzise Schnittbilder des Körpers zu erzeugen (25).

Die Grundlage der CT-Technologie basiert auf der Durchleuchtung des zu analysierenden Objekts mithilfe eines kegel- bzw. fächerförmigen Bündels aus Röntgenstrahlen, die aus unterschiedlichen Richtungen eintreffen. Die Abschwächung der Röntgenstrahlung variiert je nach Dicke und Beschaffenheit des durchstrahlten Gewebes. Diese Strahlung mit unterschiedlicher Intensität wird auf der gegenüberliegenden Seite von Detektoren erfasst und gemessen. Anschließend werden die daraus resultierenden elektrischen Signale an den Computer übermittelt. Durch den Einsatz mathematischer Rekonstruktionsmethoden werden für jedes Volumenelement der untersuchten Schicht, das als „Voxel“ bezeichnet wird, die lokalen Abschwächungseigenschaften des Gewebes in Graustufen umgerechnet und als Bildpunkte im Schichtbild, den sogenannten „Pixeln“, visualisiert (26–28).

Im Unterschied zum Röntgen ermöglicht die CT eine unverfälschte Darstellung der einzelnen Körperabschnitte ohne Überlagerungen (23,25,26). Diese Eigenschaft ermöglicht, abhängig von der Auflösung, eine hohe Präzision sowie die Darstellung von zwei- und dreidimensionalen Bildern in beliebigen Ebenen (25).

Die Computertomographie erweist sich als besonders effektive Methode zur Abbildung knöcherner Strukturen und kommt daher bei Verletzungen der Knochen sowie auch beim Auffinden von Fremdkörpern zum Einsatz (23). Fortschrittliche CT-Scanner, wie

beispielsweise die Multidetektor-CT, ermöglichen Ganzkörperaufnahmen, die vor allem bei der Rekonstruktion von Ereignissen hilfreich sind (23,26).

1.7.2 Postmortale Computertomographie-Angiographie (PMCTA)

Da die CT Einschränkungen bei der Darstellung von Weichteil-, Organ- und Gefäßbefunden aufweist, wird in der klinischen Praxis den zu untersuchenden Personen intravenös ein Kontrastmittel verabreicht, welches sich über den Blutfluss im Körper verteilt (24). Dadurch wird sowohl die Gefäßdarstellung als auch die Visualisierung von eventuellen Pathologien ermöglicht (23). Die Verwendung eines Kontrastmittels im Rahmen der postmortalen Bildgebung gestaltet sich jedoch aufgrund des fehlenden Blutflusses und des zusammengefallenen Gefäßsystems im Leichnam sowie der durchlässigen Gefäßwände als herausfordernd (23,24). Es sind daher spezielle Techniken und Kontrastmittel erforderlich, um die Durchführung einer Angiographie postmortal zu ermöglichen. Darüber hinaus ist eine beträchtliche Menge an Perfusionsflüssigkeit notwendig, um den Blutmangel im Gefäßsystem auszugleichen (24).

Gegenwärtig ist die „multiphase post-mortem computed tomography angiography“ (MPMCTA) die gebräuchlichste und intensiv erforschte Methode der postmortalen computertomographischen Angiographie (23,24). Sie wird in Deutschland und in der Schweiz häufig eingesetzt (23).

Aufgrund der guten Gefäßdarstellung liegen die Einsatzgebiete der PMCTA auf der Hand (24): Neben der Lokalisation von Blutungsquellen (29) ist diese Technik dazu geeignet, die Vermutung eines Behandlungsfehlers zu widerlegen oder zu bestätigen (23,30). Des Weiteren liefert die PMCTA wichtige Erkenntnisse bezüglich Veränderungen der Koronararterien und eines möglichen natürlichen Herztods (23). Ebenso ermöglicht diese Methode eine genauere Darstellung von Stich- und Schusskanälen (31), wobei insbesondere die MPMCTA zu deren Rekonstruktion eingesetzt werden kann (24).

1.7.3 Konventionelle Röntgendiagnostik

Die konventionelle Radiographie stellt sowohl in der Gerichtsmedizin (24), als auch allgemein das älteste bildgebende Verfahren dar (32). Hierbei erfolgt die Durchstrahlung des Körpers aus einer bestimmten Richtung mit Röntgenstrahlen, wobei die auf der

gegenüberliegenden Seite unterschiedlich stark abgeschwächten Strahlen mit geeigneten Detektormaterialien aufgefangen werden und ein Röntgenbild generiert wird. Dabei werden jene Strukturen, welche sich im Strahlengang befinden, auf das Bild projiziert. Gewebe mit einer hohen Röntgenstrahlenabsorption, beispielsweise Knochen, erzeugen Schatten auf dem Bild, während Weichteilgewebe die Röntgenstrahlen weniger intensiv abschwächen (24,32–34).

Frühere Geräte verwendeten Filmmaterial, während moderne Geräte hingegen auf eine digitale Bildaufnahme setzen (24,32).

Das konventionelle Röntgenverfahren findet auch in der heutigen forensischen Medizin noch häufig Anwendung, vor allem zur Detektion von Fremdkörpern. Die Methode zeichnet sich durch ihre kurze Untersuchungsdauer sowie ihre einfache Durchführung und die geringen Kosten aus, was sie zu einem vorteilhaften Verfahren macht. Trotzdem wird sie zunehmend durch die Computertomographie (CT) ersetzt. Wesentliche Gründe dafür sind die dreidimensionale (3D) Darstellung von Körpern und die verbesserte Darstellbarkeit der Weichteile, die durch die CT ermöglicht werden (24).

1.7.4 Magnetresonanztomographie

Im Unterschied zu den bereits erwähnten Verfahren verwendet die Magnetresonanztomographie (MRT) keinerlei ionisierende Strahlung (23,24,35,36), sondern beruht physikalisch auf dem Kernspinresonanzprinzip. Dabei werden starke Magnetfelder und magnetische Wechselfelder im Bereich der Radiofrequenz eingesetzt, um gewisse Atomkerne resonant anzuregen. Dies führt zur Induktion eines elektrischen Signals im Stromkreis der Empfänger*innen (23,24).

Nachdem die Atomkerne angeregt wurden, benötigen sie eine bestimmte Zeit, um in ihren Ausgangszustand zurückzukehren. Diese wird als Relaxationszeit bezeichnet. Da die einzelnen Gewebe aus unterschiedlichen Atomen in verschiedenen Mengen bestehen, entsteht der Kontrast des Bildes durch die charakteristischen Relaxationszeiten dieser unterschiedlichen Atome der Gewebe (24,36).

Die Magnetresonanztomographie bietet einen exzellenten Kontrast für Weichteile wie Muskeln und Fettgewebe und liefert eine hohe räumliche Auflösung. Dadurch ergänzt sie die CT, die insbesondere bei der Beurteilung von Organen aufgrund des begrenzten Bildkontrasts Einschränkungen aufweist (24,36).

Im Zusammenhang mit dem starken Magnetfeld der MRT gibt es gewisse Beschränkungen in Bezug auf ferromagnetische Materialien. Abhängig von ihrer Größe und Position besteht die Möglichkeit, dass ferromagnetische Fremdkörper während der MRT-Untersuchung ihre Position ändern (24).

Obwohl die Magnetresonanztomographie eine hervorragende Methode darstellt, um die inneren Strukturen eines Leichnams zu untersuchen, findet sie in der forensischen Medizin nur selten Anwendung. Dies lässt sich primär auf die vergleichsweise geringe Verfügbarkeit von MRT-Geräten im Vergleich zu CT-Geräten zurückführen. Die Befundung der erzeugten Bilder ist wesentlich komplexer als bei CT-Scans und konventionellen Röntgenaufnahmen. Eine qualifizierte Fachkraft mit entsprechender Ausbildung ist unerlässlich, um MRT-Untersuchungen im Rahmen der Gerichtsmedizin durchzuführen. Aufgrund der verlängerten Untersuchungsdauer und der höheren Kosten im Vergleich zur CT sowie der häufigen Vollausslastung der MRT-Geräte in klinischen Einrichtungen gestaltet sich der Zugang zu diesen Geräten in der Klinik meist als herausfordernd (24).

1.7.5 3D-Oberflächenscanning

In der forensischen Medizin wird das 3D-Oberflächen-Scanning als neuartiges bildgebendes Verfahren eingesetzt und findet intensiven Gebrauch in einigen rechtsmedizinischen Instituten in der Schweiz (24). Bisherige Schwerpunkte dieser Technologie umfassen die Rekonstruktion von Verkehrsunfällen (37), sowie den Zusammenhang von Verletzungen mit den mutmaßlichen Tatwerkzeugen (38). Ein bedeutender Anwendungsbereich liegt dabei in der Vergleichsanalyse von Bissspuren mit Modellen aus Gips der Zahnabdrücke potenzieller Täter*innen (39).

Streifenlichtscanner, bestehend aus einem Projektor und mindestens einer Kamera, projizieren gestreiftes Licht über die Objektoberfläche. Die dadurch entstehenden, objektkonturabhängigen Verformungen der Streifen werden von den Kameras erfasst. Mithilfe spezieller Software werden auf Basis des Triangulationsprinzips hochpräzise 3D-Koordinaten der Objektoberfläche berechnet. Hochleistungs-Scanner können bis zu 16 Millionen Punkte pro Scan erfassen. Durch eine Wiederholung des Scanvorgangs aus unterschiedlichen Höhen und Winkeln wird eine vollständige Digitalisierung komplexer

Objekte ermöglicht. Vordefinierte Bezugspunkte auf dem Objektträger erleichtern die Zusammenführung der einzelnen Scans zu einem vereinheitlichten Datensatz, der als hochauflösendes 3D-Modell dargestellt wird (24). Diese Methode ist schnell, nichtinvasiv und ermöglicht die Speicherung von Daten für zukünftige Verwendungen. Sie ist jedoch stark untersucherabhängig (37) und empfindlich gegenüber Licht und Bewegungen. Dunkle oder stark reflektierende Oberflächen können zu Defekten im 3D-Modell führen, die häufig durch den Einsatz spezieller Sprays vermieden werden können. Trotz dieser Einschränkungen stellt das 3D-Oberflächenscanning eine äußerst wertvolle und objektive Methode in der forensischen Bildgebung dar und hat sich bereits in zahlreichen Anwendungen als nützlich erwiesen. Bei korrekter Anwendung kann diese Technik entscheidend zur Lösung komplexer rekonstruktiver Fragestellungen beitragen (24). Der 3D-Oberflächenscan wird ebenfalls von Polizeibehörden eingesetzt. So nutzen beispielsweise die Stadtpolizei Zürich und die Kantonspolizei Bern das Laserscanning zur Tatortuntersuchung (40). Diese Messtechnik wird seit 15 Jahren auch von den Kriminaltechniker*innen der Polizei Hamburg angewendet (41). In Österreich kommt das Laserscanning zur Tatordokumentation seit November 2020 beim Bundeskriminalamt zum Einsatz (42).

1.7.6 Fotogrammetrie

Das 3D-Oberflächenscanning lässt sich mit den oben erwähnten radiologischen Verfahren wie der CT und MRT sowie der Fotogrammetrie kombinieren (24).

Fotogrammetrie umfasst Techniken, zur Bestimmung der Position und Form von einem Objekt durch Bildmessungen und -analysen anhand von Fotografien. Im eigentlichen Sinne bedeutet Fotogrammetrie das Gewinnen exakter Messdaten aus Fotos. Dies beinhaltet das Erfassen überlappender Bilder von Personen, Gebäuden oder Landschaften und deren computergestützte Umwandlung in ein 3D-Modell mithilfe verschiedener Algorithmen. Diese Techniken sind vielfältig einsetzbar, solange das Objekt fotografisch dokumentiert werden kann. Das Hauptziel besteht in der genauen dreidimensionalen Rekonstruktion des Objekts, wobei die Fotos zudem als Informationsspeicher dienen, der jederzeit für detaillierte Analysen genutzt werden kann (43).

2. Material und Methoden

2.1 Systematische Literaturrecherche

In der Planungsphase der Diplomarbeitserstellung wurden mehrere Methoden zur Beantwortung der gegebenen Fragestellung evaluiert. Um den aktuellen Forschungsstand bezüglich der neuen Technologien in der forensischen Bildgebung bei der Befundung von Verletzungen durch Schusswaffen optimal abzubilden, wurde die Methode einer systematischen Literaturrecherche gewählt. Die Durchführung dieser erstreckte sich über den Zeitraum von Dezember 2022 bis einschließlich Februar 2023.

2.2 Suchstrategie

Um einen Einblick in das Themengebiet zu gewinnen, wurden zunächst anhand eines themenbezogenen Reviews geeignete Schlüsselwörter identifiziert und festgelegt. Diese umfassten die Begriffe „gunshot“, „gunshot wound“, „gunshot injury“, „ballistic forensic“, „radiology“ und „imaging“. Die Schlüsselwörter wurden mit den Booleschen Operatoren „AND“ und die dazu passenden Synonyme mit „OR“ verknüpft. Zusätzlich wurden Trunkierungen (*) gesetzt, um alle Wortendungen miteinzubeziehen. Die genannten Schlüsselwörter wurden im Laufe der Literaturrecherche mit zunehmender Thementiefe erweitert und in unterschiedlichen Kombinationen verwendet.

Zunächst wurde unter Verwendung der zuvor genannten Schlüsselwörter die Datenbank Pubmed® durchsucht. Um die Literaturrecherche auszuweiten, wurden auch die Datenbanken Web of Science®, Science Direct® und Google Scholar® herangezogen.

Zur Präzisierung der Suchkriterien wurden im Vorfeld Ein- und Ausschlusskriterien festgelegt. So wurde aufgrund der Aktualität des Themas der Veröffentlichungszeitraum zwischen 2000 und 2023 eingegrenzt und ausschließlich englisch- und deutschsprachige Publikationen inkludiert. Weiters wurden in PubMed® über die Filterfunktion weitere Einschränkungen ergänzt. Hierzu wurden Artikel, welche Schussverletzungen an Erwachsenen thematisierten, eingeschlossen und Artikel über Verletzungen an Tieren ausgeschlossen (PubMed® vorgegebener Suchfilter: „Adult: 19 years+“). Es wurden des Weiteren beide Geschlechter in die Suchkriterien miteinbezogen.

Anschließend wurden in PubMed® die Schlüsselwörter zunächst im Titel gescreent und bei Relevanz in das Literaturverwaltungsprogramm Zotero® importiert. Durch die Anwendung zusätzlicher Suchmethoden (Vorwärts- und Rückwärtssuche), die von den bisher gefundenen Publikationen ausgingen, wurde versucht, die Anzahl der womöglich bedeutsamen Artikel weiter zu erhöhen. Nach Ausschluss der Duplikate konnten insgesamt 107 Treffer erzielt werden. Im nächsten Schritt wurden die Abstracts der relevanten Titel gelesen. Der genaue Ablauf der Literatursuch- und Auswahlprozess ist in der nachfolgenden Abbildung 1 dargestellt.

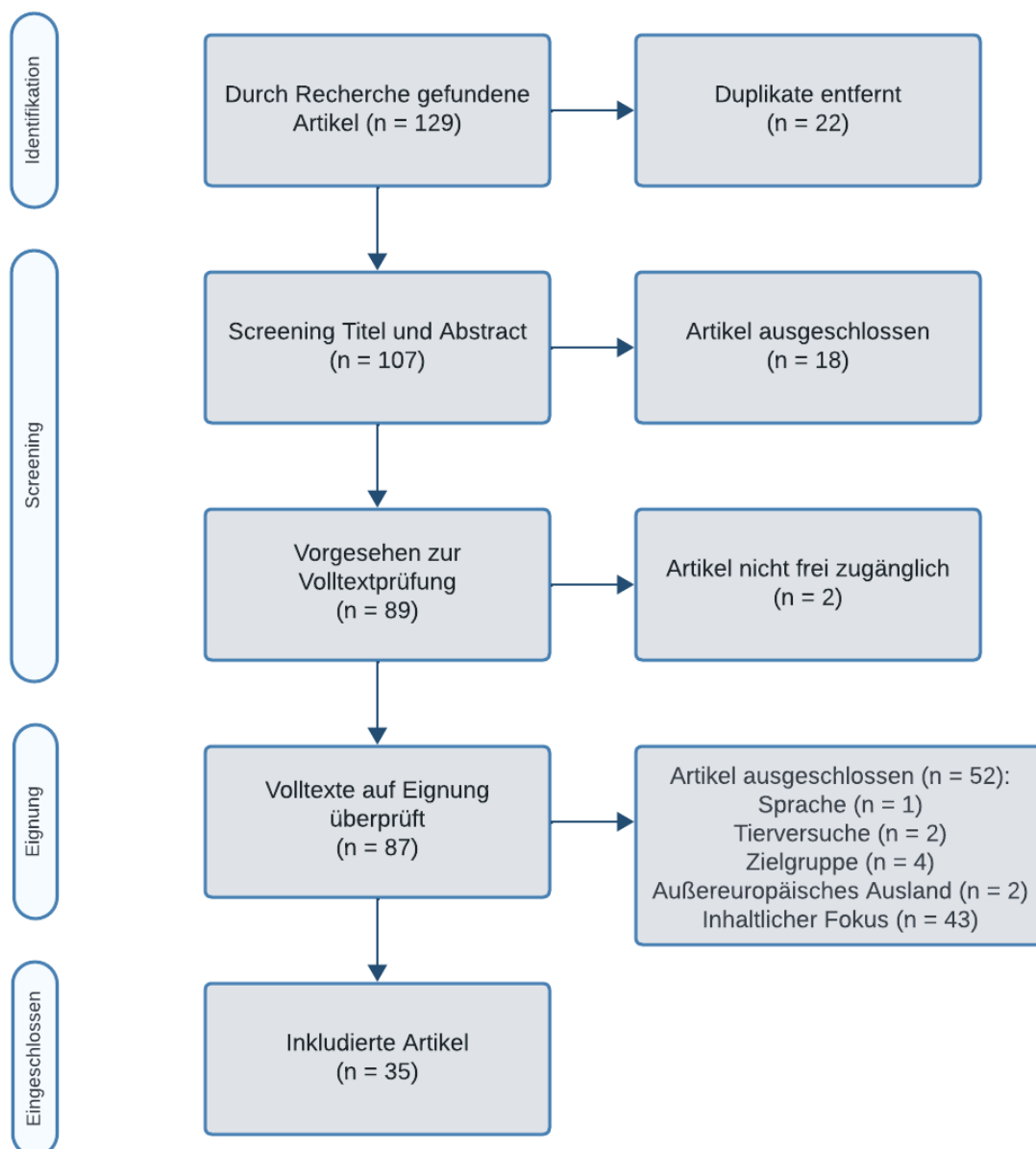


Abbildung 1: Flowchart der Literaturrecherche und des Auswahlprozesses (nach PRISMA-Statement Schema (44))

2.3 Literatúrauswahl

Mithilfe der im vorherigen Abschnitt erläuterten Methode konnten über einen Zeitraum von 3 Monaten insgesamt 89 Beiträge ermittelt werden, die das Thema forensische Bildgebung im Zusammenhang mit der Beurteilung von Schussverletzungen behandeln. Bei zwei angegebenen Artikeln konnte kein Zugriff erreicht werden, sodass dies schließlich zum Ausschluss führte. Die verbleibenden Artikel wurden im Anschluss eingehend analysiert, um diejenigen auszuwählen, die inhaltlich als relevant für die Beantwortung der Fragestellung betrachtet wurden, siehe Kapitel 2.4. Dadurch wurde die Anzahl relevanter Publikationen letztendlich auf 35 verringert.

2.4 Methodik der durchgeführten Literaturanalyse

Da es sich bei den relevanten Publikationen um Vergleichsstudien, Fallberichte, Reviews und Fachzeitschriftenartikel handelt, wurden Merkmale bestimmt, welche aus forensischer Sicht relevant sind, um den diagnostischen Wert der forensischen Bildgebung bei der Beurteilung von Verletzungen zu bestimmen. In Zusammenschau der inhaltlichen Sachlage der eingeschlossenen Publikationen wurden daher folgende Merkmale zur Analyse der Artikel festgelegt (45):

- Lage der Ein- bzw. Ausschusswunde
- Darstellung des Schusskanals
- Lokalisation von Projektilen und Metallfragmenten im Körper
- Organ- und Knochenverletzungen
- Todesursächliche Verletzungen
- Befundende Personen
- Hilfestellung bei der Tatortrekonstruktion.

Während der Planungsphase der vorliegenden Arbeit wurde daher die Hypothese aufgestellt, dass sich anhand obengenannter Merkmale die Forschungsfrage dahingehend präzisieren ließe, als dass Vor- bzw. mögliche Nachteile des Einsatzes forensischer Bildgebung anhand überprüfbarer und objektivierbarer Tatsachen abzuhandeln wären.

3. Ergebnisse

Die Begutachtung von Schusswunden stellt einen klassischen Aufgabenbereich in der Gerichtsmedizin dar. Im vorangegangenen theoretischen Abschnitt wurde dargestellt, dass die forensische Beurteilung solcher Verletzungen, bedingt durch eine Vielzahl von zu berücksichtigenden physikalischen Parametern und Effekten, von verhältnismäßig hoher Komplexität ist. Dies liegt darin begründet, als dass eine Schussverletzung innerhalb weniger Millisekunden entsteht und der Verletzungsvorgang damit von extrem kurzer Dauer ist (22).

Im Ergebnisteil sollen nun die Einsatzmöglichkeiten und Vorteile sowie Herausforderungen, welche die forensische Bildgebung bei der Befundung von Verletzungen durch Schusswaffen mit sich bringen, anhand obengenannter Merkmale dargestellt werden.

3.1 Einsatz von forensischer Bildgebung

Der technische Fortschritt moderner radiologischer Bildgebungsmethoden wie der Computertomographie und Magnetresonanztomographie hat dazu geführt, dass sie heute als wertvolle Werkzeuge für die Diagnosefindung in der Gerichtsmedizin weitgehend akzeptiert und weit verbreitet, teilweise sogar schon routinemäßig und automatisch in den Ablauf der forensischen Sektionsarbeit integriert sind (46).

Dennoch variiert der tatsächliche Einsatz der neuen radiologischen Verfahren je nach Staat, Bundesland oder Kanton und sogar innerhalb dieser Verwaltungseinheiten in den verschiedenen gerichtsmedizinischen Abteilungen. Dies liegt hauptsächlich an den finanziellen Ressourcen und Forschungsschwerpunkten einer Einrichtung sowie ihren Kooperationen mit klinischen Instituten und deren Bereitschaft zur Bildung von Kooperationen bzw. Partnerschaften (46).

Unabhängig dieser Herausforderungen haben zahlreiche unterschiedliche Institute weltweit bereits radiologische Bildgebungsmethoden, allen voran die CT, in ihre postmortalen forensischen Untersuchungen integriert (47).

3.1.1 Schweiz

In der Schweiz begann der Wandel in der Forensik Mitte der 1990er Jahre. Zu dieser Zeit initiierte das Institut für Rechtsmedizin (IRM) an der Universität Bern ein Projekt in Kooperation mit dem Wissenschaftlichen Dienst der Stadtpolizei Zürich. Das Hauptziel dieses Projekts bestand in der dreidimensionalen Dokumentation von Körper- und Objektoberflächen. Einige Jahre später startete das Institut erneut ein gemeinsames Forschungsprojekt, dieses Mal in Zusammenarbeit mit den Instituten für Diagnostische Radiologie und Neuroradiologie an der Universität Bern. Dieses Projekt zielte darauf ab, forensische Befunde an Leichen mithilfe von Multislice CT (MSCT) und MRT zu erfassen und die Ergebnisse mit den Befunden aus der Autopsie zu vergleichen. Diese Kooperation markierte den Auftakt des Virtopsy®-Projekts. Im Laufe der Zeit wurden neben MSCT und MRT weitere Methoden und Instrumente integriert, wodurch das Projekt nunmehr eine stetig wachsende Palette von Bildgebungstechniken umfasst (47).

Zu den wesentlichen Gerätschaften, die schon in den alltäglichen forensischen Untersuchungen eingesetzt werden, zählen das 3D-Oberflächenscanning, die MSCT und die MRT (47). Am Institut für Rechtsmedizin der Universität Zürich (IRM-UZH) wird mittlerweile an jedem Leichnam standardmäßig eine Bildgebung vor der Obduktion durchgeführt. Ein Triage-CT-Verfahren optimiert den Arbeitsablauf und ermöglicht es, schnell festzustellen, ob weitere Untersuchungen in eine bestimmte Richtung erforderlich sind. So konnte im Jahr 2022 in 20 % der Fälle auf eine invasive Obduktion verzichtet werden (48). Durch das 3D-Zentrum Zürich (3DZZ), das seit 2015 gemeinsam mit dem Forensischen Institut Zürich (FOR) betrieben wird, besteht die Möglichkeit, 3D-Tatrekonstruktionen anzufertigen. Mithilfe des Einsatzes von Virtual Reality (VR) können komplexe Unfall- oder Tathergänge rekonstruiert und visualisiert werden (49).

Im letzten Jahrzehnt wurden zahlreiche bedeutende Fortschritte erzielt: Angefangen mit dem Einsatz des Virtobot® im Jahr 2012, konnten im Laufe der Zeit weitere hochmoderne Geräte für forensische Zwecke implementiert werden, darunter die 7 Tesla (T) Magnetresonanztomografie, der VirtoScan-on-Rails sowie die Fotogrammetrie zur

schnellen Erfassung von lebenden Personen in 3D. Erst vor zwei Jahren erfolgte mit dem neu eingerichteten Center for Forensic Machine Learning Technology (ForMalTec) eine weitere Stufe der Integrierung radiologischer Methoden in den rechtsmedizinischen Alltag (49).

Neben den rechtsmedizinischen Instituten in Bern und Zürich setzen auch andere Einrichtungen, die in der Schweizerischen Gesellschaft für Rechtsmedizin (SGRM) vereinigt sind, auf forensische Bildgebungsmethoden. So werden auch in Lausanne, Genf, St. Gallen und Aarau vorrangig die CT und MRT ergänzend zur Obduktion angewandt, wobei in ausgewählten Fällen auch die Angiografie zum Einsatz kommt (50–52).

3.1.2 Deutschland

Aus einer von der Arbeitsgemeinschaft Forensische Bildgebung (AGFB) der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin (DGRM) durchgeführten Umfrage von November 2014 bis April 2015 zur Anwendung von analogen und digitalen Techniken der forensischen Bildgebung in den rechtsmedizinischen Instituten in den Ländern Deutschland, Schweiz und Österreich geht hervor, dass bei 25 der 29 befragten Stammhäuser und Außenstellen in Deutschland die Möglichkeit besteht, computertomographische Untersuchungen durchzuführen. Dabei ist anzumerken, dass ein Großteil der Institute über keinen eigenen CT-Scanner verfügt, sondern diese Untersuchungen auf der klinikeigenen Radiologie oder in externen Einrichtungen durchführen lassen. In etwas weniger als der Hälfte der Institute können weitere forensische Bildgebungsmethoden wie eine MRT oder CT-Angiographie sowie das Oberflächenscanning eingesetzt werden (46).

3.1.3 Österreich

In Österreich verfügen laut der oben genannten Umfrage alle gerichtsmedizinischen Institute über die Möglichkeit zur Durchführung von computertomographischen Untersuchungen, wobei eine Außenstelle diese in ihrem Stammhaus durchführen kann. Fünf der sechs befragten Institute führten an, dass sie auf die Anwendung einer Magnetresonanztomographie zurückgreifen können, während ein Institut zum Zeitpunkt der Erhebung das Oberflächenscanning für indizierte Fragestellungen anbieten konnte (46). Seit seiner Gründung im Jahr 2008 durch die Ludwig Boltzmann Gesellschaft übernahm

das Ludwig Boltzmann Institut für Klinisch-Forensische Bildgebung (LBI CFI) eine wichtige Rolle bei der Fortentwicklung und Innovation der klinisch-forensischen Bildgebung in Österreich. Bis zu seiner Schließung im Jahr 2019 verfolgte das Institut das Ziel, moderne radiologische Bildgebungsmethoden, allen voran die MRT, gezielt für bestimmte Fragestellungen in der Praxis der klinischen Gerichtsmedizin anzuwenden. Das Team, bestehend aus interdisziplinären Forschern, hat im Laufe der Zeit wichtige Grundlagen für die Anwendung von MRT- und CT-Bildgebung in der klinischen Forensik erarbeitet. Einige dieser Erkenntnisse werden bereits heute standardmäßig angewendet. Es gab jedoch auch Entwicklungen, deren Umsetzung so visionär ist, dass sie noch einige weitere Jahre in Anspruch nehmen wird. Zwei Forschungsprojekte werden derzeit seitens der Medizinischen Universität Graz in Kooperation mit dem Ludwig Boltzmann Institut für Archäologische Prospektion und Virtuelle Archäologie fortgeführt (53).

3.1.4 Unterschiede im Einsatz forensischer Bildgebung im deutschsprachigen Raum

Die forensische Bildgebung und deren Implementierung in den deutschsprachigen Ländern Österreich, Schweiz und Deutschland weist deutliche Unterschiede auf, die sich sowohl in der Durchführung von Untersuchungen als auch in der technischen Ausstattung und der Befundung widerspiegeln. Diese Ungleichheiten hängen eng mit den jeweiligen organisatorischen Gegebenheiten und verfügbaren Ressourcen der gerichtsmedizinischen Institute zusammen, wie aus der bereits erwähnten Umfrage hervorgeht (46).

3.1.4.1 Verfügbarkeit technischer Möglichkeiten

In der Schweiz und in Österreich verfügen alle gerichtsmedizinischen Institute über die Möglichkeit, computertomographische Untersuchungen durchzuführen. In Österreich können Außenstellen auf die CT-Ressourcen des zugehörigen Stammhauses zurückgreifen, während in der Schweiz fünf der sechs Institute mit einem eigenen CT ausgestattet sind. In Deutschland bieten 25 der 29 Institute CT-Untersuchungen an, jedoch ist der Zugang zu weiteren tomographischen Verfahren wie MRT, CT-Angiographie und die Anwendung von Oberflächenscans begrenzt. MRT-Untersuchungen werden an 5 von 6 österreichischen, 4 von 6 schweizerischen und 12 von 29 deutschen Instituten durchgeführt, während eine CT-Angiographie in Österreich gar nicht, in der Schweiz an der Hälfte der Institute und in Deutschland nur in 2 von 29 Einrichtungen verfügbar ist.

Darüber hinaus bleibt der Einsatz von Oberflächenscans zum Zeitpunkt der Erhebung in allen drei Ländern auf ein Minimum beschränkt: Zum Zeitpunkt der vorliegenden Umfrage waren nur ein Institut in Österreich und Deutschland sowie drei in der Schweiz registriert, die diese Technologie einsetzten (46).

3.1.4.2 Durchführung von CT-Untersuchungen

In der Schweiz verfügen fünf der sechs Institute für Rechtsmedizin (IRM) über ein eigenes CT, während in Österreich nur ein gerichtsmedizinisches Institut mit dieser Technologie ausgestattet ist. In Deutschland besitzen lediglich drei der 29 IRM ein eigenes CT. Die meisten Institute sind daher auf die klinikeigene Radiologie oder externe radiologische Einrichtungen angewiesen. Dies betrifft 22 IRM in Deutschland, 4 Institute in Österreich und 1 IRM in der Schweiz. Die Durchführung von CT-Untersuchungen erfolgt somit in den meisten Fällen nicht direkt durch die gerichtsmedizinischen Institute, sondern in Zusammenarbeit mit der jeweilig assoziierten Radiologie (46).

3.1.4.3 Durchführung von Röntgenuntersuchungen

Die Durchführung der Röntgenuntersuchungen unterscheidet sich ebenfalls zwischen den Ländern. In Österreich verfügt nur ein Institut über eigene Röntgengeräte, in der Schweiz sind es zwei, während in Deutschland acht Institute diese Geräte in ihren Einrichtungen haben. In den übrigen deutschen Instituten sowie in der Schweiz und Österreich sind die Institute häufig auf die radiologische Abteilungen des jeweiligen Klinikums und seltener auf externe Institutionen angewiesen (46).

3.1.4.4 Befundung der Daten

Die Befundung von Röntgen- und CT-Daten variiert je nach Land und Untersuchungstechnik. In Österreich und der Schweiz erfolgt die Befundung von Röntgenuntersuchungen überwiegend in Zusammenarbeit mit radiologischen Abteilungen. Eine ausschließlich durch die Rechtsmedizin vorgenommene Befundung wird hingegen ausschließlich in Deutschland beobachtet, wobei einige deutsche Institute nur in Einzelfällen auf radiologische Expertise zurückgreifen (46).

Die häufigste Methode ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Gerichtsmedizin und Radiologie, die in etwa der Hälfte der Institute in Österreich und der Schweiz sowie in einem Fünftel der deutschen Institute praktiziert wird. In mehreren Instituten erfolgt die primäre Befundung durch die Radiologie, wobei die Gerichtsmedizin bei Bedarf ergänzend hinzugezogen wird. Diese Vorgehensweise ist in allen drei Ländern in Einzelfällen zu beobachten. Eine rein radiologische Befundung ohne Mitwirkung der Gerichtsmedizin wird in Deutschland häufiger angewandt als in Österreich, wo sie nur vereinzelt und in der Schweiz gar nicht vorkommt (46).

Bei der Befundung von CT-Untersuchungen zeigt sich ein ähnliches Bild, jedoch mit einem stärkeren Schwerpunkt der Zusammenarbeit zwischen Gerichtsmedizin und Radiologie. Die primär radiologische Befundung mit gelegentlicher gerichtsmedizinischer Beteiligung tritt auch hier in allen drei Ländern auf, wobei Deutschland die höchsten Zahlen aufweist. Ein wichtiger Unterschied besteht in der rein gerichtsmedizinischen Befundung: Diese wird bei Röntgenuntersuchungen ausschließlich in Deutschland und bei CT-Untersuchungen nur in der Schweiz durchgeführt (46).

3.1.4.5 Mitteilung der Befunde

Die Mitteilung der Befunde an die Staatsanwaltschaft wird überwiegend durch die jeweiligen Institute selbst übernommen. In Österreich erstellen vier gerichtsmedizinische Institute die Berichte eigenständig, wobei die Hälfte zuvor auf radiologische Befunde zurückgreifen. In der Schweiz sind alle sechs Institute für die Mitteilung der Befunde verantwortlich, wobei auch hier meist radiologische Vorbefunde eingeholt werden. In Deutschland verfassen 21 der 29 Institute die Berichte selbst, während 13 Institute radiologische Befunde in ihre Berichterstattung einbeziehen und sechs Institute diese Aufgabe vollständig der Radiologie übertragen (46).

3.1.4.6 Vergütung

Die Vergütungsregelungen für durchgeführte Untersuchungen variieren nicht nur zwischen den Ländern, sondern auch innerhalb der Länder. In Österreich, der Schweiz und Deutschland reicht die Bandbreite von pauschalen Abrechnungen bis hin zur getrennten Vergütung aller beteiligten Fachkräfte, einschließlich Gerichtsmediziner*innen,

Radiolog*innen und Bestatter*innen. In einigen Fällen erfolgt keine fallbezogene Vergütung, beispielsweise bei der routinemäßigen Durchführung von CT-Aufnahmen (46).

3.2 Einsatzmöglichkeiten und Vorteile der forensischen Bildgebung

3.2.1 Rekonstruktive Aspekte

Moderne forensische Rekonstruktionsmethoden ermöglichen eine hochpräzise Erfassung und Analyse von Ereignissen wie Tötungsdelikten oder Verkehrsunfällen, indem externe und interne morphologische Befunde mithilfe fortschrittlicher Technologien systematisch dokumentiert und ausgewertet werden (54).

Ein Fallbericht aus der Schweiz von Buck et al. (54) zeigt exemplarisch, wie dreidimensionale Messtechniken zur Klärung komplexer Ereignisabläufe beitragen können. Daraus geht hervor, wie der Einsatz von dreidimensionalen Messtechniken die Erfassung von neuen Daten in forensisch-medizinischen Szenarien ermöglicht. Ebenso wird dargelegt, wie virtuelle 3D-Rekonstruktionen dazu beitragen, den Ablauf von Ereignissen bei Unfällen oder Straftaten zu rekonstruieren.

Zur Beantwortung der in diesem Fallbericht aufgeworfenen Fragestellung, ob es sich bei dem Vorfall, bei dem ein Mann in seiner Wohnung tödlich von einem Schuss getroffen wurde, um einen Unfall oder ein Tötungsdelikt handelt, wurde eine Methode herangezogen, welche folgende Arbeitsschritte beinhaltete: Zunächst wurden der Leichnam, der Tatort, die beteiligten Objekte und der Verdächtige digital erfasst. Anschließend wurden die erhobenen Daten zu einem Datensatz zusammengeführt und in einer maßstabsgetreuen 3D-Rekonstruktion visualisiert. Zusätzlich wurden Fotografien integriert, die die Aussagen des Beschuldigten veranschaulichten und in die Analyse sowie Rekonstruktion einbezogen wurden (54).

Spezifische Technologien wie das im konkreten Fall eingesetzte GOM TRITOP/ATOS III-System erlauben eine hochauflösende Abbildung von Körperoberflächen, Verletzungen (54) und möglichen Tatwerkzeugen (40). Ergänzend liefern radiologische Verfahren wie die MSCT und MRT detaillierte Datensätze innerer Verletzungen. Die Autorinnen und

Autoren führen hierzu als Beispiel die dreidimensionale Darstellung des Schusskanals im vorliegenden Fall an (54).

Mittels 3D-Laserscanner ist eine Digitalisierung des Unfallorts/Tatorts mit detaillierten Strukturen in relativ kurzer Zeit möglich. Durch das Zusammenführen aller Daten und der anschließenden 3D-Rekonstruktion ist es machbar, Verletzungen mit dem mutmaßlichen Tatwerkzeug im eins-zu-eins-Maßstab abzugleichen. Des Weiteren kann die Lage aller Modelle innerhalb der virtuellen Szene verändert werden. Anhand besagter Modellierungen können daher laut Buck et al. (54) verschiedene mögliche Körperhaltungen des Opfers während der Schussabgabe bestimmt werden.

Die Integration von Fotografien und digitalen Modellen in die Analyse bietet eine realitätsnahe Visualisierung des Tatgeschehens und ermöglicht die Überprüfung von Aussagen beteiligter Personen. Im dargestellten Fall konnte durch die 3D-Rekonstruktion belegt werden, dass die Angaben des Beschuldigten nicht mit den rekonstruierten Ereignissen übereinstimmten. Zudem wurden mögliche Täter-Opfer-Konstellationen simuliert und visuell veranschaulicht, was die Aussagekraft der Befunde für juristische Verfahren erheblich stärkte (54).

Buck et al. (54) heben demnach hervor, dass die virtuelle 3D-Rekonstruktion zum einen der Klärung des Ereignisablaufs und zum anderen der Überprüfung von Hypothesen diene. Die beschriebenen Verfahren zeichnen sich laut Autorinnen und Autoren durch eine hohe Anwenderfreundlichkeit, Präzision und Flexibilität aus.

Trotzdem verbleibt anzumerken, dass die anschließende Analyse der komplexen Modelle zeitintensiv ist und spezielles Fachwissen im Umgang mit den erforderlichen Computerprogrammen erfordert. Die digitale Beweissicherung ermöglicht jedoch eine objektive und überprüfbare Darstellung komplexer Sachverhalte, die sowohl schriftlich als auch grafisch präsentiert werden kann. Dies erleichtert die Kommunikation der Ergebnisse an Dritte, insbesondere an juristische Laien und optimiert die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Polizei, Gerichtsmedizin und Justiz. Hierin liegen nach Buck et al. (54) die klaren Vorteile dieser neuen technologischen Optionen zur Objektivierung eines Gerichtsverfahrens.

Auch Bolliger et al. (55) zeigen die Vorteile virtueller 3D-Darstellungen bei der Rekonstruktion forensischer Ereignisse auf. Die Autorinnen und Autoren betonen die hohe Präzision und räumliche Erfassung, die durch das optische 3D-Oberflächenscanning, die MSCT und MRT an Opfern, Tatmitteln und Fahrzeugen erreicht wird. Diese Verfahren ermöglichen zudem eine erneute Analyse archivierter Beweise, selbst Jahrzehnte nach der Beerdigung.

Häufig wird die Darstellung des Ablaufs von Ereignissen, wie beispielsweise bei einem Mordfall, mittels „schauspielerischer Inszenierungen“ veranschaulicht. Solch konventionelle Rekonstruktionsmethoden sind oft personal- und ressourcenintensiv. Besonders bei schwer zugänglichen Tatorten, etwa im öffentlichen Raum, bietet die virtuelle Rekonstruktion auf Basis von 3D-Daten und Zeugenaussagen eine praktikable Alternative. Diese Technik erlaubt es, Ereignisse realitätsnah und wiederholt zu simulieren, wodurch eine präzisere und effizientere Analyse möglich wird (55).

Die Vorteile forensischer Bildgebung bei der Rekonstruktion belegen auch weitere Fallberichte anderer Autorinnen und Autoren wie jener von Maiese et al. (56). Anhand von zwei Todesfällen durch Schusswaffen konnte gezeigt werden, wie mithilfe der forensischen Bildgebungstechniken das Tatgeschehen rekonstruiert werden konnte. Auch dadurch konnte zur Klärung der Todesumstände beigetragen werden.

3.2.2 Beantwortung gutachterlicher Fragestellungen

Einen weiteren positiven Aspekt der Umwandlung von Handlungen in visuelle Darstellungen sehen Bolliger et al. (55) darin, dass visuelle Rekonstruktionen forensischer Ereignisse umfassendere Analysen fördern, da vernachlässigte Details in visuellen Darstellungen leichter auffallen. Dies führt zu präziseren Gutachten und macht potenzielle Defizite sichtbar, die weitere Untersuchungen erfordern könnten. Gleichzeitig erleichtern solche Darstellungen die Verständlichkeit komplexer Abläufe.

Ein Nachteil liegt jedoch in der Gefahr, dass Mitglieder des Gerichts visuelle Rekonstruktionen als unumstößliche Wahrheit interpretieren, obwohl sie auf den Einschätzungen von Expert*innen basieren. Um Missverständnissen vorzubeugen,

empfehlen Bolliger et al. (55) die klare Trennung von Fakten und Interpretationen, etwa durch den Einsatz unterschiedlicher Farben oder Schattierungen in den Visualisierungen.

Die Autorinnen und Autoren kommen zu dem Schluss, dass 3D-rekonstruierte Szenen daneben weitere Vorteile bieten, wie beispielsweise die Möglichkeit, Objekte transparent darzustellen, um eine unverstellte Sicht auf die Szenerie zu gewähren. Darüber hinaus kann durch die Veränderung des virtuellen Blickwinkels das optimale Sichtfenster ausgewählt und so mögliche Aspekte des Unfall-/Tathergangs hervorgehoben werden, die zuvor unbeachtet blieben (55).

Colard et al. (57) betonen die Effektivität von 3D-Rekonstruktionen zur Visualisierung von Tatorten und Projektilbahnen, da sie eine realistische Vorstellung des Geschehens vermitteln, ohne tatsächlich am Ereignisort anwesend zu sein. Im Vergleich zu schriftlichen Berichten sind 3D-Modelle effizienter und liefern vor allem vor Gericht überzeugendere und aussagekräftigere Ergebnisse.

Villa et al. (58) teilen die Auffassung der bereits genannten Autorinnen und Autoren, dass 3D-Visualisierungen eine äußerst bedeutende Rolle als visuelle Hilfsmittel zur Darstellung von medizinischen Befunden spielen. Besonders die virtuelle Animation der Körperhaltung vor dem Tod helfen dabei, ein besseres Verständnis für die Dynamik eines Verbrechens zu erlangen. Mithilfe spezifischer 3D-Modellierungs- und Animationstechniken wurde die Rekonstruktion der wahrscheinlichsten Körperhaltung vor dem Tod sowohl anhand von Daten durch die PMCT als auch die klinische CT ermöglicht. Wie in diesem Fallbericht gezeigt wurde, ist die Erstellung eines vollständigen 3D-Modells des Körpers sowohl für verstorbene als auch lebende Personen auf verschiedene Weise möglich.

3.2.3 Radiologische Befunde im Gerichtssaal

Dreidimensionale Daten können nicht nur im Zusammenhang mit der Analyse von Fällen genutzt werden, sondern auch einen erheblichen Beitrag dazu leisten, die erlangten Erkenntnisse den Personen zu vermitteln, die über die Schwere der Tat, das Schicksal und die Strafe für Täter*innen und Verursacher*innen von Unfällen urteilen müssen (59).

Auch wenn im Laufe der Zeit viele Richter*innen, Staatsanwältinnen und Staatsanwälte, Verteidiger*innen und Geschworene gewisse medizinische Kenntnisse erlangen und oft ärztlichen Rat einholen, sind sie im Grunde genommen medizinische Laien. Eine klare und verständliche Präsentation der Ergebnisse ist von entscheidender Bedeutung, damit jene die vorgestellten Ergebnisse richtig verstehen und somit fundierte Urteile fällen können. Die üblichen Aufnahmen von Obduktionen, die oft vor Gericht gezeigt werden, tragen möglicherweise nicht zur Abgabe eines neutralen und faktenbasierten Urteils bei. Dies liegt daran, dass vor allem die Geschworenen von diesen Bildern auf der emotionalen Ebene beeinflusst werden können oder aufgrund der Abneigung gegen derartige Darstellungen diese nicht mit der nötigen Sorgfalt betrachten. Unter diesen Umständen kann die forensische Bildgebung von großem Nutzen sein. Die Autorinnen und Autoren (60) haben die Erfahrung gemacht, dass „unblutige“ Bilder leichter zu erfassen sind als jene, die den eröffneten Körper der verstorbenen Person zeigen. Letztere können nur von Mediziner*innen, die mit solchen Aufnahmen vertraut sind, adäquat interpretiert und die richtigen Schlussfolgerungen daraus gezogen werden (60).

U.a. sind Verletzungen wie bereits erwähnt, mithilfe von CT- und MRT-Verfahren dreidimensional darstellbar. Diese innovativen Technologien ermöglichen einen umfassenden Überblick über das Vorhandensein, die Lage sowie das Ausmaß der Verletzungen. Darüber hinaus ist die Möglichkeit, selbst weitreichende Verletzungsbefunde „nicht-invasiv“ darzustellen, nach Ogris und Yen (61) ein wesentlicher Aspekt bei der Darstellung von Befunden bei Gericht.

Auch Thali et al. (62) sehen die leistungsstarken Visualisierungs- und Präsentationsmöglichkeiten im Rahmen von Gerichtsverhandlungen als Vorteil der forensischen Autopsie mittels MSCT und MRT im Vergleich zur klassischen Obduktion. Weiters führen Flach et al. (63) in ihrem Review den Umstand an, dass die postmortale Bildgebung als Beweismittel vor Gericht dient.

Die Aussagekraft von Bildern betont auch Leth (64) in seinem Artikel, da CT-Bilder eventuell besser für die Vorführung vor Gericht geeignet sind als Fotos, welche im Rahmen der Obduktion angefertigt wurden.

3.2.4 Dokumentationsvorteile im Vergleich zur klassischen Obduktion

Der Einsatz radiologischer Schnittbildtechniken stellt einen relevanten Fortschritt insofern auch in der Forensischen Medizin dar, als dass er die dreidimensionale Dokumentation und Rekonstruktion von Tat- und Unfallhergängen ermöglicht. Insbesondere bei der Befundung von Verletzungen durch Schusswaffen bietet eine 3D-Darstellung wundballistischer Effekte deutliche Vorteile (62). Des Weiteren ist die objektive Nachbegutachtung auch noch Jahre später möglich (s.u.).

Die moderne MSCT-Technologie erfasst den menschlichen Körper innerhalb weniger Minuten und ist dadurch um ein Vielfaches schneller als das klassische Obduktionsverfahren. Darüber hinaus können durch die Auswahl von Bildpunkten auf der Grundlage von Dichte oder Intensität spezifische Bereiche wie Knochen, Weichteile oder auch Organe wie z. B. die Lunge auf dem Bildschirm hervorgehoben werden. Der größte Vorteil der MSCT liegt jedoch in ihrer schnellen isotropen Dokumentation, die die anschließende Nachbearbeitung sowohl in 2-D als auch 3D ermöglicht (62).

Thali et al. (62) führten eine postmortale MSCT durch, bei der die dreidimensionalen Konturen des Gesichts der verstorbenen Person mit einer derart hohen Genauigkeit erfasst wurden, sodass die Augen im speziellen 3D-Datensatz zum Schutze der Anonymität des Opfers verdeckt werden mussten. Es gelang damit hervorzuheben, wie präzise der Einsatz dieser neuen Technologie im Wissenschaftsfeld der Forensischen Medizin sein kann. Alternativ dazu ermöglichte eine 3D-Rekonstruktion, die auf einer speziellen Technik basierte, die vollständige Darstellung der Schädelverletzungen sowie die Position aller Fragmente in anatomisch korrekter Größenordnung, ohne dabei Zerstörungen am Leichnam zu verursachen. Bei der klassischen Obduktionsmethode ist diese Darstellung erst nach einer längeren Mazeration möglich und geht mit dem Verlust der topografischen Orientierung einher. Im Gegensatz dazu kann die 3D-Rekonstruktion innerhalb weniger Minuten nach Abschluss der Nachbearbeitungsphase die Auswirkungen der Gewebeerletzungen der betroffenen Person veranschaulichen. Darüber hinaus lässt diese eine topographische Betrachtungsweise aus verschiedenen Blickwinkeln am Computermonitor zu. Folglich kann eine sachkundige Person auf dem Gebiet der Wundballistik unverzüglich relevante Erkenntnisse ableiten, etwa in Bezug auf die verwendete Munition oder eingesetzte Waffe, die die Verletzung verursacht hat. Hierbei

erweisen sich diese computerbasierten Technologien von besonderer Bedeutung im Rahmen der Ereignisrekonstruktion.

Darüber hinaus führt Brogdon (65) die Möglichkeit an, mithilfe der Anwendung von stereolithographischen oder anderen 3D-Druckverfahren ein Modell im Originalmaßstab basierend auf dem CT-Datensatz zu erstellen. In diesem Fall entfällt die Notwendigkeit der Mazeration und im Gerichtssaal kann anstelle des biologischen Schädels dieses Modell präsentiert werden, ohne dass eine Trennung des relevanten Bereichs vom restlichen Körper des Opfers notwendig ist (62).

Unter anderem eröffnet sich dadurch auch die Möglichkeit der Depersonalisierung im Vergleich zur Zurschaustellung des tatsächlichen Opfers, wodurch auch ethische Gesichtspunkte berücksichtigt werden, um dadurch die Traumatisierung der Angehörigen so minimal wie möglich zu halten (47).

Ein weiterer Vorteil liegt in der zeitlich unbegrenzten Speicherung der Scandaten, wodurch auch Jahre nach der ursprünglichen Dokumentation eine mühelose Rekonstruktion in 3D möglich ist (62,66,67). Die virtuelle Darstellung ermöglicht eine detaillierte Untersuchung in verschiedenen Ebenen und eröffnet die Option, unterschiedliche Gewebe zu trennen oder zu segmentieren, was wiederum eine präzisere Analyse ermöglicht (62). Damit können auch noch Jahre nach Tat- oder Unfallereignissen neue Erkenntnisse gewonnen werden, die zur Lösung der Tat- bzw. Unfallhergänge beitragen (47,62).

Auch im Rahmen der Untersuchung eines weiteren Falls, der eine tödliche Schussverletzung am Kopf thematisierte, heben Thali et al. (68) die Dokumentationsvorteile der virtuellen Autopsie im Vergleich zur klassischen Obduktion hervor: So dauerte in diesem Fall die Durchführung eines MSCT-Scans des gesamten Körpers etwa 60 Sekunden.

Sidler et al. (69) betonen ebenfalls den Nutzen schneller Bildaufnahmen. Die neuen Methoden gestatten darüber hinaus, herkömmliche Autopsien auf das Wesentliche zu fokussieren, wodurch die Untersuchungszeit weiter minimiert werden kann. Insbesondere bei einer großen Anzahl von Opfern wie im Rahmen von Massenanfällen, sehen die

Autorinnen und Autoren die Computertomographie als geeignete Screening-Methode. Die Vorteile der Dokumentation werden in Übereinstimmung mit oben genannten Publikationen betont und der Einsatz digitaler Datenübermittlung in Katastrophenfällen mit internationaler Opferbeteiligung thematisiert.

Außerdem handelt es sich um eine zerstörungsfreie Methode, die die Integrität des Körpers bewahrt und die Möglichkeit bietet, den Befundungsprozess bei Bedarf erneut durchzuführen. Im Hinblick auf die Unversehrtheit des Körpers ist es wichtig zu bedenken, dass herkömmliche Autopsien möglicherweise von Familienangehörigen in nicht strafrechtlichen Verfahren abgelehnt oder aus religiösen Gründen nicht akzeptiert werden. Vor diesem Hintergrund könnte eine mögliche Lösung darin bestehen, auf nicht-invasive bildliche Dokumentationen zurückzugreifen, ergänzt durch gezielte minimalinvasive Bildgebungsverfahren und Gewebeentnahmetechniken wie beispielsweise Angiographien zur Beurteilung von Gefäßveränderungen (70). Dieser moderne Ansatz würde es ermöglichen, kulturelle und religiöse Bedenken zu berücksichtigen, die eventuell mit herkömmlichen Autopsien einhergehen können und dennoch eine gründliche forensische Untersuchung durchzuführen (47,60).

Ein weiterer erwähnenswerter Aspekt ist jener, dass durch die Anwendung von forensischen Bildgebungsmethoden das Infektionsrisiko für das Fachpersonal im Rahmen der konventionellen Obduktion minimiert werden kann (70,71).

Dennoch ist man beim Einsatz dieser Technologien auch mit Herausforderungen konfrontiert, die sich hauptsächlich in der begrenzten Verfügbarkeit radiologischer Scanner, aber auch in den vergleichsweise hohen Kosten dieser Untersuchungsmethoden widerspiegeln. Ferner ist die Dokumentation von oberflächlichen Verletzungen mit dieser Methode nicht so genau wie bei der traditionellen Vorgehensweise, was vor allem auf den Mangel an Farbinformationen zurückzuführen ist (60,62). Nach Ansicht der Autorinnen und Autoren (62,72) könnten daher neue Techniken wie die 3D-CAD-Photogrammetrie kombiniert mit MSCT und MRT bei der Dokumentation zur Anwendung kommen.

Thali et al. (68) weisen zudem auch auf die Einschränkungen im Zusammenhang mit der Beurteilung von Fragen wie dem Blutfluss in den Gefäßen, der genauen

Gefäßmorphologie, der Gewebedurchblutung und der Gewebedifferenzierung hin. Aufgrund des fehlenden Blutkreislaufs im Körper von Verstorbenen müssen, wie bereits erwähnt, spezielle Kontrastmittel, Trägermaterialien und Pumpen zum Einsatz kommen.

3.2.5 Objektivierbarkeit im Vergleich zur klassischen Obduktion

Ein wesentlicher Vorteil der virtuellen forensischen Autopsie unter Verwendung von MSCT und MRT ist der beobachterunabhängige Dokumentationsprozess, der eine objektivere Erfassung ermöglicht (62).

Bolliger et al. (47) teilen die Ansicht von Thali et al. (62), dass die Möglichkeit der Generierung von dreidimensionalen Modellen von Körpern, Objekten oder Fahrzeugen, die möglicherweise mit Verletzungen und Tatorten in Verbindung stehen, die Möglichkeit eröffnet, auch noch Jahrzehnte nach dem Ereignis neue Untersuchungen anzustellen. Selbst nach der Beisetzung des Leichnams oder nach der Freigabe des Tatorts könnte eine Neubewertung durch eine völlig unvoreingenommene Gruppe von Fachleuten erfolgen. Durch diese Aspekte ließe sich die Qualitätssicherung verbessern, indem sie die Möglichkeit einer neutralen Zweit- oder Drittmeinung und einen Vergleich mit etablierten Referenzwerten bietet.

Auf diese Weise tragen die genannten Scan-Technologien wie auch Datenmodellierungen zur Sicherstellung einer höheren Qualität und Vertrauenswürdigkeit der Untersuchungsergebnisse während eines Gerichtsverfahrens bei (62).

3.3 Diagnostischer Wert forensischer Bildgebung bei der Befundung von Verletzungen durch Schusswaffen

Die Befundung von Todesfällen durch Schusswaffen erfordert neben einer umfassenden Untersuchung des Tatorts auch fundierte Kenntnisse der Wundmorphologie, der Ballistik sowie den chemischen Nachweis von Schießpulverrückständen und ihrer Verteilung. Ebenso wesentlich ist die Berücksichtigung verschiedener Faktoren, darunter die Lage und Anzahl der Ein- und Ausschusswunden, die Identifikation von Projektilen und

Projektilfragmenten, die exakte Darstellung des Schusskanalverlaufs, die Befundung der erlittenen Verletzungen sowie die Feststellung der genauen Todesursache (73).

Die genaue Kenntnis über die Lokalisation des Ein- und Ausschusses ist entscheidend für die Bestimmung der Flugrichtung des Geschosses und spielt eine grundlegende Rolle im Rahmen der Ereignisrekonstruktion. Eine präzise Darstellung des Schusskanalverlaufs ist nicht nur für die Rekonstruktion des Tatorts von Bedeutung, sondern auch für die Bestimmung der Positionen von Opfer und Täter*innen. Zudem ermöglicht die Identifikation und detaillierte Analyse von Geschossen und ihren Fragmenten den Abgleich mit potenziellen Tatwaffen, während Verletzungen an inneren Körperstrukturen wichtige Hinweise zur zeitlichen Abfolge der Schüsse und zur Einschätzung der Handlungsfähigkeit des Opfers liefern. Dadurch kann wiederum die Position des Opfers zum Zeitpunkt der Schussabgabe bestimmt werden. Ein weiterer entscheidender Gesichtspunkt in der Untersuchung von Schussverletzungen betrifft die genaue Ermittlung der Todesursache (73).

Nachfolgend werden jene Publikationen vorgestellt, welche zumindest eines der oben genannten Untersuchungskriterien erörtern. Die Ergebnispräsentation der ausgewählten Artikel, Studien und Fallberichte erfolgt auf Basis der eingesetzten Bildgebungsmethoden.

3.3.1 Postmortale Multislice-Computertomographie

Um die praktische Anwendbarkeit der postmortalen Multislice-Computertomographie im Kontext tödlicher Schussverletzungen zu überprüfen, führten Andenmatten et al. (73) eine Studie an 22 Leichen vor der Obduktion durch. Hierbei wurde versucht, die zentralen Fragen, welche bei der Befundung von Verletzungen durch Schusswaffen eine Rolle spielen, zu beantworten. Die Resultate, die durch die postmortale MSCT erzielt wurden, korrelierten in allen Fällen mit denen der Obduktion hinsichtlich der Anzahl und Position der Ein- und Ausschusswunden, der Darstellung des Schusskanalverlaufs, der Identifizierung von Geschossen und deren Fragmente sowie der festgestellten Verletzungen.

Bei 5 der insgesamt 22 Fälle stimmte die durch die MSCT ermittelte Todesursache nicht mit jener der Autopsie überein. Diese Fälle betrafen ausschließlich Schussverletzungen im Kopfbereich. Die Kopfverletzungen waren derart schwerwiegend, sodass als radiologische

Todesursache eine zentrale Atemwegslähmung angenommen wurde. Der Obduktionsbericht gab hingegen an, dass der Tod durch eine Kombination aus einer Blutung und Luftembolie eingetreten sei.

Aus dem Artikel geht nicht eindeutig hervor, ob die Luftembolie in der Bildgebung erkannt, aber nicht als todesursächlich gewertet wurde. Diese Diskrepanz ist dahingehend auffällig, als dass die MSCT eine höhere Sensitivität hinsichtlich dem Nachweis intravasaler Gasansammlungen aufweist als die Obduktion. Die Autorinnen und Autoren weisen auf die Schwierigkeit der Diagnosestellung einer Luftembolie im Rahmen der Autopsie hin. Mithilfe des Einsatzes der MSCT kann diese Herausforderung jedoch bewältigt werden: Schnittbilder geben unverzüglich Aufschluss über das Vorhandensein von Gasen, während 3D-Rekonstruktionen zuverlässig sowohl die Menge (74), als auch die Verteilung des Gases in den Blutgefäßen und Herzkammern darstellen. Das Muster der Verteilung erlaubt bei Verwendung des Index eine Unterscheidung zur Fäulnis (73,75).

Zur Unterscheidung der Ein- und Ausschusswunde reicht eine gründliche äußere Untersuchung meistens aus. Allerdings kann diese in Fällen von stark geschädigten Körpern, wie beispielsweise aufgrund von Feuer, Verwesung oder anderen Formen von Hautschäden und den damit einhergehenden Veränderungen der Wundmorphologie, bei der Identifikation von Ein- und Ausschuss versagen. Hier sehen die Autorinnen und Autoren die MSCT als eine wertvolle Methode bei der Unterscheidung dieser wesentlichen Merkmale an, die ansonsten nur durch eine Autopsie bestimmt werden könnten (73).

Nach der Ansicht von Andenmatten et al. (73) bietet die forensische Radiologie einen bedeutenden Vorteil in Bezug auf die Screening-Möglichkeit für Geschosse und Geschossfragmente im Körper. Bei konventionellen Röntgenuntersuchungen erfordert dieser Prozess mindestens zwei Röntgenaufnahmen im rechten Winkel zueinander und ist daher mit einem relativen Zeitaufwand verbunden. Mithilfe der MSCT ist es möglich, die Projektile schnell und in dreidimensionaler Darstellung zu lokalisieren, wodurch die Bereitstellung dieser forensisch relevanten Informationen für weitere Untersuchungen erleichtert wird.

Die Möglichkeit der MSCT, verschiedene Röntgendichten zu differenzieren, erweist sich auch im Vorfeld der Obduktion als äußerst hilfreich. Fremdkörper können mit der Röntgenuntersuchung zwar erkannt werden, beschränken sich jedoch auf eine Schwarz-

Weiß-Darstellung. Eine genaue Identifikation der Art des Fremdkörpers, beispielsweise ob es sich um ein Kugelfragment, Glas oder Ähnliches handelt, ist nicht möglich. Die Autorinnen und Autoren führen an, dass aber genau diese anderen Fremdkörper unter bestimmten Gegebenheiten von unschätzbarem Wert für die Rekonstruktion von Fällen sein können. Wenn ein Geschoss zum Beispiel durch ein Hindernis wie ein Fenster abgefeuert wird, können sich kleine Glassplitter im Körper ablagern. Die Identifikation und die anschließende Untersuchung solcher Fragmente können wertvolle Hinweise auf den Tatort liefern, der nicht immer mit dem Ort übereinstimmt, an dem die Leiche aufgefunden wurde (73).

Aquila et al. (76) stimmen mit Andenmatten et al. (73) überein, dass die Durchführung einer MSCT bei der Untersuchung von Todesfällen durch Schusswaffen vor der Autopsie ratsam ist. Die postmortale MSCT unterstützt die Gerichtsmediziner*innen bei der nachfolgenden Obduktion, indem sie die für die Untersuchung benötigte Zeit verkürzt und die Identifizierung von Projektilen sowie die Lokalisierung des Ein- und Ausschusses erleichtert. Dennoch sind die Autorinnen und Autoren der Meinung, dass die genaue Bestimmung der Todesursache sowie der Todesart (Selbstmord oder Mord) nur mithilfe der Durchführung einer Obduktion zu klären ist.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt auch eine retrospektive Vergleichsstudie von van Kan et al. (77). Das zentrale Ergebnis der Untersuchung von 21 Schusstodesfällen brachte hervor, dass die postmortale Computertomographie (PMCT) in 61,9 % der Fälle zusätzliche Informationen bereitstellt, die für forensische Untersuchungen von Bedeutung sind. Insbesondere hinsichtlich der Rekonstruktion der Schussbahnverläufe (34 %) und der Identifikation von Verletzungen (30 %) erzielte die radiologische Untersuchung überlegene Ergebnisse. Ferner können Luftansammlungen durch die PMCT deutlich dargestellt werden, während dies, wie bereits erwähnt, im Rahmen der Autopsie schwierig sein kann. Die Autorinnen und Autoren gehen davon aus, dass die Kombination beider Untersuchungsmethoden zur Verbesserung der Qualität und Integrität von strafrechtlichen Untersuchungen beiträgt.

Im Falle der Unterscheidung der Ein- und Ausschusswunde ist die Obduktion nach Ansicht der Wissenschaftler*innen der forensischen Bildgebung überlegen. Dies steht im Zusammenhang damit, dass die äußere Untersuchung der Hautläsionen und der Nachweis

von Schmauchspuren mittels PMCT begrenzt sind und dadurch derzeit nicht ersetzt werden können (77).

Inwiefern radiologische Untersuchungsmethoden die Geschossauffindung unterstützen können, geht weiters aus einem Fallbericht von Ampanozi et al. (78) hervor. Sie veranlassten die Durchführung einer CT an einem weiblichen Leichnam vor der Obduktion zur Klärung der Todesursache. Dabei kam nicht nur ein linksseitiger Pneumothorax zur Darstellung, sondern die radiologische Untersuchung brachte noch eine weitere Verletzung ans Licht, welche jedoch nicht in direktem Zusammenhang mit der Todesursache stand. Es konnten zahlreiche Fremdkörper mit hoher Dichte im Bereich der rechten Orbita und des Nasenknochens identifiziert werden. Außerdem wurde ein Knochendefekt des Gaumens festgestellt. Die Durchführung der nachfolgenden Obduktion wurde aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse adaptiert und die radiologisch ermittelte Todesursache konnte bestätigt werden. Eine alte Schussverletzung wurde durch den Ehemann und die Polizei bestätigt. Um das Vorhandensein der radiologisch festgestellten Fremdkörper zu bestätigen, wurden die Gesichteweichteile präpariert und zahlreiche kleine Metallfragmente aufgefunden. Die Analyse des größten Fremdkörpers ergab, dass er mit einem Fragment eines Projektils übereinstimmt.

Die Autorinnen und Autoren teilen die Ansicht von Bolliger et al. (47), dass die postmortale CT von großem Nutzen bei der Identifizierung von Fremdkörpern und Gasansammlungen sein kann, insbesondere wenn sich erstere in Körperteilen befinden, die im Rahmen der Obduktion nicht routinemäßig seziiert werden, wie beispielsweise der Gesichtsschädel. Dieser Fallbericht veranschaulicht die Erkennung beider Elemente in einem einzigen Fall. Ampanozi et al. (78) verdeutlichen hierin, wie die postmortale CT wesentlich dazu beitragen kann, pathologische Befunde aufzudecken und die Vorgehensweise bei der Obduktion entsprechend zu steuern. Die Ergebnisse der postmortalen Computertomographie hatten nicht nur Einfluss auf die Vorgehensweise bei der Obduktion, um die Bestätigung und genaue Dokumentation der Todesursache sicherzustellen, sondern enthüllten auch eine frühere Schussverletzung, die ohne radiologische Untersuchung unentdeckt geblieben wäre.

Scholing et al. (79) stimmen mit Ampanozi et al. (78) überein, dass die postmortale CT eine gute Ergänzung zur Obduktion darstellt, aber nicht oder nur in den wenigsten Fällen (64) als Ersatz angesehen werden kann.

Die Bedeutung der postmortalen CT sowie dreidimensionaler CT-Rekonstruktionsmethoden zur Befundung kraniocerebraler Schussverletzungen betonen auch Tartaglione et al. (80). Sie untersuchten 10 Opfer tödlicher Schussverletzungen am Kopf unter Berücksichtigung folgender Aspekte: Beurteilung der Ein- und Ausschusswunde, Darstellung des intrakraniellen Verlaufs des Projektils sowie Aufstellung von Hypothesen bezüglich der Ereignisdynamik. Die erhobenen Befunde wurden von zwei unabhängigen Beobachtern analysiert und mit den Ergebnissen der Obduktion verglichen. Die Autorinnen und Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass sich die Analyse von CT-Scans und volumetrischen Rekonstruktionsmethoden als äußerst effektiv erweist, um sowohl den Ein- als auch den Austrittspunkt eines Geschosses sowie dessen Flugbahn innerhalb des Schädels zu identifizieren. Darüber hinaus ermöglicht sie eine Hypothesenbildung über die mögliche extrakranielle Flugbahn, was zur Stützung von Indizienbeweisen beiträgt.

Die Stärke der postmortalen CT bei der Erkennung von Geschossen und Projektilfragmenten geht überdies aus einer Vergleichsstudie von Kirchhoff et al. (81), sowie aus einer prospektiven Studie von Hueck et al. (82) hervor. Letztere hat die Validität der CT hinsichtlich der Todesursachenfeststellung in unnatürlichen Todesfällen untersucht. Auch wenn die CT nicht als gleichwertige Alternative zur Obduktion betrachtet werden kann, sollte nach Ansicht von Hueck et al. der Einsatz von CT-Scannern als obligatorische Zusatzuntersuchung diskutiert werden, vor allem dann, wenn ein potenzieller Mehrwert für die Autopsie zu erwarten ist.

Aus der Sicht weiterer Wissenschaftler*innen stellt diese Bildgebungsmethode ein wertvolles Hilfsmittel bei forensischen Untersuchungen dar. Sie unterstreichen jedoch, dass die Durchführung einer Obduktion vor allem im Hinblick auf die Bestimmung der Todesursache (83), derzeit nicht ersetzt werden kann (79,84). Dies geht insbesondere aus den Ausführungen von Giorgetti et al. (83) und Scholing et al. (79) hervor, die argumentieren, dass die Bedeutung der postmortalen CT vor allem bei der Untersuchung

von schwer zugänglichen oder routinemäßig nicht seziierten Regionen liegt und somit eine gezieltere Steuerung von Autopsien ermöglicht.

3.3.2 Spezialfall Post-Autopsie-Computertomographie

In den zuvor angeführten Untersuchungen wurde die Relevanz der postmortalen Computertomographie in Bezug auf tödliche Schusswaffenverletzungen vorgestellt. Allerdings wird die PMCT nicht in allen Ländern als Standardverfahren angewendet und es kann daher vorkommen, dass bei Todesfällen im Ausland ein CT-Scan erst nach der initialen Autopsie erfolgt. Mit einem derartigen Fall haben sich Visentin et al. (85) auseinandergesetzt. Obwohl die Post-Autopsie-Computertomographie (PACT) keine Informationen über die inneren Organe liefern konnte, ergänzten die radiologischen Ergebnisse die Untersuchung durch die Identifizierung von Knochenverletzungen und Metallfragmenten im Gewebe. Die PACT hat in diesem speziellen Fall dazu beigetragen, Verletzungen festzustellen, welche im Rahmen der äußeren Untersuchung nicht erkannt wurden, und die Annahme eines einzelnen Schusses bestärkt. Nach Auffassung der Autorinnen und Autoren könnte die PACT als Instrument zur Nachuntersuchung von Schussopfern eingesetzt werden, insbesondere wenn keine Informationen über die erste Autopsie vorliegen. Die dadurch gewonnenen Daten können nach Erhalt des ersten Obduktionsberichts erneut analysiert werden.

3.3.3 Computertomographie kombiniert mit Magnetresonanztomographie

Sowohl die CT als auch die MRT weisen in Bezug auf die Befundung von Verletzungen durch Schusswaffen ihre Stärken und Limitationen auf. Um den Mehrwert der beiden bildgebenden Verfahren zur Erlangung zusätzlicher forensisch relevanter Informationen zu ermitteln, führten Oehmichen et al. (86) eine Vergleichsstudie an 17 Leichen durch. In diese Untersuchung wurden ausschließlich Fälle von Kopfverletzungen eingeschlossen, die durch Schüsse aus Waffen mit niedriger Geschwindigkeit verursacht wurden. Die Resultate der bildgebenden Verfahren verglich man mit den im Rahmen der Obduktion erhobenen makroskopischen und mikroskopischen neuropathologischen Befunden. Die genannten radiologischen Verfahren wurden in einigen Fällen an den Leichen vor der Autopsie und in anderen Fällen an den isolierten Gehirnen, die nach der Autopsie in Formalin fixiert wurden, durchgeführt. In drei Fällen überlebten die Opfer kurzzeitig die

Schussverletzungen. Hier erfolgte ein Vergleich der Ergebnisse mit den intravitalen Befunden. In den meisten Fällen war es möglich, die Ein- und Ausschussverletzungen allein durch den Einsatz forensischer Bildgebung zu differenzieren. Allerdings stießen die Autorinnen und Autoren auf Schwierigkeiten bei der morphologischen Zuordnung, insbesondere wenn die Schädelschussverletzung die Schädelbasis betraf, wie es beispielsweise der Fall war, wenn die Waffe mit dem Mündungsstück im Mund des Opfers abgefeuert wurde (86).

Mithilfe der eingesetzten 3D-Bildgebung gelang es, anhand der Volumendatensätze des Spiral-CTs zu ermitteln, in welcher Richtung sich das Projektil bewegt hat, indem sie zwischen Ein- und Ausschusswunden unterschied und die Flugbahn des Projektils verfolgte. Zeitgleich konnten biometrisch relevante Daten mithilfe von Computersoftware ausgewertet werden. Die MRT des Hirnparenchyms ermöglichte eine Differenzierung verschiedener Gewebestrukturen entlang der Geschossbahn wie Blutungen oder Ödeme. So ließen sich Informationen über primäre sowie sekundäre Veränderungen gewinnen, welche durch Schussverletzungen am Kopf hervorgerufen wurden (86).

Oehmichen et al. (86) sind daher der Ansicht, dass die CT vor allem bei der Lokalisierung von röntgendichten Fremdkörpern im Gehirn von Nutzen sein kann, wie beispielsweise Knochen- und Projektilfragmente, die bei einer Obduktion oft schwer aufzuspüren sind.

Während die Geschossbahn und die röntgendichten Fragmente auch in isolierten, formalinfixierten Gehirnen nachgewiesen werden können, ist es in der Regel nicht mehr möglich, die Richtung des Projektils zu bestimmen. Ein Defizit der forensischen Bildgebung im Vergleich zur Obduktion sehen die Autorinnen und Autoren in der geringeren Effektivität bei der Erkennung von hypoxischen Veränderungen im neuronalen Gewebe oder mikroskopischen Anzeichen eines bereits vorhandenen Krankheitsprozesses. Zudem können sie nicht zur Bewertung der Vitalität einer Schusswunde oder zur Bestimmung der Überlebenszeit beitragen (86).

Die zentrale Aussage der Vergleichsstudie ist, dass in medizinisch-rechtlichen Angelegenheiten die CT und MRT nicht als Ersatz für die Autopsie dienen, sondern als ergänzende Verfahren, insbesondere in Situationen, in denen medizinische Interventionen

oder Überlebenszeiten zu Veränderungen der ursprünglichen Verletzungen geführt haben (86).

Obwohl die postmortale Magnetresonanztomographie eindeutige Vorteile in der Visualisierung von Weichteilverletzungen aufweist, wird sie im Gegensatz zur postmortalen Computertomographie nur selten für radiologische Befunde von Schussverletzungen herangezogen. Gascho et al. (87) führten an einem männlichen Leichnam zuerst eine CT und 65 Stunden später eine MRT durch, um eine genauere Beurteilung der Schussverletzung am Hals zu ermöglichen. Da das am Leichenfundort gesicherte Geschossfragment aus Blei ohne ferromagnetische Stoffe bestand, war nicht von einer Lageänderung des Projektils während der Untersuchung auszugehen. Die CT-Beurteilung wurde durch Metallartefakte erheblich beeinträchtigt, während die MRT eine klare Darstellung der Weichteilverletzungen und der rupturierten Medulla oblongata ermöglichte. Direkt im Anschluss an die MRT-Untersuchung wurde die Obduktion durchgeführt, wobei die Gerichtsmediziner*innen vor Beginn über die radiologischen Ergebnisse in Kenntnis gesetzt wurden. Im Rahmen der Autopsie wurden alle radiologischen Befunde bestätigt. Gascho et al. betonen daher, dass in diesem Fall nur die MRT in der Lage war, die Weichteilverletzungen des Hirnstamms nichtinvasiv zu visualisieren. Diese relevanten forensischen Informationen konnten Aufschluss über den Todeseintritt und die Handlungsfähigkeit des Opfers liefern. Daraus lässt sich schlussfolgern, welchen diagnostischen Mehrwert die Durchführung einer MRT-Untersuchung im Falle einer nicht perforierenden Schussverletzung aufweisen kann.

In einer weiteren Publikation diskutieren Gascho et al. (88) die radiologischen Untersuchungsergebnisse sowie deren Interpretation hinsichtlich der Beurteilung einer Bauchschusswunde im Vergleich zur Obduktion. Dazu wurde der Verstorbene einer Untersuchung mittels CT und MRT unterzogen und die Ergebnisse von einem Radiologen beurteilt. Mithilfe der radiologischen Bildgebung konnte der Schusskanal präzise dargestellt werden. Darüber hinaus konnten anhand der Befunde Rückschlüsse auf die Entfernung des Schusses, die Ablenkung des Projektils im Körper sowie über das Ausmaß der temporären Höhle gezogen werden. Die im Anschluss durchgeführte Obduktion bestätigte diese Befunde, lieferte jedoch weitere Erkenntnisse, die weder mittels CT noch MRT festgestellt werden konnten. Hierzu zählten eine Duodenumperforation und

Verletzungen der linken Nebenniere, die auf den Röntgenaufnahmen nicht eindeutig sichtbar waren. Zudem wurden subendokardiale Blutungen diagnostiziert. Die Befunde wurden als Verbluten aufgrund einer Bauchschusswunde gedeutet und als Todesursache festgelegt. Trotz der bereits festgestellten Weichteilverletzungen anhand der CT-Befunde erwies sich die MRT als nützlich bei der genauen Abgrenzung des Wundkanals im subkutanen Weichteilgewebe. Die Autorinnen und Autoren betonen jedoch, dass die diagnostische Aussagekraft der MRT durch das Vorhandensein von Darmgas, kleinen Gasansammlungen und der Menge an Blut eingeschränkt wurde.

Gascho et al. (88) kommen daher zu dem Schluss, dass die Durchführung einer postmortalen CT bei Schusswunden ratsam ist, um die nachfolgende Obduktion zu erleichtern und die postmortale MRT eine wertvolle Ergänzung zur CT sein kann. In einigen speziellen Fällen können bildgebende Verfahren ausreichen, um sowohl die Flugbahn des Projektils als auch innere Verletzungen zu identifizieren. Dennoch ist nach Auffassung der Autorinnen und Autoren für eine umfassende Untersuchung von Verletzungen durch Schusswaffen eine anschließende Obduktion essenziell, da die diagnostische Aussagekraft der radiologischen Untersuchungsmethoden im dargestellten Fall aufgrund der Gas- und Flüssigkeitsansammlungen eingeschränkt war.

Mit der eingeschränkten Beurteilbarkeit von Schussverletzungen setzten sich auch Peschel et al. (89) auseinander. Den Autorinnen und Autoren ist es gelungen, selbst in Fällen starker Verwesung und Zersetzung den Schusskanal mittels dreidimensionaler Rekonstruktionstechniken darzustellen. Zu diesem Zweck wurden die CT-Scans der Schädel mit MRT-Bildern von entsprechenden befundfreien Referenzgehirnen kombiniert. In drei der insgesamt fünf Fälle wurde eine bemerkenswerte Übereinstimmung zwischen dem rekonstruierten Schusskanal und dem Obduktionsbericht festgestellt. In einem Fall konnte aufgrund einer bereits durchgeführten Autopsie nicht auf das ursprüngliche Gehirn für die Durchführung einer CT zurückgegriffen werden. Die Ergebnisse korrelierten jedoch auch hier mit dem Obduktionsprotokoll. In einem anderen Fall wurde eine Abweichung von 1 bis 2 cm zwischen dem ursprünglichen Obduktionsbericht und dem rekonstruierten Schusskanalverlauf verzeichnet, was auf die begrenzte Verfügbarkeit eines Teils des Schädels für die Bildrekonstruktion zurückzuführen war. Aus der Sicht von Peschel et al. zeigen die Untersuchungsergebnisse, wie mittels der beschriebenen Methode Hirnverletzungen und die betroffenen anatomischen Strukturen identifiziert werden

können, auch wenn das Gehirn selbst nicht mehr für die Untersuchung zur Verfügung steht.

3.3.4 7 Tesla Magnetresonanztomographie

Mit einer noch sehr selten verfügbaren Bildgebungsmethode befassten sich ebenfalls Gascho et al. (90) und führten eine Untersuchung an drei Schusstodesopfern durch, um den diagnostischen Nutzen der 7 Tesla MRT in Bezug auf Befundungen von kraniozerebralen Schussverletzungen zu bewerten. Im Vergleich zur herkömmlichen 3T MRT bietet ein 7T MRT-Scanner eine detailliertere Visualisierung der Gehirn- und Schädelanatomie. Darüber hinaus ist die 7T MRT sensitiver bei der Identifizierung von Weichteilverletzungen im Schädel-Hirn-Bereich. Mithilfe der 7T MRT können auch temporäre Hohlräume, wie sie bei Schussverletzungen auftreten, durch hypointense Regionen neben dem Wundtrakt deutlich dargestellt werden. Zusätzlich kann die 7T MRT Mikroblutungen mit einer hohen räumlichen Auflösung präzise abgrenzen. Die Autorinnen und Autoren sind der Meinung, dass das 7T MRT somit das Potenzial aufweist, in der Zukunft zu einem wertvollen Instrument für die Untersuchung radiologischer Aspekte der Wundballistik in der forensischen Wissenschaft zu werden.

3.3.5 Postmortale Computertomographie-Angiographie

Die postmortale Computertomographie-Angiographie (CTA) ist aufgrund der im Theorieteil dargelegten Einschränkungen noch nicht sehr weit verbreitet, erweist sich aber als äußerst hilfreich, um Verletzungen im Gefäßsystem zu beurteilen. Ruder et al. (91) untersuchten den Leichnam eines Mannes, der sich versehentlich mit einem Gewehr in die Brust geschossen hatte und führten sowohl eine CT als auch eine CTA durch. Die im Anschluss erfolgte Autopsie bestätigte alle mittels forensischer Bildgebung festgestellten Befunde, ergab jedoch keine weiteren Erkenntnisse bezüglich des unbeabsichtigten Todes des Mannes.

Dieser Fallbericht hebt hervor, wie präzise kleinste Gefäßverletzungen mithilfe der CTA dargestellt werden können. Die Autorinnen und Autoren ziehen daraus den Schluss, dass diese Methode in speziellen Fällen als gleichwertige Alternative zur Obduktion angesehen werden kann (91).

4. Diskussion

Um die Relevanz des Einsatzes forensischer Bildgebung in der gerichtsmedizinischen Diagnostik und bei der Beantwortung strafrechtlicher Fragestellungen im Zusammenhang mit Schussverletzungen zu analysieren, wurde eine systematische Literaturrecherche durchgeführt. Dabei wurde der Frage nachgegangen, welche potenziellen Vorteile der Einsatz forensischer Bildgebung bei der Befundung von Verletzungen durch Schusswaffen in Österreich mit sich bringen würde. Anhand der in Kapitel 2.4 vorgestellten Merkmale konnte ein umfassendes Bild über den diagnostischen Wert forensischer Bildgebung bei der Befundung von Schusswaffenverletzungen gezeichnet werden. Die Grundannahme der vorliegenden Diplomarbeit war, dass die in Deutschland und der Schweiz bereits teilweise routinemäßige Verwendung findende forensische Bildgebung auch für zukünftige Anwendungen in Österreich von Vorteil sein könnte. Diese Annahme trifft dahingehend zu, als dass der Einsatz forensischer Bildgebung in der Praxis der Gerichtsmedizin bei speziellen Fragestellungen einen ergänzenden Stellenwert einnimmt, wie aus den oben genannten Kapiteln hervorgeht.

Im Hinblick auf die Entwicklung und Anwendung von forensischen Bildgebungstechnologien in der Schweiz ist die Einführung des Triage-CT-Verfahrens am IRM-UZH besonders hervorzuheben, bei dem eine Bildgebung vor jeder Autopsie durchgeführt wird. Dadurch kam es bereits zu einer Reduktion der invasiven Obduktionen (48). Darüber hinaus eröffnen die Möglichkeiten zur Erstellung von Tatrekonstruktionen in 3D und zur Visualisierung komplexer Unfall- oder Tathergänge mithilfe von Virtual Reality völlig neue Perspektiven für die forensische Analyse und Gerichtsverhandlungen (49). Trotz des vielversprechenden Potenzials dieser neuen Bildgebungsmethoden für zukünftige gerichtsmedizinische Untersuchungen gilt es jedoch zu bedenken, dass diese Technologien erhebliche Investitionen in Ausrüstung und Schulung des Personals erfordern, insbesondere an Standorten, wo diese neu eingeführt werden. Für kleinere Institute und Einrichtungen mit begrenzten finanziellen Ressourcen könnte dies daher eine Herausforderung darstellen. Die Förderung des Wissensaustauschs und die Verbreitung bewährter Methoden durch effektive Zusammenarbeit zwischen den einzelnen gerichtsmedizinischen Instituten könnte dazu beitragen, die breitere Anwendung dieser radiologischen Methoden zu unterstützen. Die Errichtung von Forschungszentren wie dem Center for Forensic Machine Learning Technology (ForMalTech) verdeutlicht das

Engagement für die Weiterentwicklung der forensischen Bildgebungstechnologien in der Schweiz. In Anbetracht dieses Fortschritts kann die Einrichtung eines bundesweit organisierten Forschungszentrums in Österreich empfohlen werden, um die Koordination und Verbreitung von radiologischen Einsatzmöglichkeiten in der Gerichtsmedizin zu fördern. Expertise aus Deutschland und der Schweiz für die Einrichtung eines solchen Zentrums könnte etwaige Startschwierigkeiten minimieren, erfordert jedoch länderübergreifende Kooperationsvereinbarungen. Eine solche Zusammenarbeit würde jedenfalls den Wissensaustausch erleichtern, eine gegenseitige Qualitätskontrolle ermöglichen und die Forschung auf diesem Gebiet weiter vorantreiben. Für die Routinebefundung erscheint es jedoch sinnvoll, wenn diese von jedem Institut selbst durchgeführt wird und nur in komplexen Fällen auf die Erfahrungen anderer Institute zurückgegriffen wird.

Hervorzuheben ist ebenfalls die Tatsache, dass nahezu die Hälfte der seitens der Arbeitsgemeinschaft Forensische Bildgebung (AGFB) der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin (DGRM) befragten deutschen rechtsmedizinischen Institute neben der CT auch andere Bildgebungsmethoden wie MRT, 3D-Oberflächenscanning oder die CT-Angiographie einsetzen (46). Diese Entwicklung ist in mehrfacher Hinsicht positiv, da die Einbeziehung verschiedener Bildgebungstechniken neben einer höheren Flexibilität und Präzision auch einen ganzheitlicheren Ansatz ermöglicht, um ein umfassenderes Bild eines forensischen Falles zu erstellen.

Auch in Österreich ist die Weiterentwicklung des Einsatzes forensischer Bildgebungsmethoden insgesamt als positiver Schritt zu werten. Grundsätzlich verfügen alle gerichtsmedizinischen Institute über die Möglichkeit zur Durchführung computertomographischer Untersuchungen. Die Verfügbarkeit der MRT an beinahe allen dieser Institute (46) ist ebenfalls ein Fortschritt. Zudem ist festzuhalten, dass das LBI CFI bis Ende 2019 eine wichtige Rolle bei der Förderung und Innovation klinisch-forensischer Bildgebung darstellte (53). Die bestehende Zusammenarbeit der Medizinischen Universität Graz mit dem Ludwig Boltzmann Institut für Archäologische Prospektion und Virtuelle Archäologie (53) ist ein interessantes Beispiel für die Möglichkeiten interdisziplinärer Zusammenarbeit und zeigt auf, wie verschiedene Fachrichtungen ihr Wissen und ihre Ressourcen gemeinsam nutzen können. Durch die Schließung des LBI CFI wäre es umso

wichtiger, ein Forschungszentrum in Österreich zu etablieren, um den Einsatz klinisch-forensischer Bildgebung fortzuführen und flächendeckender anbieten zu können.

Die immer breiter werdende Palette an technologischer Ausstattung ermöglicht es zwar, auf die diversen forensischen Anforderungen einzugehen, dennoch ergeben sich durch die Anwendung unterschiedlicher Geräte und Technologien Herausforderungen in Bezug auf die Standardisierung und Qualitätssicherung. Die Tatsache, dass Radiologinnen und Radiologen nicht die Regel, sondern die Ausnahme an gerichtsmedizinischen Instituten darstellen (46), wirft Fragen hinsichtlich der Qualifikation des Personals auf, da die korrekte Bildinterpretation eine spezielle fachliche Expertise erfordert. Selbst wenn in Österreich mehr forensische Bildgebungsmethoden zum Einsatz kommen, sollte bedacht werden, dass es im Umkehrschluss mehr Personal benötigt, das eine korrekte Befundung der Daten vornehmen und sicherstellen kann. Da die Gerichtsmedizin ohnehin ein kleines Fachgebiet darstellt, könnte dieser Umstand eine zusätzliche Hürde beim Ausbau der forensischen Radiologie darstellen. Ein Umstand, den man bis zu einem gewissen Grad mit zusätzlichen Ausbildungsmöglichkeiten – wie beispielsweise der Anpassung der Ausbildungsinhalte von Rasterzeugnissen der jeweiligen Fachärzt*innen-Ausbildungsordnung – und dem Aufbau von Netzwerken, auch länderübergreifend, entgegenwirken könnte.

Ebenso betonen die Unterschiede in den Befundungspraktiken zwischen den Ländern (46) die Bedeutung und Notwendigkeit einer engen Zusammenarbeit zwischen der Gerichtsmedizin und dem Fachbereich der Radiologie. Ein weiterer wesentlicher Aspekt, der aus der Umfrage hervorgeht, ist die Feststellung, dass viele der gerichtsmedizinischen Institute in Deutschland und Österreich computertomographische Untersuchungen zwar durchführen, aber größtenteils nicht auf einen eigenen CT-Scanner zurückgreifen können (46). Ist man auf externe Einrichtungen angewiesen, bedeutet das zusätzliche Herausforderungen hinsichtlich der Durchführung und Planung diverser Untersuchungen, da diese abseits der Hauptzeiten der kooperierenden Kliniken durchgeführt werden müssen. Die Tatsache, dass man auf die Nutzung dieser Randzeiten angewiesen ist und eventuell längere Transportwege anfallen, sind ebenfalls als Herausforderungen zu nennen, denen man nur durch die Anschaffung von eigenen CT-Scannern in den einzelnen gerichtsmedizinischen Instituten Abhilfe schaffen könnte. In zukünftigen

Forschungsarbeiten wäre es daher zu empfehlen, speziell die Entwicklung von Standards und die Förderung der interdisziplinären Zusammenarbeit näher zu untersuchen, um effiziente und qualitätsgesicherte Arbeitsabläufe sicherzustellen. Zudem sollte im Rahmen einer neuerlichen Bestandsaufnahme erfasst werden, wie häufig die jeweiligen Bildgebungsmethoden zum Einsatz kommen, um den aktuellen Bedarf zu erheben. Auf Grundlage aktueller Zahlen wäre es leichter möglich, die hohen Anschaffungskosten zu argumentieren.

Die Anwendung forensischer Bildgebung bietet ein breites Spektrum an Einsatzmöglichkeiten, das von der Rekonstruktion bis zur objektiveren Erfassung im Vergleich zur klassischen Obduktion reicht. Die für diese Arbeit analysierten Fallberichte deuten darauf hin, dass forensische Bildgebungstechniken, allen voran das 3D-Oberflächen- und Laserscanning, wesentliche Werkzeuge für die Rekonstruktion von Ereignisorten und die Positionsbestimmung von Täter*innen und Opfern darstellen, wie auch vermehrt in der Literatur aufgeführt wird (54–56). Insbesondere wird der Umstand hervorgehoben, dass mithilfe der modernen Visualisierungstechniken Aussagen von Beschuldigten und bezeugenden Personen widerlegt oder bestätigt werden können. Wie in einem Fallbericht von Buck et al. (54) beschrieben wird, tragen forensische Bildgebungsmethoden dazu bei, die Begutachtung komplexer forensischer Ereignisse zu optimieren. Ein großer Vorteil besteht darin, dass Fachpersonal diese Technologien nach einer kurzen Einschulung nutzen kann, was eine schnelle und präzise Dokumentation von Tatorten und Beweisen ermöglicht (54). Obgleich der raschen und unkomplizierten Anwendung der einzelnen forensischen Bildgebungsmethoden erfordert die Analyse der komplexen, datenfusionierten 3D-Modelle der involvierten Objekte und Personen wiederum viel Zeit und Fachkenntnisse. Dieser Umstand kann, wie oben bereits erwähnt, die personellen Ressourcen belasten und die Effizienz beeinträchtigen. Daneben ist anzumerken, dass die Anwendung gewisser Visualisierungstechniken mit hohen Kosten verbunden ist und ihr Einsatz von Fall zu Fall genehmigt werden muss. Trotz dieser finanziellen Einschränkungen überwiegen jedoch klar die Vorteile, die eine Investition in die Entwicklung und Forschung von wirtschaftlicheren und benutzerfreundlicheren modernen Visualisierungsmethoden rechtfertigen. Auch in diesem Fall könnte eine verstärkte Zusammenarbeit und Schulung von forensischen Wissenschaftler*innen, Technologiefachleuten und anderen an der Untersuchung beteiligten Personen dazu

beitragen, optimale Ergebnisse zu erzielen und die Implementierung der forensischen Bildgebung weiter voranzutreiben.

In Bezug auf die Beantwortung gutachterlicher Fragestellungen wurde festgestellt, dass visuelle Rekonstruktionen komplizierte Informationen und Sachverhalte für das Gericht verständlicher machen und damit zur Klarheit der Beweislage beitragen können (54,55). Aus der vorliegenden Literatur geht hervor, dass visuelle Darstellungen die Überzeugungskraft von Beweisen steigern (57). Wie im Ergebnisteil dieser Diplomarbeit erwähnt, besteht die Gefahr, dass virtuelle Beweise aber als absolute Wahrheit angesehen werden, wodurch es zu Vorurteilen und einer falschen Gewichtung kommen kann (55). Nach der Ansicht von Bolliger et al. (55) ist es daher möglich, dass die Meinungen von Gutachter*innen in visuellen Darstellungen als objektive Tatsachen wahrgenommen werden. Sie führten des Weiteren eine Strategie zur Verbesserung der Objektivität und Genauigkeit in den von den Gutachter*innen erstellten Berichten in strafrechtlichen Angelegenheiten aus: Die Verwendung von Farben und Schattierungen kann demnach dazu beitragen, die Berichte und Gutachten übersichtlicher zu gestalten. Dies fördert die Transparenz und das Verständnis, da das Gerichtspersonal auf einen Blick erkennen kann, welche Teile des Berichts auf objektiven Fakten und welche auf subjektiven Interpretationen basieren. Durch diese klare Kennzeichnung wird das Risiko von Missverständnissen und Fehlinterpretationen reduziert, was besonders wichtig ist, da rechtliche Konsequenzen von Gutachten erheblich sein können. Obwohl dieser Ansatz eine vielversprechende Möglichkeit bietet, die Fachleute sachlicher und dadurch sicherer agieren zu lassen, birgt sie auch potenzielle Herausforderungen, die weiterhin die Wichtigkeit einheitlicher Leitlinien im gerichtsmedizinischen Alltag unterstreichen. Da beispielsweise identische Standards für die Verwendung von Farben und Schattierungen fehlen, könnte es problematisch sein, wenn verschiedene Gutachter*innen unterschiedliche Farbschattierungen und Methoden in ihren Darstellungen verwenden.

Beeinflussbar wäre dieser Umstand dadurch, dass Richter*innen die Geschworenen und Mitglieder des Gerichts explizit darüber informieren, wie sie visuelle Beweise bewerten sollen und welche Bedeutung diesen zukommt. Darüber hinaus wäre es sinnvoll, in komplexen Fragestellungen mehrere Meinungen von Fachleuten einzuholen, um eine breitere Sichtweise zu gewährleisten. Eine unabhängige Überprüfung von Gutachten und

Berichten kann zur Sicherstellung der Integrität dieser beitragen. Natürlich ist auch in diesem Bereich eine vertiefende Forschungstätigkeit wünschenswert, um die Weiterentwicklung der bereits vorhandenen Techniken zur Berichterstattung voranzutreiben und sie an die stetig wachsenden Bedürfnisse in der forensischen Medizin anzupassen.

Abseits gutachterlicher Tätigkeiten bei Gericht stellt die Verwendung von 3D-Daten zur Unterstützung von Gerichtsprozessen einen weiteren wesentlichen Aspekt des Einsatzes forensischer Bildgebung dar. Die Bedeutung einer klaren und verständlichen Präsentation von medizinischen Informationen vor Gericht wird in der Literatur mehrfach hervorgehoben. Die Interpretation von Bildmaterial von geöffneten Körpern erfordert spezifisches medizinisches Fachwissen, das in der Regel Laien einschließlich Richter*innen, Staatsanwältinnen und Staatsanwälten sowie Geschworenen fehlt (60). Somit kann es für diese Personen schwierig sein, die visuellen Befunde angemessen zu verstehen und eine Herausforderung darstellen, da Gerichtsverfahren für eine breite Palette von Fachleuten und Laien zugänglich sein müssen. Die erhobene Literatur betont zudem, dass die emotionalen Reaktionen auf Bilder von Obduktionen die Urteilsfindung beeinflussen können. Dadurch kann es ebenso zu Vorurteilen oder voreingenommenen Entscheidungen kommen und die Objektivität des Gerichtsverfahrens gefährdet werden (60). Daher ist es wichtig, dass die Verwendung von Bildmaterial als Beweismittel vor Gericht auf eine neutrale Weise erfolgt. Obwohl die forensische Bildgebung einschließlich der 3D-Darstellung von Verletzungen diesbezüglich viele Vorteile bietet, muss sichergestellt werden, dass die eingesetzte Methode zuverlässig genug ist, um möglichst objektive Entscheidungen des Gerichts zu unterstützen. Wie bereits in anderen Kontexten erwähnt, spielt auch hier ein angemessenes Maß an Erfahrung bei allen beteiligten Fachpersonen eine wichtige Rolle.

Obwohl aus den vorgestellten Publikationen deutlich hervorgeht, welche Vorteile die forensische Bildgebung vor Gericht bringt, ist dennoch unklar, inwieweit die noch neueren Möglichkeiten der Beweiserbringung von der Justiz in Österreich akzeptiert werden. Es fehlt an notwendigen Leitlinien, welche den Einsatz in gerichtlichen Verfahren regeln. Eine Implementierung von offiziellen Richtlinien nach Schweizer Vorbild könnte hierbei helfen, diesem Umstand entgegenzuwirken. Zudem müsste das Bewusstsein für den

Mehrwert, den die verschiedenen Bildgebungsmethoden wie die gewählten Publikationen zeigen, mit sich bringen, weiter geschärft werden. Die Initiierung eines Pilotprojekts, welches die Vorteile der forensischen Bildgebung anhand ausgewählter Fälle aufzeigt, kann dazu führen, dass auch in Österreich vermehrt postmortale radiologische Untersuchungen wie in Deutschland und der Schweiz durchgeführt werden.

Ein ebenso bedeutsames Thema bezieht sich auf die Dokumentationsvorteile im Vergleich zur klassischen Obduktion: Wie präzise Körperstrukturen abgebildet werden können, wird besonders in einem von Thali et al. (62) veröffentlichten Fallbericht deutlich. Dort mussten zur Wahrung der Anonymität die Augen des Opfers bedeckt werden. Obwohl die Technologie dazu beiträgt, ethische Bedenken hinsichtlich der Zurschaustellung des Opfers zu minimieren, kann die visuelle Darstellung, insbesondere wenn sie so detailgetreu wie im beschriebenen Fall ist, immer noch emotional belastend sein. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass durch die digitale Vermittlung von Verletzungen des Opfers bei ausreichender diagnostischer Genauigkeit eine größere emotionale Distanz geschaffen werden kann.

Neben den Vorzügen der Langzeitspeicherung (62) und Wiederverwendbarkeit (47,55,62) der Bilddaten wird in der vorliegenden Literatur wiederholt die Schnelligkeit (62,68,69) der Durchführung hervorgehoben. Die Interpretation der Ergebnisse setzt aber auch in diesem Punkt ein gewisses Maß an Erfahrung und Fachwissen voraus. Während die Schnelligkeit und minimalinvasiven Aspekte der forensischen Bildgebungsmethoden Vorteile bieten, besteht die Möglichkeit, dass Informationen fehlen, welche im Rahmen der Obduktion durch Gewebeproben gewonnen werden könnten. Zudem ist die Darstellung oberflächlicher Verletzungen aufgrund der fehlenden Farbinformationen weniger präzise (60,62). Eine diskutierbare Möglichkeit bestünde nach Ansicht der Autorinnen und Autoren darin, verschiedene neue Techniken zu kombinieren (62,72). Dies erfordert wiederum die genaue Koordination und Integration dieser Technologien, was unterstreicht, wie notwendig Standards und ein diesbezüglich forschendes Zentrum wären.

In Bezug auf die bessere Objektivierbarkeit im Vergleich zur Obduktion besteht in den für diese Diplomarbeit untersuchten Publikationen weitgehend Einigkeit darüber, dass der beobachterunabhängige Dokumentationsprozess ein Vorteil für die Qualitätssicherung und

Integrität der Untersuchungsergebnisse ist. Die Bewertung der erhobenen Befunde hängt jedoch wiederum von der Erfahrung der Gutachter*innen ab. Durch die Anwendung von standardisierten Protokollen kann die Objektivierbarkeit weiter erhöht werden.

Die vorgestellten Fallberichte von Andenmatten et al. (73) sowie Aquila et al. (76) unterstreichen die Bedeutung der forensischen Radiologie, insbesondere der MSCT, bei der Untersuchung von Todesfällen durch Schusswaffen. Insbesondere die Möglichkeit, Projektil- und Geschossfragmente im Körper in 3D darzustellen und zu lokalisieren, wird als bedeutender Fortschritt für die medizinische Forensik betont. Mithilfe dieser Technologie ist es möglich, forensisch wichtige Informationen rasch und präzise bereitzustellen, um so die Klärung von Todesfällen zu unterstützen. Die Schnelligkeit der MSCT ist aber nur dann von Vorteil, wenn die sich anschließenden Arbeitsprozesse korrekt durchgeführt werden, wodurch erneut die zentrale Rolle von Erfahrung, Standardisierung und länderübergreifender Zusammenarbeit deutlich wird.

Ebenso heben die Ergebnisse von van Kan et al. (77) hervor, dass die postmortale CT in den 21 untersuchten Fällen zusätzliche relevante Informationen bietet, insbesondere in Bezug auf die Rekonstruktion des Schusskanalverlaufs und der Identifikation von Verletzungen. Darüber hinaus ermöglicht die CT die Erfassung von Luftansammlungen, welche im Rahmen der Obduktion möglicherweise schwer zu erfassen wären. Dies hebt die Bedeutung der CT als Ergänzung zur Autopsie hervor und zeigt, wie durch die Kombination beider Methoden die Qualität der Untersuchungsergebnisse verbessert werden kann. Der Fallbericht von Ampanozi et al. (78) illustriert, wie die postmortale CT dazu beitragen kann, wichtige forensische Informationen zu liefern, die bei einer alleinigen Obduktion unentdeckt geblieben wären. Weitere Fallberichte wie die von Kirchhoff et al. (81) und Hueck et al. (82) bestätigen die Stärke der postmortalen Bildgebung bei der Erkennung von Geschossen und Projektilfragmenten. Trotz dieser Fortschritte und des Mehrwerts, den die postmortale CT in forensischen Untersuchungen bei Schusstodesfällen bietet, stimmen die meisten Autorinnen und Autoren darin überein, dass die CT die Obduktion nicht ersetzen kann, insbesondere hinsichtlich der genauen Lokalisation der Ein- und Ausschusswunde sowie der Schmauchspuren. Die äußere Untersuchung der Haut und die genaue Analyse dieser Merkmale sind nach wie vor unverzichtbar und können derzeit nicht durch radiologische Untersuchungen ersetzt werden. Es wird daher die

ergänzende Funktion der CT hervorgehoben, welche die äußere Begutachtung der Hautoberfläche im Rahmen der Obduktion aufgrund ihrer technologischen Limitationen nicht ablösen kann. Somit lassen auch diese analysierten Fallberichte den Rückschluss zu, dass computertomographische Untersuchungen ergänzend in der forensischen Begutachtung von Schussverletzungen eingesetzt werden sollten – dieser Ansatz könnte beispielsweise als Grundlage einer zu definierenden Leitlinie für den Einsatz forensischer Bildgebung in Österreich dienen.

Insgesamt deuten die in der durchgeführten Literaturrecherche herausgearbeiteten Publikationen darauf hin, dass die postmortale CT ein wertvolles Hilfsmittel bei der Befundung von Verletzungen durch Schusswaffen darstellt, vor allem, wenn es um schwer zugängliche oder routinemäßig nicht sezierte Körperregionen geht (79,83). Des Weiteren eröffnet die postmortale CT die Möglichkeit, relevante Informationen selbst dann zu gewinnen, wenn die Bildgebung erst im Anschluss an eine erfolgte Obduktion durchgeführt werden kann. Die Untersuchung von Visentin et al. (85) die die Post-Autopsie-Computertomographie (PACT) als Instrument zur Nachuntersuchung von Schussopfern vorstellt, eröffnet zugleich Chancen, aber auch Limitationen, insbesondere wenn es unterschiedliche gerichtsmedizinische Abläufe in verschiedenen europäischen und außereuropäischen Ländern gibt und eine Zusammenarbeit in juristischen Einzelfällen notwendig ist. Es sind datenschutzrechtliche Bestimmungen zu berücksichtigen und ein hoher Koordinationsaufwand einzukalkulieren, insbesondere wenn noch keine Standardisierung der Abläufe hinsichtlich Zuständigkeit, Datenverarbeitung und Datenübermittlung besteht.

Dass CT und MRT in medizinisch-rechtlichen Angelegenheiten nicht als Ersatz zur Obduktion gesehen werden sollen, wird auch in der Vergleichsstudie von Oehmichen et al. (86) betont. Stattdessen wird eine Empfehlung dafür abgegeben, sie als ergänzende Verfahren zu verwenden, insbesondere wenn medizinische Eingriffe oder Überlebenszeiten zu Veränderungen der ursprünglichen Verletzungen geführt haben. Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer ganzheitlichen Herangehensweise in forensischen Untersuchungen, die eine Kombination verschiedener Techniken und Kenntnisse erfordert, um ein umfassenderes Verständnis der Umstände von Schussverletzungen zu gewinnen.

Sich auf Oehmichen et al. beziehend kann ein integrativer Ansatz, eine Verbindung der klassischen Obduktion mit forensischer Bildgebung, als relevant abgeleitet werden.

Auf das Potenzial einer anderen Bildgebungsmethode, nämlich der MRT, weist eine Untersuchung von Gascho et al. (87) hin, insbesondere wenn Weichteilverletzungen und die Integrität des Hirnstamms von forensischer Bedeutung sind. Während die CT-Befundung durch Metallartefakte erheblich beeinträchtigt wurde, konnten mithilfe der MRT die Weichteilverletzungen und die rupturierte Medulla oblongata einwandfrei dargestellt werden. Dieser Umstand zeigt die begrenzte Anwendbarkeit der CT in Fällen mit Metallgeschossen auf. Die Zusammensetzung des Projektils kann daher einen Einfluss auf die Wahl der bildgebenden Methode haben. Ebenso könnte in der Praxis die Verzögerung zwischen den beiden radiologischen Untersuchungen von 65 Stunden in akuten Fällen problematisch sein, da schnelle gerichtsmedizinische Untersuchungen und Analysen oft entscheidend sind. Die Koordination von radiologischen Untersuchungen und der anschließenden Obduktion kann ebenfalls zu Herausforderungen führen, insbesondere wenn die Untersuchungen an externen Instituten durchgeführt werden müssen. Auch in diesem Punkt zeigt sich die Notwendigkeit einer klaren Regelung hinsichtlich Standardisierung und Koordination der Untersuchungsabläufe.

Die Bedeutung der Kombination von radiologischen Untersuchungen und der traditionellen Obduktion unterstreicht ein weiterer Fallbericht von Gascho et al. (88): Die Autorinnen und Autoren betonen in diesem Fall die ergänzende Rolle der CT und MRT zur Beurteilung von Verletzungen durch Schusswaffen im Vergleich zur Obduktion. Beide bildgebende Verfahren haben ihre Vorteile und Limitationen, da beispielsweise im dargelegten Fall die Bildqualität durch Gas- und Flüssigkeitsansammlungen beeinträchtigt wurde. Daher weisen Gascho et al. (88) auf die Unentbehrlichkeit der Obduktion hin, insbesondere wenn es um die Beurteilung von inneren Verletzungen, der Überlebenszeit und Todesursache geht. Die Kombination von bildgebenden Verfahren und der traditionellen Obduktion ermöglicht somit eine umfassendere und präzisere Untersuchung, die die Limitationen der einzelnen Methoden ausgleicht und zu einer zuverlässigeren forensischen Beurteilung beiträgt. Hieraus lässt sich auch ein weiterer, wesentlicher Aspekt der Beantwortung der Forschungsfrage dieser Diplomarbeit ableiten.

Die Implementierung der 7 Tesla MRT in gerichtsmedizinischen Untersuchungen von Schusswaffenverletzungen wie von Gascho et al. (90) beschrieben, offenbart das Potenzial, die forensische Wissenschaft auf diesem Gebiet zu bereichern. Die eindeutigen Stärken des 7 Tesla MRT liegen in der verbesserten Bildqualität und der höheren Empfindlichkeit gegenüber Weichteilverletzungen im Vergleich zur 3 Tesla MRT. Dadurch wird eine genauere Befundung von Verletzungen durch Schusswaffen und ihren Auswirkungen ermöglicht. Da Untersuchungen zur genannten Bildgebungsmethode noch begrenzt sind, benötigt es weitere Forschung, um herauszufinden, inwiefern diese moderne Bildgebungstechnologie dazu führen kann, bislang nicht sichtbare Verletzungen früher zu erkennen. Hierbei ist einschränkend anzumerken, dass die Verwendung der 7 Tesla MRT in der Gerichtsmedizin nicht nur durch hohe Kosten und die Abhängigkeit von qualifiziertem Personal erschwert wird, sondern auch durch die begrenzte Verfügbarkeit dieser Bildgebungsmethode und die technologischen Herausforderungen, die damit einhergehen.

In ähnlicher Weise verhält es sich mit dem Einsatz der postmortalen Computertomographie-Angiographie. Aufgrund der in Kapitel 1.7.2 dargelegten Einschränkungen sind der Forschungsumfang und die Anwendungsmöglichkeiten auf diesem Gebiet noch beschränkt. Der Fallbericht von Ruder et al. (91) führt aus, wie die CTA in einer Untersuchung eingesetzt wurde, um die Folgen eines versehentlichen Schusses in die Brust eines Mannes zu analysieren. Sowohl die Ergebnisse der CT als auch der CTA lieferten wertvolle Informationen über das Ausmaß der Gefäßverletzungen. Die in diesem Fall durchgeführte Autopsie bestätigte zwar die Befunde der CTA, fügte jedoch keine weiteren Erkenntnisse über die Todesursache hinzu. Es ist daher von Interesse zu klären, welche Informationen die CTA liefern kann, die durch die Obduktion nicht verfügbar wären und umgekehrt. Hierfür werden weitere Fallanalysen und -berichte benötigt.

Auch wenn die Datenlagen insbesondere für einzelne Verfahren wie die Computertomographie-Angiographie noch begrenzt ist und weiterer Forschungsbedarf besteht, zeigen die bisherigen Ergebnisse und die Literatur bereits klare Vorteile auf. Diese sind in nachfolgender Tabelle 1 zusammengefasst und heben die wesentlichen Stärken der diskutierten forensischen Bildgebungsmethoden hervor.

Vorteile/Nutzen	Beschreibung
Nichtinvasive Untersuchungsmethode	Ermöglicht die Untersuchung des Körpers ohne sofortige Eröffnung.
Zeit- und Ressourceneffizienz	Schnelle Erfassung des gesamten Körpers → besonders hilfreich bei multiplen oder komplexen Verletzungen.
Überblick verschaffen → gezieltere Obduktion	Liefert eine Übersicht über Verletzungen und deren Zusammenhänge, auch bei sehr komplexen oder multiplen Traumata. Ermöglicht dadurch eine gezieltere anschließende Obduktion.
Objektivierbarkeit	Standardisierte Bildaufnahmen ermöglichen nachvollziehbare, vergleichbare Bewertungen durch unterschiedliche Gutachter*innen.
Rekonstruktive Aspekte	Darstellung des Schusskanalverlaufs und der Verletzungsmechanismen unterstützt die forensische Rekonstruktion des Tathergangs.
Dokumentation und Beweissicherung	Digitale Bilddaten können archiviert und auch Jahrzehnte später zur Beantwortung von Fragestellungen herangezogen werden.
Möglichkeit der Fernanalyse	Mehrere Befunder*innen können zeitgleich dieselben Daten analysieren.
Visualisierung von Weichteil- und Knochenverletzungen in 3D	Hilfreich bei der Tat(ort)rekonstruktion.
Auffinden von Fremdkörpern und Projektilen	Zeigt präzise die Lage von Projektilen und Fremdkörpern an, auch in schwer zugänglichen Körperbereichen.
Möglichkeit der postmortalen Computertomographie-Angiographie	Darstellung der Gefäßverläufe, z. B. zur Erkennung von Blutungen oder Embolien.
Visualisierung von Frakturen	Darstellung der Knochenfragmente in anatomisch korrekter Lage.
Präzision und Dreidimensionalität	3D-Rekonstruktionen ermöglichen eine exakte räumliche Orientierung und Visualisierung von Schusskanalverläufen und Verletzungsmustern aus allen Blickwinkeln.
Visualisierung	Darstellung der Befunde im Gerichtssaal sowie für Lehrzwecke.

Tabelle 1: Überblick über die wesentlichen Vorteile der vorgestellten forensischen Bildgebungsmethoden (eigene Darstellung auf Grundlage der ausgewählten Publikationen)

Dennoch weist die vorliegende Diplomarbeit mehrere Limitationen auf, die bei der Ergebnisinterpretation nicht unberücksichtigt bleiben sollten. Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von Forschungsstudien auf diesem Gebiet, stützt sich diese Arbeit auf eine begrenzte Anzahl von Fallberichten und Vergleichsstudien aus den ursprünglich definierten, zu untersuchenden deutschsprachigen Ländern. Aus diesem Grund wurden auch Publikationen aus Italien, Dänemark und der Niederlande miteinbezogen, um die Menge der Fallberichte zu erweitern und so mehr Evidenz für das Erzielen von Erkenntnissen zu generieren. Dennoch sind die Fallzahlen in den ausgewählten Artikeln relativ klein, wodurch die allgemeine Aussagekraft der Resultate beeinträchtigt werden kann. Daraus lässt sich die Annahme ableiten, dass größere Fallzahlen möglicherweise

schwer zu erreichen sind, da die forensische Radiologie ein sehr spezialisiertes Fachgebiet ist. Zudem beschränkt sich der Fokus dieser Arbeit auf die Befundung von Schussverletzungen, während andere Formen von Verletzungen sowie forensische Fragestellungen ausgespart werden. Dadurch wird die Generalisierbarkeit der Ergebnisse auf andere Bereiche der Gerichtsmedizin eingeschränkt. Weiterhin ist zu beachten, dass der Ländervergleich zwischen Deutschland, Österreich und der Schweiz und die daraus resultierenden rechtlichen und organisatorischen Unterschiede zwischen den Ländern die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf internationale Zusammenhänge limitierend beeinflussen. Darüber hinaus wird die Qualifikation der Radiologinnen und Radiologen in der analysierten Literatur nur begrenzt beschrieben. Abschließend bleibt festzuhalten, dass in den untersuchten Quellen nur wenige Informationen über die Art der verwendeten Waffen und Munitionen bereitgestellt wurden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass zum einen die Etablierung von Richtlinien und Qualitätsstandards für die Anwendung der diskutierten Techniken von Relevanz ist, um die Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Des Weiteren sind umfangreichere Studien mit einer größeren Fallzahl sowie Vergleichsstudien notwendig, die die Genauigkeit der Bildgebungsmethoden im Vergleich zur traditionellen Obduktion untersuchen. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit der verschiedenen Fachbereiche ist ein Schlüssel zur optimalen Nutzung forensischer Bildgebungsverfahren. Untersuchungen zu den finanziellen Aspekten sowie die Förderung internationaler Kooperationen sind weitere Schritte, die dazu beitragen können, radiologische Bildgebungsmethoden vermehrt in den gerichtsmedizinischen Alltag in Österreich zu implementieren und das Bewusstsein für deren Mehrwert zu schärfen.

Literaturverzeichnis

1. Löff MJ. Waffenrecht - Verbote, Verstöße, Unterschiede. Öffentliche Sicherheit 1-2/20 [Internet]. [zitiert 26. Januar 2023]:12–3. Abgerufen: https://www.bmi.gv.at/magazinfiles/2020/01_02/waffenrecht_bf_20200117.pdf
2. Bundeskanzleramt Österreich. oesterreich.gv.at - Österreichs digitales Amt [Internet]. Waffenrecht – Überblicksmäßige Tabelle der Kategorien und Berechtigungen [zitiert 23. Januar 2023]. Abgerufen: https://www.oesterreich.gv.at/themen/dokumente_und_recht/waffenrecht/Seite.2450700.html
3. Waffenregister Österreich.pdf [Nicht veröffentlichter Auszug aus dem ZWR]. Anzahl aufrechte Waffen und Waffenbesitzer pro Bundesland und Kategorie. Stichtag: 01.01.2023. [zitiert 26. Januar 2023]. Daten vom: 01.01.2023 06:50:11.
4. Statistik Austria. Wirtschaftskammern Österreichs, Herausgeber. Altersstruktur der Bevölkerung 2023 Statistik des Bevölkerungsstandes, Stand: 01.01.2023. [Internet]. [zitiert 13. Juni 2024].
5. Giersch R. Das neue Zentrale Waffenregister. Öffentliche Sicherheit 11-12/12 [Internet]. [zitiert 25. Januar 2023];88–9. Abgerufen: https://www.bmi.gv.at/magazinfiles/2012/11_12/files/waffenrecht.pdf
6. Bundeskanzleramt Österreich. oesterreich.gv.at - Österreichs digitales Amt [Internet]. Zentrales Waffenregister (ZWR) [zitiert 25. Januar 2023]. Abgerufen: <https://www.oesterreich.gv.at/lexicon/Z/Seite.991475.html>
7. Nationales Waffenregister - Fachliche Leitstelle. [Internet]. Was ist das Nationale Waffenregister? [zitiert 20. Januar 2023]. Abgerufen: <https://www.nwr-fl.de/was-ist-das-nationale-waffenregister.html>
8. Schlatter M. Zunahme der Gewaltbereitschaft und privater Waffenbesitz. Es braucht ein zentrales Waffenregister! [Parlamentarische Initiative] [Internet]. [zitiert 22. Januar 2023]. Abgerufen: <https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaeft?AffairId=20220440>
9. Bundesministerium für Inneres. Sicherheitsbericht 2021. Kriminalität Vorbeugung und Bekämpfung [Internet]. [zitiert 14. Januar 2023]. Abgerufen: https://www.bmi.gv.at/508/files/SIB_2021/Kriminalitaet_-_Vorbeugung_und_Bekaempfung_Anhang.pdf
10. Bundesministerium für Inneres. Kriminalitätsbericht. 2021 Statistik und Analyse [Internet]. [zitiert 14. Januar 2023]. Abgerufen: https://www.bmi.gv.at/508/files/SIB_2021/Kriminalitaetsbericht_-_Statistik_und_Analyse.pdf
11. Bundeskriminalamt. PKS 2021 Bund - Falltabellen. T01 Grundtabelle - Fälle (V1.0). Informationen zu Fällen (Anzahl insgesamt, Anzahl Versuche, Aufgliederung nach

- Delikten, Tatortverteilung, Anteile männliche, weibliche, nichtdeutsche Tatverdächtige). [Internet]. [zitiert 14. Januar 2023].
12. Bundeskriminalamt. PKS 2021 Bund - Opfertabellen. T94 Opferspezifika (V1.0). Informationen zum Opfer für vollendete Taten, Versuche und insgesamt nach Delikten, gesondert nach Geschlecht unter der Bedingung, dass die Tatmotivation in den personen-, berufs- bzw. verhaltensbezogenen Merkmalen begründet ist oder in Beziehung dazu steht (sachlicher Zusammenhang).
 13. Bundeskriminalamt. PKS 2021 Bund - Falltabellen. T01 Grundtabelle - vollendete Fälle (V1.0). Informationen zu vollendeten Fällen (Anzahl insgesamt, Aufgliederung nach Delikten, Tatortverteilung, Anteile männliche, weibliche, nichtdeutsche Tatverdächtige).
 14. Bundesamt für Statistik (BFS), Reihenherausgeber. Polizeiliche Kriminalstatistik (PKS) Jahresbericht 2021 der polizeilich registrierten Straftaten [Internet]. Neuchâtel 2022 [zitiert 14. Januar 2023]. (Kriminalität und Strafrecht). Abgerufen: <https://www.fr.ch/sites/default/files/2022-03/polizeiliche-kriminalstatistik--ch-bfs--2021.pdf>
 15. Kneubuehl BP. Munitions- und waffentechnische Grundlagen. In: Kneubuehl BP, Herausgeber. Wundballistik: Grundlagen und Anwendungen. 3., vollst. überarb. und erw. Aufl. Heidelberg: Springer; 2008. S. 35–69.
 16. Martini KH. Das Waffensachkundebuch. 22. Auflage. Schwäbisch Hall: Blätterdach GmbH; 2022.
 17. Hochmeister M, Grassberger M, Stimpfl T. Forensische Medizin für Studium und Praxis. 2., aktual. Aufl. Wien: Maudrich; 2007.
 18. Pollak S. Schussverletzungen. In: Madea B, Herausgeber. Rechtsmedizin: Befunderhebung, Rekonstruktion, Begutachtung. 3. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer; 2015. DOI: 10.1007/978-3-662-43500-7
 19. Meierhofer G, Herausgeber. Handfeuerwaffen: Pistolen, Revolver, Gewehre, Maschinenpistolen, Maschinengewehre, Granatwaffen. Gen. Lizenzausg. Fränkisch-Crumbach: Neuer-Kaiser-Verl; 2015.
 20. Kneubuehl BP. Ballistik. In: Kneubuehl BP, Herausgeber. Wundballistik: Grundlagen und Anwendungen. 3., vollst. überarb. und erw. Aufl. Heidelberg: Springer; 2008. S. 69–90.
 21. Stenzel M, Große Perdekamp M. Schuss. In: Glemser P, Krauskopf A, Schlemmer H-P, Yen K, Herausgeber. Radiologie der Gewalt: Einführung in Methodik und Begutachtung für Radiologen und Rechtsmediziner. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag; 2021. DOI: 10.1055/b-004-132205
 22. Rothschild MA. Klassische Rechtsmedizin. In: Kneubuehl BP, Herausgeber. Wundballistik: Grundlagen und Anwendungen. 3., vollst. überarb. und erw. Aufl. Heidelberg: Springer; 2008. S. 267–304.

23. Bornik A, Heinze S, Campana L, Rost T, Wittig H, Labudde D, u. a. Theoretische Grundlagen der forensischen Bildgebung. *Rechtsmedizin*. 2019;29(1):1–12. DOI: 10.1007/s00194-018-0295-x
24. Grabherr S, Baumann P, Fahrni S, Mangin P, Grimm J. Virtuelle vs. reale forensische bildgebende Verfahren: Einsatzgebiete, Vorteile und Limits. *Rechtsmedizin*. 2015;25(5):493–509. DOI: 10.1007/s00194-015-0047-0
25. Fischer H, Heinemann A. Arbeitsgemeinschaft für Forensische Bildgebung der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin: Grundlagen der postmortalen Computertomographie (PMCT) für forensisch-radiologische Anwendungen – Empfehlungen und Indikationskatalog. *Rechtsmedizin*. 2016;26(4):284–90. DOI: 10.1007/s00194-016-0096-z
26. Glemser PA, Schlemmer H-P, Pfeleiderer M. Computertomografie. In: Glemser PA, Krauskopf A, Schlemmer H-P, Yen K, Herausgeber. *Radiologie der Gewalt: Einführung in Methodik und Begutachtung für Radiologen und Rechtsmediziner*. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag; 2021. DOI: 10.1055/b-004-132205
27. Alkadhi H, Leschka S, Stolzmann P, Scheffel H. *Wie funktioniert CT? eine Einführung in Physik, Funktionsweise und klinische Anwendungen der Computertomographie*. Berlin Heidelberg: Springer; 2011.
28. Prokop M, Galanski M, Schaefer-Prokop C, Van Der Molen AJ, Herausgeber. *Ganzkörper-Computertomographie: Spiral- und Multislice-CT*. 2. Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2007 S. b-004-133330. DOI: 10.1055/b-004-133330
29. Zerlauth JB, Doenz F, Dominguez A, Palmiere C, Uské A, Meuli RA, u. a. Surgical interventions with fatal outcome: Utility of multi-phase postmortem CT angiography. *Forensic Science International*. 2013;225(1–3):32–41. DOI: 10.1016/j.forsciint.2012.05.013
30. Michaud K, Grabherr S, Doenz F, Mangin P. Evaluation of postmortem MDCT and MDCT-angiography for the investigation of sudden cardiac death related to atherosclerotic coronary artery disease. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2012;28(7):1807–22. DOI: 10.1007/s10554-012-0012-x
31. Wichmann D, Heinemann A, Weinberg C, Vogel H, Hoepker WW, Grabherr S, u. a. Virtual Autopsy With Multiphase Postmortem Computed Tomographic Angiography Versus Traditional Medical Autopsy to Investigate Unexpected Deaths of Hospitalized Patients: A Cohort Study. *Ann Intern Med*. 2014;160(8):534. DOI: 10.7326/M13-2211
32. Universitätsklinikum Erlangen. [Internet]. Konventionelles Röntgen - Radiologie [zitiert 1. Juli 2024]. Abgerufen: <https://www.radiologie.uk-erlangen.de/patienten/untersuchungsverfahren/konventionelles-roentgen/>
33. Universitätsklinikum Heidelberg. [Internet]. Universitätsklinikum Heidelberg: Projektionsradiographie (konventionelles Röntgen) [zitiert 1. Juli 2024]. Abgerufen: <https://www.klinikum.uni-heidelberg.de/verfahren/projektionsradiographie-konventionelles-roentgen-201660>

34. Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden. [Internet]. Konventionelles Röntgen [zitiert 1. Juli 2024]. Abgerufen: <https://www.uniklinikum-dresden.de/de/das-klinikum/kliniken-polikliniken-institute/nra/patienteninfo/diagnostische-verfahren/konventionelles-roentgen>
35. Breithaupt M, Scheurer E. Magnetresonanztomografie. In: Glemser P, Krauskopf A, Schlemmer H-P, Yen K, Herausgeber. Radiologie der Gewalt: Einführung in Methodik und Begutachtung für Radiologen und Rechtsmediziner. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag; 2021. DOI: 10.1055/b-004-132205
36. Pabst C. Magnetresonanztomographie Lernskript für Mediziner Grundlagen der Magnetresonanztomographie. [Internet]. Universitätsklinikum Giessen und Marburg Standort Marburg; 2013.
37. Buck U, Naether S, Braun M, Bolliger S, Friederich H, Jackowski C, u. a. Application of 3D documentation and geometric reconstruction methods in traffic accident analysis: With high resolution surface scanning, radiological MSCT/MRI scanning and real data based animation. *Forensic Science International*. 2007;170(1):20–8. DOI: 10.1016/j.forsciint.2006.08.024
38. Thali MJ, Braun M, Brueschweiler W, Dirnhofer R. ‘Morphological imprint’: determination of the injury-causing weapon from the wound morphology using forensic 3D/CAD-supported photogrammetry. *Forensic Science International*. 2003;132(3):177–81. DOI: 10.1016/S0379-0738(03)00021-5
39. Naether S, Buck U, Campana L, Breitbeck R, Thali M. The examination and identification of bite marks in foods using 3D scanning and 3D comparison methods. *Int J Legal Med*. 2012;126(1):89–95. DOI: 10.1007/s00414-011-0580-7
40. Buck U. Laserscanning in der Kriminalistik. *zfv* [Internet]. [zitiert 1. August 2023];(3/2010):190–8. Abgerufen: https://geodaesie.info/images/zfv/135-jahrgang-2010/downloads/zfv_2010_3_Buck.pdf
41. Johnke S. Forensisches Laserscanning in der Kriminaltechnik Hamburg. *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*. 2016;(4/2016):241–3. DOI: 10.12902/zfv-0114-2016
42. Bundeskriminalamt. [Internet]. Tatortdokumentation der dritten Dimension [zitiert 4. Juli 2024]. Abgerufen: <https://www.bundeskriminalamt.at/news.aspx?id=754167324D515A6D4244553D>
43. Luhmann T. Nahbereichsphotogrammetrie: Grundlagen - Methoden - Beispiele. 5., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin Offenbach: Wichmann; 2023.
44. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, u. a. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;n71. DOI: 10.1136/bmj.n71
45. van Kan RAT, Haest IHH, Lahaye MJ, Hofman PAM. The diagnostic value of forensic imaging in fatal gunshot incidents: A review of literature. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*. 2017;10:9–14. DOI: 10.1016/j.jofri.2017.07.003

46. Kettner M, Ramsthaler F, Grabherr S, Heinemann A, Birngruber CG, Verhoff MA, u. a. Forensische Bildgebung im deutschsprachigen Raum – eine Bestandsaufnahme. *Rechtsmedizin*. 2017;27(5):407–13. DOI: 10.1007/s00194-017-0157-y
47. 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(2):273–82. DOI: 10.1007/s00330-007-0737-4
48. Universität Zürich Institut für Rechtsmedizin. IRM-UZH Jahresbericht 2022 [Internet]. Universität Zürich Institut für Rechtsmedizin. Abgerufen: www.irm.uzh.ch
49. Thali MJ. Universität Zürich Institut für Rechtsmedizin, Reihenherausgeber. IRM-UZH Jahresbericht 2021 [Internet]. Universität Zürich Institut für Rechtsmedizin. Abgerufen: <https://www.irm.uzh.ch/de/ueberuns/jahresbericht.html>
50. Centre universitaire romand de médecine légale,, Lausanne - Genève (CURML). [Internet]. Dienstleistungen der Forensische Bildgebung und Anthropologie (UIAF) Abgerufen: <https://www.curml.ch/de/dienstleistungen-der-forensische-bildgebung-und-anthropologie-uiaf>
51. Kantonsspital St.Gallen, Institut für Rechtsmedizin. Kantonsspital St.Gallen [Internet]. Postmortale Bildgebung Rechtsmedizin [zitiert 23. Oktober 2023]. Abgerufen: <https://www.kssg.ch/rechtsmedizin/leistungsangebot/postmortale-bildgebung>
52. Kantonsspital Aarau, Institut für Rechtsmedizin. Kantonsspital Aarau [Internet]. 31. März 2015. Leistungsangebot Rechtsmedizin [zitiert 23. Oktober 2023]. Abgerufen: <https://www.ksa.ch/zentren-kliniken/rechtsmedizin/leistungsangebot>
53. Ludwig Boltzmann Institut für Klinisch-Forensische Bildgebung. [Internet]. 19. Mai 2021. LBI für Klinisch-Forensische Bildgebung (LBI CFI) wurde mit Ende 2019 geschlossen [zitiert 23. Oktober 2023]. Abgerufen: <https://cfi.lbg.ac.at/de/aktuelles/lbi-fuer-klinisch-forensische-bildgebung-lbi-cfi-wurde-ende-2019-geschlossen>
54. Buck U, Naether S, Räss B, Jackowski C, Thali MJ. Accident or homicide--virtual crime scene reconstruction using 3D methods. *Forensic Sci Int*. 2013;225(1–3):75–84. DOI: 10.1016/j.forsciint.2012.05.015
55. Bolliger MJ, Buck U, Thali MJ, Bolliger SA. Reconstruction and 3D visualisation based on objective real 3D based documentation. *Forensic Sci Med Pathol*. 2012;8(3):208–17. DOI: 10.1007/s12024-011-9288-8
56. Maiese A, Gitto L, De Matteis A, Panebianco V, Bolino G. Post mortem computed tomography: useful or unnecessary in gunshot wounds deaths? Two case reports. *Leg Med (Tokyo)*. 2014;16(6):357–63. DOI: 10.1016/j.legalmed.2014.06.005
57. Colard T, Delannoy Y, Bresson F, Marechal C, Raul JS, Hedouin V. 3D-MSCT imaging of bullet trajectory in 3D crime scene reconstruction: two case reports. *Leg Med (Tokyo)*. 2013;15(6):318–22. DOI: 10.1016/j.legalmed.2013.07.002

58. Villa C, Olsen KB, Hansen SH. Virtual animation of victim-specific 3D models obtained from CT scans for forensic reconstructions: Living and dead subjects. *Forensic Sci Int.* 2017;278:e27–33. DOI: 10.1016/j.forsciint.2017.06.033
59. Bornik A. Integrierte, computergestützte Fallanalyse auf Basis von 3D-Bildgebung. In: Staudegger E, Herausgeber. *Forensigraphie: Möglichkeiten und Grenzen IT-gestützter klinisch-forensischer Bildgebung.* Wien: Jan Sramek Verlag KG; 2017. S. 223–52. (Strafrecht und Kriminologie).
60. Bolliger SA, Thali MJ. Imaging and virtual autopsy: looking back and forward. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2015;370(1674):20140253. DOI: 10.1098/rstb.2014.0253
61. Ogris K, Yen K. Klinisch-forensische Bildgebung. In: Staudegger E, Herausgeber. *Forensigraphie: Möglichkeiten und Grenzen IT-gestützter klinisch-forensischer Bildgebung.* Wien: Jan Sramek Verlag KG; 2017. S. 133–58. (Strafrecht und Kriminologie).
62. Thali MJ, Yen K, Vock P, Ozdoba C, Kneubuehl BP, Sonnenschein M, u. a. 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.* 2003;138(1–3):8–16. DOI: 10.1016/s0379-0738(03)00225-1
63. Flach PM, Gascho D, Schweitzer W, Ruder TD, Berger N, Ross SG, u. a. Imaging in forensic radiology: an illustrated guide for postmortem computed tomography technique and protocols. *Forensic Sci Med Pathol.* 2014;10(4):583–606. DOI: 10.1007/s12024-014-9555-6
64. Leth PM. The use of CT scanning in forensic autopsy. *Forens Sci Med Pathol.* 2007;3(1):65–9. DOI: 10.1385/FSMP:3:1:65
65. Thali MJ, Ross SG, Ebert LC. Applications of Rapid-Prototyping Methods in Forensic Medicine. In: Thali MJ, Viner MD, Brogdon BG, Herausgeber. *Brogdon's forensic radiology.* 2nd ed Aufl. Boca Raton, FL: CRC Press; 2011.
66. Chapter A3. *Virtopsy® More Than Some 100 Cases: Statement and Perspectives of Forensic Imaging by Using 3D Optical and Combined CT/MRI Whole-Body Scanning.* In: Thali M, Dirnhofer R, Vock P, Herausgeber. *The Virtopsy Approach: 3D Optical and Radiological Scanning and Reconstruction in Forensic Medicine.* 0Aufl. CRC Press; 2009. DOI: 10.1201/9780849381898
67. Thali MJ, Yen K, Schweitzer W, Vock P, Boesch C, Ozdoba C, u. a. 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(2):386–403.
68. Thali MJ, Schweitzer W, Yen K, Vock P, Ozdoba C, Spielvogel E, u. a. New horizons in forensic radiology: the 60-second digital autopsy-full-body examination of a gunshot victim by multislice computed tomography. *Am J Forensic Med Pathol.* 2003;24(1):22–7. DOI: 10.1097/01.PAF.0000050694.17624.B1

69. Sidler M, Jackowski C, Dirnhofer R, Vock P, Thali M. Use of multislice computed tomography in disaster victim identification—Advantages and limitations. *Forensic Science International*. 2007;169(2–3):118–28. DOI: 10.1016/j.forsciint.2006.08.004
70. Pomara C, Fineschi V, Scalzo G, Guglielmi G. Virtopsy versus digital autopsy: virtuous autopsy. *Radiol med*. 2009;114(8):1367–82. DOI: 10.1007/s11547-009-0435-1
71. Burton JL. Health and safety at necropsy. *Journal of Clinical Pathology*. 2003;56(4):254–60. DOI: 10.1136/jcp.56.4.254
72. Thali MJ, Braun M, Kneubuehl BP, Brueschweiler W, Vock P, Dirnhofer R. Improved vision in forensic documentation: forensic 3D/CAD-supported photogrammetry of bodily injury external surfaces combined with volumetric radiologic scanning of bodily injury internal structures provides more investigative leads and stronger forensic evidence. In: Oliver WR, Herausgeber. Washington, DC; 2000. S. 213–21.
73. Andenmatten MA, Thali MJ, Kneubuehl BP, Oesterhelweg L, Ross S, Spendlove D, u. a. Gunshot injuries detected by post-mortem multislice computed tomography (MSCT): a feasibility study. *Leg Med (Tokyo)*. 2008;10(6):287–92. DOI: 10.1016/j.legalmed.2008.03.005
74. Jackowski C, Thali M, Sonnenschein M, Aghayev E, Yen K, Dirnhofer R, u. a. Visualization and quantification of air embolism structure by processing postmortem MSCT data. *J Forensic Sci*. 2004;49(6):1339–42.
75. Egger C, Vaucher P, Doenz F, Palmiere C, Mangin P, Grabherr S. Development and validation of a postmortem radiological alteration index: the RA-Index. *Int J Legal Med*. Springer Science and Business Media LLC; 2012;126(4):559–66. DOI: 10.1007/s00414-012-0686-6
76. Aquila I, Sicilia F, Ricci P, Antonio Sacco M, Manno M, Gratteri S. Role of post-mortem multi-slice computed tomography in the evaluation of single gunshot injuries. *Med Leg J*. 2019;87(4):204–10. DOI: 10.1177/0025817219848264
77. van Kan RAT, Haest IHH, Lobbes MBI, Kroll J, Ernst SR, Kubat B, u. a. Post-mortem computed tomography in forensic investigations of lethal gunshot incidents: is there an added value? *Int J Legal Med*. 2019;133(6):1889–94. DOI: 10.1007/s00414-019-02108-y
78. Ampanozi G, Schwendener N, Krauskopf A, Thali MJ, Bartsch C. Incidental occult gunshot wound detected by postmortem computed tomography. *Forensic Sci Med Pathol*. 2013;9(1):68–72. DOI: 10.1007/s12024-012-9369-3
79. Scholing M, Saltzherr TP, Fung Kon Jin PHP, Ponsen KJ, Reitsma JB, Lameris JS, u. a. The value of postmortem computed tomography as an alternative for autopsy in trauma victims: a systematic review. *Eur Radiol*. 2009;19(10):2333–41. DOI: 10.1007/s00330-009-1440-4

80. Tartaglione T, Filograna L, Roiati S, Guglielmi G, Colosimo C, Bonomo L. Importance of 3D-CT imaging in single-bullet cranioencephalic gunshot wounds. *Radiol Med.* 2012;117(3):461–70. DOI: 10.1007/s11547-011-0784-4
81. Kirchhoff SM, Scaparra EF, Grimm J, Scherr M, Graw M, Reiser MF, u. a. Postmortem computed tomography (PMCT) and autopsy in deadly gunshot wounds--a comparative study. *Int J Legal Med.* 2016;130(3):819–26. DOI: 10.1007/s00414-015-1225-z
82. Hueck U, Muggenthaler H, Hubig M, Heinrich A, Güttler F, Wagner R, u. a. Forensic postmortem computed tomography in suspected unnatural adult deaths. *Eur J Radiol.* 2020;132:109297. DOI: 10.1016/j.ejrad.2020.109297
83. Giorgetti A, Giraud C, Viero A, Bisceglia M, Lupi A, Fais P, u. a. Radiological investigation of gunshot wounds: a systematic review of published evidence. *Int J Legal Med.* 2019;133(4):1149–58. DOI: 10.1007/s00414-019-02071-8
84. Del Fante Z, De Matteis A, Fazio V, Di Fazio N, Quattrocchi A, Romano S, u. a. The importance of Post Mortem Computed Tomography (PMCT) in the reconstruction of the bullet trajectory. *Clin Ter.* 2019;170(2):e129–33. DOI: 10.7417/CT.2019.2122
85. Visentin S, Pelletti G, Dengo C, De Matteis M, Montisci M. Post-autopsy computed tomography. Pros and cons in a firearm death. *Forensic Sci Int.* 2017;276:e16–9. DOI: 10.1016/j.forsciint.2017.04.017
86. Oehmichen M, Gehl H-B, Meissner C, Petersen D, Höche W, Gerling I, u. a. Forensic pathological aspects of postmortem imaging of gunshot injury to the head: documentation and biometric data. *Acta Neuropathol.* 2003;105(6):570–80. DOI: 10.1007/s00401-003-0683-4
87. Gascho D, Marosi M, Thali MJ, Deininger-Czermak E. Postmortem Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging of Gunshot Wounds to the Neck. *J Forensic Sci.* 2020;65(4):1360–4. DOI: 10.1111/1556-4029.14311
88. Gascho D, Bolliger SA, Thali MJ, Tappero C. Postmortem Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging of an Abdominal Gunshot Wound. *Am J Forensic Med Pathol.* 2020;41(2):119–23. DOI: 10.1097/PAF.0000000000000547
89. Peschel O, Szeimies U, Vollmar C, Kirchhoff S. Postmortem 3D reconstruction of skull gunshot injuries. *Forensic Sci Int.* 2013;233(1–3):45–50. DOI: 10.1016/j.forsciint.2013.08.012
90. Gascho D, Deininger-Czermak E, Zoelch N, Tappero C, Sommer S, Hinterholzer N, u. a. Noninvasive 7 tesla MRI of fatal craniocerebral gunshots - a glance into the future of radiologic wound ballistics. *Forensic Sci Med Pathol.* 2020;16(4):595–604. DOI: 10.1007/s12024-020-00300-w
91. Ruder TD, Ross S, Preiss U, Thali MJ. Minimally invasive post-mortem CT-angiography in a case involving a gunshot wound. *Leg Med (Tokyo).* 2010;12(3):154–6. DOI: 10.1016/j.legalmed.2010.02.005

Hilfsmittelverzeichnis

Zur sprachlichen Optimierung des Textes wurde folgendes Tool verwendet:
GPT-3.5 und GPT-4o, verwendet im Zeitraum März 2024 – Oktober 2025,
URL: <https://chatgpt.com>

Anhang

Im Anhang sind die Tabellen mit den Ergebnissen der Literaturrecherche zu den relevanten Publikationen und Quellen beigefügt.

Überblick über die ausgewählten Publikationen						
Referenz/Jahr	Forschungsziel	Design/Methoden	Bildgebung	Grundgesamtheit	Land	Hauptergebnisse/Vorteile
Gunshot injuries detected by post-mortem multislice computed tomography (MSCT): A feasibility study. 2008 Andenmatten et al.	Beurteilung der Praktikabilität der MSCT bei tödlichen Schussverletzungen.	Fachzeitschriften-artikel: Ergebnisse der pmMSCT wurden mit jenen der nachfolgenden Obduktion verglichen.	MSCT	22 Leichen; davon 14 männlich und 8 weiblich	Schweiz	MSCT lieferte in fast allen Punkten die gleichen Ergebnisse wie die Obduktion. Unterschiede bzgl. Todesursache zw. MSCT und Obduktion festgestellt. Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> • Schnelle Lokalisation in 3D von Projektile und Fragmenten im Körper → wichtige Info für weitere Untersuchungen.
Image-guided virtual autopsy findings of gunshot victims performed with multi-slice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI) and subsequent correlation between radiology and autopsy findings. 2003 Thali et al.	Bewertung der Fortschritte der forensischen Bildgebung bzgl. Objektivität und Reproduzierbarkeit bei Verwendung von MSCT und MRT für die Dokumentation und Analyse von Schussverletzungen.	Fachzeitschriften-artikel: Korrelation von Autopsie- und MSCT/MRT-Ergebnissen.	MSCT MRT	8	Schweiz	Alle forensisch relevanten Merkmale wurden mithilfe der beiden Bildgebungstechniken vollständig und präzise dargestellt. Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> • Schnelligkeit • Darstellung der Knochenfragmente in anatomisch korrekter Lage • Objektivität • Unbegrenzte Möglichkeit der Speicherung • Reproduzierbarkeit • Visualisierung der Befunde im Gerichtssaal sowie für Lehrzwecke.

New horizons in forensic radiology: the 60-second digital autopsy-full-body examination of a gunshot victim by multislice computed tomography. 2003 Thali et al.	Ganzkörperdokumentation eines Schussverletzungsopfers zum anschließenden Vergleich mit den Ergebnissen der standardgemäßen Obduktion.	Fachzeitschriftenartikel: Vergleich der durch MSCT festgestellten Befunde mit jenen der anschließenden Obduktion.	MSCT	1 männlicher Leichnam	Schweiz	Alle forensisch relevanten Befunde, welche durch die Bildgebung festgestellt wurden, sind durch die Obduktion bestätigt worden. Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> • schnell • objektiv • nicht invasiv • zerstörungsfreier Dokumentationsprozess • Visualisierung von Weichteilen und Knochen in 3D → bei Schusswunden wichtig, um den Schusskanalverlauf dreidimensional darzustellen → wichtig bei Tatorrekonstruktion.
Virtual autopsy using imaging: bridging radiologic and forensic sciences. A review of the Virtopsy and similar projects. 2008 Bolliger et al.	Überblick über das Projekt Virtopsy® und ähnliche Projekte	Review	3D-Oberflächen-scanning MSCT MRT		Schweiz	Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> • Präzision • Dreidimensionalität • Möglichkeit der erneuten Untersuchung des Leichnams auch Jahrzehnte später.
Health and safety ad necropsy. 2003 Burton	Aufzeigen potenzieller Gefahren und Risiken bei der Durchführung von Autopsien.	Fachzeitschriftenartikel			UK	Gerichtsmediziner*innen sind bei der Durchführung der Autopsien gewissen Gefahren ausgesetzt, wie bspw.: Übertragbare Infektionen, gefährliche Fremdkörper usw. Es wird in dem Artikel auf eventuelle Gefahren und Risiken hingewiesen, sowie Möglichkeiten zur Minimierung dieser Risiken aufgezeigt.

Forensic pathological aspects of postmortem imaging of gunshot injury to the head: documentation and biometric data. 2003 Oehmichen et al.	Darlegung der Bedeutung der CT und MRT des Kopfes im Hinblick auf zusätzliche Informationen von forensischer Relevanz bei Schussverletzungen am Kopf.	Vergleichsstudie	CT und MRT des Kopfes	17 Opfer von Schussverletzungen: davon 13 männlich und 4 weiblich	Deutschland	In den meisten Fällen konnte die 3D-Bildgebung zwischen Ein- und Ausschusswunde unterscheiden. Die CT kann dabei helfen, Knochen- und Projekttilfragmente, welche bei der Obduktion schwer zu lokalisieren sind, darzustellen. Die MRT lieferte Informationen über die primären und sekundären Veränderungen des Gehirns.
Imaging in forensic radiology: an illustrated guide for postmortem computed tomography technique and protocols. 2014 Flach et al.	Erleichterung der Umsetzung eines Standardprotokolls für die Durchführung der PMCT und PMCTA mit dem Ziel der Qualitätssicherung.	Review	PMCT PMCTA		Schweiz	Mögliche Indikationen für die PMCT werden aufgezeigt. Zur richtigen Befundung bedarf eines spezifischen Fachwissens. Es ist erforderlich, Standards für die postmortale Bildgebung festzulegen, denn es gibt noch keine etablierten Standards. Die klinisch und die forensische Bildgebung unterscheiden sich in verschiedenen Gesichtspunkten beträchtlich. Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> • Bietet Möglichkeit der objektiven Gegenexpertise • Beweismittel vor Gericht • Ermöglicht die Untersuchung von umständlichen Körperstellen, welche bei der standardmäßigen Obduktion nicht untersucht werden.

<p>Noninvasive 7 tesla MRI of fatal craniocerebral gunshot - a glance into the future of radiologic wound ballistics. 2020 Gascho et al.</p>	<p>Bewertung der Anwendung der ersten 7 T MRT in Bezug auf mögliche Vorteile für den Nachweis von kraniozerebralen Schussverletzungen.</p>	<p>Fachzeitschriften-artikel: Vergleich der Untersuchungen mit einem 7 T MRT und einem 3 T MRT mit dem Ziel, Vor- und Nachteile der 7 T MRT bei kraniozerebralen Schussverletzungen aufzuzeigen. Diskussion der Bedeutung der 7 T MRT in der Zukunft.</p>	<p>7 T MRT 3 T MRT PMCT</p>	<p>3 Schusstodesfälle und 1 Kontrollfall mit Ödem aber ohne Hirnverletzung</p>	<p>Schweiz</p>	<p>7 T MRT liefert wichtige Infos bzgl. Weichteilverletzungen mit hoher räumlicher Auflösung. Bietet im Unterschied zur 3 T MRT eine detaillierte Visualisierung der Gehirn- und Schädelanatomie. Die 7 T MRT beschreibt Mikroblutungen mit sehr hoher räumlicher Auflösung und zeigt die Intensität der Hohlraumverletzungen über dunkle/hypointense Regionen neben dem Wundtrakt. Die Staatsanwaltschaft verzichtete in allen drei Fällen, die als Selbsttötungen eingestuft wurden, auf die Durchführung einer anschließenden Obduktion.</p>
<p>Laserscanning in der Kriminalistik. 2010 Buck</p>	<p>Fotogrammetrie und 3D-Rekonstruktion von Unfall- und Tathergängen.</p>	<p>Fachbeitrag</p>	<p>Fotogrammetrie</p>		<p>Schweiz</p>	<p>Erfassung von komplexen Spuren in einer hohen Auflösung. Visualisierungsmöglichkeit von Befunden zur Darstellung vor Gericht. Objektivität des 3D-Dokumentations- und Analyseprozesses.</p>

<p>Postmortem Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging of Gunshot Wounds to the Neck. 2020 Gascho et al.</p>	<p>Verwendung von MRT zur Visualisierung des Wundkanals der nicht-perforierenden Schusswunde. Hebt die Vorteile der MRT gegenüber CT in Fällen mit Projektilen und transversalen Trajektorien hervor.</p>	<p>Fallbericht</p>	<p>CT MRT</p>	<p>1 männlicher Leichnam</p>	<p>Schweiz</p>	<p>Die radiologischen Befunde wurden durch die Obduktion bestätigt. Diagnostischer Wert der MRT und Einschränkungen der CT in Fällen von steckengebliebenen Projektilen und transversalen Trajektorien werden aufgezeigt.</p> <p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bessere Visualisierung der Weichteilverletzungen durch die MRT. • Visualisierung des Wundkanals ohne Artefakte im Vgl. zur CT. <p>Die Identifizierung von Schussrückständen unter der Haut war mithilfe der MRT nicht möglich.</p>
<p>Incidental gunshot wound detected by postmortem computed tomography. 2012 Ampanozi et al.</p>	<p>Aufzeigen der Bedeutung der PMCT bei der Erkennung pathologischer Entitäten sowie zur Adaptierung der nachfolgenden Obduktion.</p>	<p>Fallbericht</p>	<p>CT</p>	<p>1 weiblicher Leichnam</p>	<p>Schweiz</p>	<p>Erkennung von Fremdkörpern und Gas, insbesondere wenn sich jene in Körperbereichen befinden, die nicht routinemäßig obduziert werden. Alte Schussverletzung wäre ohne Bildgebung unentdeckt geblieben. Anpassung der Obduktion aufgrund der vorangegangenen Bildgebung.</p>

Post mortem computed tomography: useful or unnecessary in gunshot wounds deaths? Two case reports. 2014 Maiese et al.	Aufzeigen der Vor- und Nachteile der PMCT sowie Vergleich mit der Obduktion.	Fallbericht	PMCT	2 männliche Leichen	Italien	Rekonstruktion des Tatortes mithilfe eines Computerprogramms. Klärung der Todesursache vor der Obduktion. Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> • Objektivität • Reproduzierbarkeit • Einfache Visualisierung der Wundkanäle • Einfache Lokalisation von Projektile und Fragmenten • Rekonstruktion der Dynamik des Ereignisses • Rekonstruktion des Wundverlaufs
Importance of 3D-CT imaging in single-bullet cranioccephalic gunshot wounds. 2012 Tartaglione et al.	Untersuchung einer craniocerebralen Schussverletzung unter Berücksichtigung folgender Punkte: Beurteilung von Ein- und Ausschusswunde, Darstellung des intrakraniellen Verlaufs des Projektils, sowie die Aufstellung von Hypothesen bzgl. der Ereignisdynamik.	Fachzeitschriftenartikel	Ganzkörper-CT 3D-CT	10 Leichen	Italien	Identifizierung der Ein- und Ausschusswunde, sowie des Projektilverlaufs. Lieferung von Infos, um Indizien zu untermauern.

<p>3D-MSCT imaging of bullet trajectory in 3D crime scene reconstruction: two case reports. 2013 Colard et al.</p>	<p>Aufzeigen des Mehrwerts von 3D-Rekonstruktionsmethoden anhand von 2 Fallberichten.</p>	<p>Fallbericht</p>	<p>3D-MSCT</p>	<p>2 Leichen</p>	<p>Frankreich</p>	<p>3D-MSCT ermöglicht die genaue Darstellung des Projektils. Bedeutung der Zusammenarbeit zw. Gerichtsmedizin u. der Polizei bei der Tat(ort)rekonstruktion durch 3D-Methoden wird hervorgehoben.</p> <p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Genaue Beschreibung der Ein- u. Ausschusswunde • Projektilauffindung • Genaue Beschreibung des Schusskanalverlaufs • Genaue Beschreibung von Verletzungen, insbesondere von Frakturen • Wichtiges Hilfsmittel bei der Rekonstruktion
--	---	--------------------	----------------	------------------	-------------------	---

Imaging and virtual autopsy: looking back and forward. 2015 Bolliger et al.	Vorstellung der forensischen Bildgebungsmethoden. Stärken und Schwächen sowie Chancen.	Review	CT MRT 3D- Oberflächen- -scanning	Schweiz	Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> • Objektivität • Möglichkeit der Bewertung der Ergebnisse durch andere Expert*innen, auch nach der Bestattung oder Einäscherung. • Identifizierung von Leichen • Nachweis von Fremdkörpern • Zugänglichkeit zu sonst schwer erreichbaren Strukturen (bspw. Rückenmark kann im MRT dargestellt werden). • Demonstration vor Gericht • Religion
Postmortem computed tomography (PMCT) and autopsy in deadly gunshot wounds - a comparative study. 2015 Kirchhoff et al.	Vergleich der PMCT-Ergebnisse mit jenen der Obduktion, zum Aufzeigen der Vor- und Nachteile der PMCT bei Schusstodesfällen.	Vergleichsstudie	PMCT	51 Schusstodesfälle	Deutschland Schweiz In Bezug auf die Lokalisierung von Schussverletzungen, ist die Obduktion besser als die PMCT. Die PMCT eignet sich besser zur Lokalisierung von Projekttilfragmenten und ermöglicht zusätzlich die Bewertung des Verletzungsausmaßes der näheren Umgebung. Bei der Bewertung des Kalibers ist spezifisches Fachwissen unabdingbar, welches Radiolog*innen aber meist fehlt.

Postmortem Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging of an Abdominal Gunshot Wound. 2020. Gascho et al.	Rolle von CT und MRT bei der Beurteilung von Bauchschusswunden im Vergleich zur Autopsie.	Fallbericht	CT MRT	1 männlicher Leichnam	Schweiz	Die Autopsie ergab eine Perforation des Duodenums, was weder im CT noch im MRT nachgewiesen werden konnte, obwohl sich Blut zwischen den Darmschlingen befand. pmMRT kann eine wertvolle Ergänzung zur pmCT sein. Schnellen Überblick über komplizierten Fall erhalten.
Reconstruction and 3D visualisation based on objective real 3D based documentation. 2011 Bolliger et al.	Möglichkeiten der forensischen Bildgebung bei der bildlichen Interpretation von 3 ausgewählten Fällen.	Fallbericht	CT MRT 3D-Oberflächen-scanning	3 ausgewählte Todesfälle	Schweiz	MSCT kann in Zukunft als Screening Tool bei Massenanfällen verwendet werden. Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> • Schnelligkeit • Objektive Dokumentation • Möglichkeit der "Teleforensik" • Weichteilrekonstruktion
Use of multislice computed tomography in disaster victim identification – Advantages and limitations. 2007 Sidler et al.	Es wurde anhand von 32 ausgewählten Fällen untersucht, wie die postmortale MSCT in Katastrophenfällen zur Informationsbereitstellung beitragen kann.	Fachzeitschriftenartikel	MSCT	32 ausgewählte Fälle	Schweiz	PMCT hat eine hohe Empfindlichkeit bei der Identifizierung der wichtigsten Kriterien im Vgl. zur Obduktion. Die forensische Bildgebung und die Obduktion können sich einander ergänzen.
The diagnostic value of forensic imaging in fatal gunshot incidents: A review of literature. 2017 van Kan RAT et al.	Ermittlung des diagnostischen Werts der PMCT und PMMR.	Review	PMCT PMMR		Niederlande	In allen vier Fällen konnte eine hervorragende 3D-Visualisierung der Luftmenge im Gefäßsystem erbracht werden.
Visualization and quantification of air embolism structure by processing postmortem MSCT data. 2004 Jackowski et al.	3D-Visualisierung von Luft im Gefäßsystem.	Fachzeitschriftenartikel	Pm-MSCT	4 Leichen	Schweiz	

Forensic postmortem computed tomography in suspected unnatural adult deaths. 2020 Hueck et al.	Bestimmung der Zuverlässigkeit und Validität der CT bei der Ermittlung der Ursachen für den vermuteten unnatürlichen Tod von Erwachsenen. Bewertung der Stärken und Schwächen der CT bei der Identifizierung spezifischer pathologischer Befunde. Bewertung der Übereinstimmung der Ergebnisse der forensischen Bildgebung und jener der Obduktion.	Prospektive Studie	pm Ganzkörper-CT	64 Leichen	Deutschland	Gute Übereinstimmung der Ergebnisse. Stärken der CT <ul style="list-style-type: none"> • Luftembolie • PTX • Pneumomediastinum • Subkutanes Emphysem • Gesichtsknochenfrakturen • Schusswunden wurden zuverlässig nachgewiesen. Schwächen der CT <ul style="list-style-type: none"> • Herzinsuffizienz • Intoxikationen • Anzahl der Stichwunden • Tödliche Magen-Darm-Blutungen • Pneumonie
--	---	--------------------	------------------	------------	-------------	--

<p>Virtopsy versus digital autopsy: virtuous autopsy. 2009 Pomara et al.</p>	<p>Vorteile und Einschränkungen der postmortalen Bildgebung bezüglich MSCT und MRT.</p>	<p>Fachzeitschriften- artikel</p>	<p>MSCT MRT</p>		<p>Italien</p>	<p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nichtinvasiv • Objektivität • Präzision • Dreidimensionalität • Beweiserbringung vor Gericht • Möglichkeit der Bewertung der Ergebnisse durch andere Expert*innen, auch nach der Bestattung oder Einäscherung • Zeitersparnis durch Bildgebung vor der Obduktion. • Gute Darstellungsmöglichkeit der Knochenstruktur sowie von Luft.
<p>Minimally invasive post-mortem CT-angiography in a case involving a gunshot wound. 2010 Ruder et al.</p>	<p>Aufzeigen der Möglichkeiten der PMCT und PMCTA an einem Fall einer tödlichen Schussverletzung.</p>	<p>Fallbericht</p>	<p>Ganzkörper PMCT Ganzkörper PMCTA</p>	<p>1 männlicher Leichnam</p>	<p>Schweiz</p>	<p>MSCT und MRT wird als Ergänzung zur Obduktion als wertvoll angesehen. Die PMCTA-Methode kann als gleichwertig mit der Durchführung einer Autopsie in Bezug auf die Bestimmung der Todesursache für ausgewählte Fälle in der forensischen Medizin angesehen werden.</p>

<p>Postmortem 3-D reconstruction of skull gunshot injuries. 2013 Peschel et al.</p>	<p>Rekonstruktion des Schusskanals durch Fusion von fallempfindlichen CT- und normalen MR-Daten.</p> <p>Ziel war es, in erster Linie den Nutzen radiologischer Methoden in Bezug auf die Rekonstruktion von Schusskanalverläufen in Fällen zu untersuchen, in denen kein Gehirn vorhanden war, oder bei starker Verwesung.</p>	<p>CT MRT</p>	<p>5 Fälle</p>	<p>Deutschland</p>	<p>Gute Rekonstruktion des Schusskanals im Vergleich zu den Autopsie-Ergebnissen, in drei der fünf vorgestellten Fälle.</p>
<p>Accident or homicide-- virtual crime scene reconstruction using 3D methods. 2013 Buck et al.</p>	<p>Beantwortung rekonstruktiver Fragen mittels 3D-Dokumentation.</p>	<p>MSCT MRT</p>	<p>2 Fälle</p>	<p>Schweiz</p>	<p>Klärung des Verlaufs von Ereignissen – Aussagen können bewiesen oder widerlegt werden.</p> <p>Überprüfung von Hypothesen.</p> <p>Integration von Fotos, welche von der Polizei aufgenommen wurden.</p> <p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oberflächenscan-Technologie ist sehr benutzerfreundlich. • Ist ein geeignetes Werkzeug für die Dokumentation von Tatorten. • Virtuelle Beweissicherung • Bessere und objektivere Darstellung der Ergebnisse gegenüber einem Dritten.

<p>Post-autopsy computed tomography. Pros and cons in a firearm death. 2017 Visentin et al.</p>	<p>Vor- und Nachteile der Bildgebung bei Durchführung nach der Obduktion werden diskutiert.</p>	<p>Fallbericht</p>	<p>PACT</p>	<p>1 Fall</p>	<p>Italien</p>	<p>Die durch die Obduktion festgestellten Befunde wurden durch die PACT bestätigt. PACT ermöglichte die Erkennung von Knochen- und Weichteilverletzungen, die bei der externen Untersuchung nicht identifiziert wurden. PACT lieferte einige zusätzliche Infos zur Erkennung von Knochenverletzungen und Metallfragmenten, die im Weichgewebe eingeschlossen waren. PACT könnte bei der Nachuntersuchung von Schusswaffenopfern, falls keine Infos über die erste Obduktion verfügbar sind, ein Werkzeug sein, um eine umfassendere Untersuchung durchzuführen und Daten zu erhalten.</p>
---	---	--------------------	-------------	---------------	----------------	--

Improved vision in forensic documentation: forensic 3D/CAD-supported photogrammetry of bodily injury external surfaces combined with volumetric radiologic scanning of bodily injury internal structures provides more investigative leads and stronger forensic evidence. 2000 Thali et al.	Aufzeigen der Möglichkeiten der Wunddokumentation und Visualisierung mittels 3D/CAD unterstützter Photogrammetrie	Konferenzbeitrag	3D/CAD-unterstützte Photogrammetrie	1 Kopfmodell	Schweiz	3D-Visualisierung liefert stärkere Beweise. Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> • Objektiv • Nichtinvasiv • Speicherung der Daten • Rekonstruktion und Visualisierung vor Gericht
Post-mortem computed tomography in forensic investigations of lethal gunshot incidents: is there an added value? 2019 van Kan RAT et al.	Bewertung des Mehrwerts der PMCT bei Schusstodesopfern im Vgl. zur Obduktion.	Vergleichsstudie (retrospektiv)	PMCT	21 Schusstodesfälle	Niederlande	Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> • Nachweis von Projektilen und Metallfragmenten • 3D Lokalisierung des Metallobjekts • Zusätzliche Infos über innere Verletzungen • Luftansammlungen können dargestellt werden.

<p>Radiological investigation of gunshot wounds: a systematic review of published evidence. 2019 Giorgetti et al.</p>	<p>Überblick über den derzeitigen Stand der forensischen Bildgebung bei der Beurteilung von tödlichen Schussverletzungen.</p>	<p>Review</p>	<p>Keine Einschränkungen</p>	<p>Italien</p>	<p>Die Durchführung einer PMCT bei Schussopfern sollte vor der Obduktion erfolgen.</p> <p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lokalisierung von Projektilen und Fragmenten • Bewertung der Flugbahn des Geschosses • Die forensische Bildgebung ist besonders nützlich, wenn die Obduktion durch verschiedene Umstände eingeschränkt ist (Fäulnis). <p>Die Obduktion ist zur Bestimmung der Todesursache unersetzlich.</p>
---	---	---------------	------------------------------	----------------	--

<p>Role of post-mortem multi-slice computed tomography in the evaluation of single gunshot injuries. 2019 Aquila et al.</p>	<p>Rolle der MSCT bei der Befundung von Einzelschusswunden. Vorteile und Einschränkungen der PMCT aufzeigen.</p>	<p>Fallbericht</p>	<p>MSCT</p>	<p>3 Fälle</p>	<p>Italien</p>	<p>Todesursache kann nur durch Obduktion bestimmt werden.</p> <p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PMCT erhöht die Qualität der Obduktion • nichtinvasiv, schnell, objektiv • PMCT hebt Merkmale hervor, welche bei der Obduktion nicht immer nachweisbar sind. • dauerhafte und leicht zugängliche Dokumentation • 3D-Bildverarbeitung <p>PMCT sollte immer von Gerichtsmediziner*innen und Patholog*innen gemeinsam durchgeführt werden. PMCT wird in vielen Instituten routinemäßig verwendet.</p> <p>Die PMCT wird immer vor der Obduktion bzw. als Screening-Test verwendet.</p>
---	---	--------------------	-------------	----------------	----------------	---

<p>The importance of Post Mortem Computed Tomography (PMCT) in the reconstruction of the bullet trajectory. 2019 Del Fante et al.</p>	<p>Aufzeigen der Bedeutung der PMCT bei der Feststellung der Todesursache.</p>	<p>Review</p>	<p>PMCT</p>	<p>Vostellung eines Schusstodesfalls</p>	<p>Italien</p>	<p>PMCT erwies sich als entscheidend bei der Aufklärung der Dynamik eines umstrittenen Todesfalls.</p> <p>Bei jedem ballistischen Trauma sollte eine postmortale Bildgebung durchgeführt werden.</p> <p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objektivität • Reproduzierbarkeit • einfache Visualisierung des Schusskanals • einfache Lokalisierung des Geschosses und seiner Fragmente <p>Die forensische Bildgebung sollte eher als Hilfsmittel bei den Untersuchungen und nicht als Alternative zur konventionellen Obduktion betrachtet werden.</p> <p>Die forensische Bildgebung kann die Obduktion nicht ersetzen aber ergänzen.</p>
---	--	---------------	-------------	--	----------------	---

<p>The value of postmortem computed tomography as an alternative for autopsy in trauma victims: a systematic review. 2009 Scholing et al.</p>	<p>Bewertung der Rolle der PMCT als Alternative zur Obduktion bei der Todesursachenbestimmung und der Identifizierung spezifischer Verletzungen bei Traumaopfern.</p>	<p>Review</p>	<p>PMCT</p>	<p>Niederlande</p>	<p>PMCT ist eine gute Ergänzung zur Obduktion aber kein Ersatz.</p> <p>Die PMCT ermöglicht die Feststellung von Verletzungen, die bei der Obduktion möglicherweise übersehen werden können.</p> <p>Befunde wurden von Radiolog*innen und angehenden Patholog*innen beurteilt.</p> <p>Die PMCT kann dabei helfen, die nachfolgende Obduktion effizienter zu gestalten.</p> <p>Vorteile</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bilder können über einen langen Zeitraum gespeichert und auch Jahrzehnte später von anderen UntersucherInnen beurteilt werden.
---	---	---------------	-------------	--------------------	--

<p>The use of CT scanning in forensic autopsy. 2006 Leth et al.</p>	<p>Diskussion von 100 Todesfällen, welche einer PMCT und anschließenden Obduktion unterzogen wurden.</p>	<p>Review</p>	<p>PMCT</p>	<p>100 Leichen, 62 männlich und 38 weiblich</p>	<p>Dänemark</p>	<p>PMCT kann nur in den wenigsten Fällen als Ersatz für die Obduktion angesehen werden.</p> <p>Bei traumatischen Todesfällen war die PMCT am nützlichsten.</p> <p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> • die PMCT ist in vielen Fällen hilfreich z.B.: Schusswunden, Kindesmisshandlung, Massenkatastrophen. • die PMCT ermöglicht die Untersuchung von anatomischen Regionen, welche bei der Obduktion nur schwer zugänglich sind. • Frakturen und die inneren Organe können in situ betrachtet werden. • Bessere Darstellung der Bilder vor Gericht. • Einfache Speicherung der Bilder und Möglichkeit der Befundung durch andere Untersucher*innen.
---	--	---------------	-------------	---	-----------------	---

<p>Virtual animation of victim-specific 3D models obtained from CT scans for forensic reconstructions: Living and dead subjects. 2017 Villa et al.</p>	<p>Rekonstruktion der Körperposition von toten und lebenden Opfern von Schussverletzungen. Aufzeigen der Vorteile der Verwendung von animierten opferspezifischen 3D-Modellen.</p>	<p>Fallbericht</p>	<p>PMCT CT 3D- Visualisierung</p>	<p>2 Fälle</p>	<p>Dänemark</p>	<p>3D- Visualisierungen sind sehr wichtige visuelle Werkzeuge für die Präsentation medizinischer Befunde. Die virtuelle Animation bietet die Möglichkeit, die Ereignisse zu rekonstruieren und verständlich darzustellen (z.B. Darstellung der Körperposition vor dem Ereignis).</p>
--	--	--------------------	---	----------------	-----------------	--

Überblick über die zutreffenden Kriterien der ausgewählten Publikationen

Kriterien Referenzen	Lage der Ein- und Ausschusswunde	Darstellung des Schuss- kanals	Lokalisation von Projekttilen und Metall- Fragmenten im Körper	Verletzungen an Knochen und Organen	Todesursache	Befunder*innen	Rekonstruktion
Gunshot injuries detected by post-mortem multislice computed tomography (MSCT): A feasibility study. 2008 Andenmatten et al.	✓	✓	✓	✓	✓		
Image-guided virtual autopsy findings of gunshot victims performed with multi-slice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI) and subsequent correlation between radiology and autopsy findings. 2003 Thali et al.	✓	✓	✓	✓	✓	Autopsie wurde von Gerichtsmediziner*innen durchgeführt.	Rückschlüsse auf verwendete Waffe und Munition
New horizons in forensic radiology: the 60-second digital autopsy-full-body examination of a gunshot victim by multislice computed tomography. 2003 Thali et al.	✓	✓		✓			3D-Darstellung des Schusskanals zur Beantwortung von Fragestellungen bzgl. Tatablauf und Tatort

Virtual autopsy using imaging: bridging radiologic and forensic sciences. A review of the Virtopsy and similar projects. 2008 Bolliger et al.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Röntgenbefundung der CT-Bilder durch Radiolog*innen	✓
Health and safety at necropsy. 2003 Burton			Es wird auf die Gefährlichkeit von Sprengstoffmunition hingewiesen.					Autopsie durch Gerichtsmediziner*innen	
Forensic pathological aspects of postmortem imaging of gunshot injury to the head: documentation and biometric data. 2003 Oehmichen et al.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Imaging in forensic radiology: an illustrated guide for postmortem computed tomography technique and protocols. 2014. Flach et al.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Es wird auf die Bedeutung der Zusammenarbeit zwischen Radiolog*innen und Gerichtsmediziner*innen hingewiesen	✓
Noninvasive 7 tesla MRI of fatal craniocerebral gunshots - a glance into the future of radiologic wound ballistics. 2020 Gascho et al.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Die radiologische Befundung erfolgte durch Radiolog*innen mit Erfahrung in der forensischen Praxis.	✓
Laserscanning in der Kriminalistik. 2010 Buck	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓

Postmortem Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging of Gunshot Wounds to the Neck. 2020 Gascho et al.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Obduktion wurde von Gerichtsmediziner*innen durchgeführt. Keine Angabe zur Befundung der Bildgebung.	
Incidental occult gunshot wound detected by postmortem computed tomography. 2012 Ampanozi et al.			durch Bildgebung entdeckt	✓	✓	✓		
Post mortem computed tomography: useful or unnecessary in gunshot wounds deaths? Two case reports. 2014 Maiese et al.	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Importance of 3D-CT imaging in single-bullet cranioccephalic gunshot wounds. 2012 Tartaglione et al.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	2 Radiolog*innen mit Erfahrung in neurologischer Bildgebung sowie forensischer Bildgebung	✓
3D-MSCT imaging of bullet trajectory in 3D crime scene reconstruction: two case reports. 2013 Colard et al.	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Imaging and virtual autopsy: looking back and forward. 2015 Bolliger et al.			✓	✓	✓	✓		✓

Postmortem computed tomography (PMCT) and autopsy in deadly gunshot wounds - a comparative study. 2015 Kirchoff et al.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Postmortem Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging of an Abdominal Gunshot Wound. 2020 Gascho et al.	✓			Das Vorhandensein von potenziell ferromagnetischen Projektilen wurde durch die PMCT ausgeschlossen → MRT konnte durchgeführt werden.	✓		Todesursache durch Obduktion festgestellt.	Befundung der CT- und MRT-Daten durch Radiolog*innen	✓
Reconstruction and 3D visualisation based on objective real 3D based documentation. 2011 Bolliger et al.								Gerichtsmediziner*innen Unfallermittler*innen Visualisierungs- spezialist*innen	✓
Use of multislice computed tomography in disaster victim identification – Advantages and limitations. Sidler et al.									Weichteil- rekonstruktion
The diagnostic value of forensic imaging in fatal gunshot incidents: A review of literature. 2017 van Kan RAT et al.	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Visualization and quantification of air embolism structure by processing postmortem MSCT data. 2004 Jackowski et al.							✓	✓	✓

The importance of Post Mortem Computed Tomography (PMCT) in the reconstruction of the bullet trajectory. 2019 Del Fante et al.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Rekonstruktion der Dynamik des Ereignisses
The value of postmortem computed tomography as an alternative for autopsy in trauma victims: a systematic review. 2009 Scholing et al.						✓	Radiolog*innen und angehende Patholog*innen
The use of CT scanning in forensic autopsy. 2006 Leth et al.						✓	Gerichtsmediziner*innen
Virtual animation of victim-specific 3D models obtained from CT scans for forensic reconstructions: Living and dead subjects. 2017 Villa et al.	✓	✓					Erstellung von opferspezifischen 3D-Modellen zur Rekonstruktion der Ereignisse und der Körperhaltung des Opfers.