

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

DISSERTATION

Zur Morphologie von tödlichen Schussverletzungen
bei Verwendung von Munition des Kalibers 9 mm – unter besonderer
Berücksichtigung der postmortalen Computertomographie

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Frau Ruth Elisabeth Zaag geb. Schell
aus Lörrach

Datum der Promotion: 18.09.2020

Inhaltsverzeichnis

I.	Abstract.....	VI
II.	Abkürzungsverzeichnis	IX
III.	Formelverzeichnis.....	XI
IV.	Grafik- und Abbildungsverzeichnis	XI
V.	Tabellenverzeichnis	XII
VI.	Anhangsverzeichnis.....	XII
1	Einleitung	1
1.1	Waffentechnische Grundlagen	1
1.1.1	Kurzwaffen.....	1
1.1.1.1	<i>Pistolen</i>	2
1.1.1.2	<i>Revolver</i>	2
1.2	Munitionstechnische Grundlagen.....	3
1.2.1	Überblick	3
1.2.2	Kennzeichnung	3
1.2.3	Wirkungsweise eines Geschosses	4
1.2.4	Das 9 mm Geschoss	5
1.2.4.1	<i>9 mm Luger</i>	5
1.2.4.2	<i>Action 4</i>	6
1.2.4.3	<i>.38 Special</i>	7
1.2.4.4	<i>.357 Magnum</i>	7
1.3	Simulanzen	7
1.3.1	Haut	8
1.3.2	Knochen	8
1.3.3	Weichteile	8
1.4	Ballistische Grundlagen.....	9
1.4.1	Innenballistik	9
1.4.2	Abgangsbalistik	10
1.4.3	Außenballistik	10
1.4.4	Endballistik	10
1.4.4.1	<i>Kinetische Energie</i>	10
1.4.4.2	<i>Querschnittsbelastung</i>	11
1.4.5	Deformationsgeschosse	12

1.4.6	Vollmantelgeschosse	12
1.5	Wundballistik	12
1.5.1	Einschussmorphologie	12
1.5.2	Ausschussmorphologie	13
1.5.3	Hinweise zur Schussentfernung	14
1.5.4	Kopfschussverletzungen	17
1.5.4.1	<i>Hirnverletzungen</i>	17
1.5.4.2	<i>Schädelverletzungen</i>	18
1.5.4.3	<i>Temporäre Wundhöhle</i>	19
1.6	Zielsetzung der Arbeit	19
2	Material und Methoden	21
2.1	Datenanalyse.....	21
2.2	Experiment	22
2.2.1	Überblick	23
2.2.2	Material.....	23
2.2.2.1	<i>Probematerial Vorversuche</i>	23
2.2.2.2	<i>Hautsimulanz</i>	24
2.2.2.3	<i>Knochensimulanz</i>	24
2.2.2.4	<i>Weichteilsimulanz</i>	24
2.2.2.5	<i>Schusswaffen</i>	24
2.2.2.6	<i>Munition</i>	26
2.2.2.7	<i>Lichtschranke</i>	27
2.2.2.8	<i>Hochgeschwindigkeitskamera und Zubehör</i>	27
2.2.2.9	<i>Computertomograph und Auswertungsprogramm</i>	27
2.2.2.10	<i>Feinwaage</i>	27
2.2.3	Methodik.....	27
2.2.3.1	<i>Zubereitung der ballistischen Gelatine</i>	27
2.2.3.2	<i>Festigkeitsprüfung der Gelatineblöcke</i>	28
2.2.3.3	<i>Herstellung des Verbundmodells</i>	29
2.2.3.4	<i>Beschuss</i>	30
2.2.3.5	<i>Versuchsserien</i>	30
2.2.3.6	<i>Auswertung</i>	31
3	Ergebnisse	34
3.1	Ergebnisse der Datenanalyse.....	34

3.1.1	Zusammenfassung aller Fälle.....	34
3.1.1.1	<i>Epidemiologische Daten</i>	34
3.1.1.2	<i>Fallumstände</i>	35
3.1.1.3	<i>Legalität der Waffe</i>	36
3.1.1.4	<i>Verwendete Munition</i>	37
3.1.1.5	<i>Kalibrigkeit des Einschusses der Haut</i>	38
3.1.1.6	<i>Sofortdiagnose</i>	38
3.1.2	Ergebnisse der Kopfschussverletzungen	38
3.1.2.1	<i>Schussrichtung und Schussentfernung</i>	39
3.1.3	Munitionstypen im Einzelnen	40
3.1.3.1	<i>Teilmantel- und Vollmantelmunition</i>	44
3.1.3.2	<i>Serie 9 mm Luger</i>	44
3.1.3.3	<i>Serie Action 4 Munition</i>	47
3.1.3.4	<i>Serie .38 Special</i>	49
3.1.3.5	<i>Serie .357 Magnum</i>	51
3.2	Ergebnisse der Experimente	53
3.2.1	Vorversuche	53
3.2.2	Hauptversuche Versuchsreihe 1-12	55
3.2.2.1	<i>Serie 9 mm Luger</i>	56
3.2.2.2	<i>Serie Action 4 Munition</i>	56
3.2.2.3	<i>Serie .38 Special</i>	57
3.2.2.4	<i>Serie .357 Magnum</i>	58
4	Diskussion	60
4.1	Überblick der Datenanalyse	60
4.1.1	Einfluss des pmMSCT auf die Analyse der Wundballistik	61
4.2	Überblick der Versuche	64
4.2.1	Vorversuche	64
4.2.2	Verbundmodell.....	65
4.3	Einfluss der Geschosse auf die Haut	67
4.3.1	Substanzdefekt Haut	67
4.3.2	Beschmauchung	68
4.3.3	Pulverreste	68
4.3.4	Waffengesicht	69
4.4	Einfluss der Geschosse auf den Knochen.....	69

4.4.1	Substanzdefekt Knochen.....	70
4.4.2	Trichterförmige Erweiterung	71
4.4.3	Bruchlinien.....	71
4.5	Einfluss der Geschosse auf die Weichteile.....	71
4.5.1	Fragmentverteilung	72
4.5.2	Knochenfragmente.....	73
4.5.3	Projektilfragmente	74
4.6	Munition im Einzelnen	74
4.6.1	Verhalten der 9 mm Luger Munition	75
4.6.2	Verhalten der Action 4 Munition	75
4.6.3	Verhalten der .38 Special Munition	76
4.6.4	Verhalten der .357 Magnum Munition	76
4.7	Schlussfolgerungen und Ausblick	76
5	Zusammenfassung	78
6	Anhang.....	81
7	Literaturverzeichnis.....	84
8	Eidesstattliche Versicherung	90
9	Lebenslauf.....	91
10	Danksagung	92

I. Abstract

Die vorliegende Dissertationsschrift gibt einen Überblick der im Zeitraum vom 01.06.2007 bis zum 31.10.2014 im Institut für Rechtsmedizin der Charité obduzierten Schussverletzungen. Untersucht wurden ausschließlich Schussverletzungen im Zusammenhang mit dem Kaliber 9 mm. Dieses war als 9 mm Luger, Action 4 Polizeimunition, .38 Special und .357 Magnum vertreten. Der Fokus wurde dabei auf Kopfschussverletzungen gelegt, die mit 79,6 % der Fälle überrepräsentiert waren. Bei den Analysen der einzelnen Fälle wurden charakteristische Schussverletzungsmorphologien herausgearbeitet, unter besonderer Beachtung von Substanzdefekten an Haut und Knochen sowie der Verteilung von intrakraniellen Knochen- und Projektilfragmenten.

Hierbei zeigte sich ein deutlicher Anstieg der Nachweisrate der Fragmente seit der Einführung der postmortalen Computertomographie (pmMSCT). Seit 2011 ist es dem Institut für Rechtsmedizin der Charité möglich, pmMSCT vor gerichtlichen Obduktionen durchzuführen. Somit können intrakranielle Fragmentverteilungen vor der Schädelöffnung digital erfasst und dargestellt werden. Seit der oben genannten Einführung werden auch kleine und kleinste Splitter detektiert.

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war es, zu prüfen, ob durch die postmortale Schnittbildgebung komplementär zur Obduktion weitere Charakteristika der Schussverletzungsmorphologien herausgearbeitet werden können. Diese sollten Rückschlüsse auf die vier betrachteten 9 mm Geschosse zulassen.

Zur Ermittlung dieser munitionspezifischen Charakteristika wurde ein eigenes Haut-Schädel-Hirn-Verbundmodell entwickelt, welches aus ausgewählten Simulanzien für Haut, Knochen und Hirnmasse bestand. Ziel war insbesondere die Darstellung der Verteilung der intrakraniellen Knochen- und Projektilfragmente. Der Beschuss erfolgte als absoluter Nahschuss. Darüber hinaus wurden typische Einschussmorphologien am Verbundmodell näher betrachtet.

Die ballistischen Versuchsmodelle wurden nach dem Beschuss mittels MSCT untersucht. Dabei wurde die Verteilung der Fragmente entlang des Schusskanals, sowie in einer Querschnittsansicht die Fläche der Verteilung der Fragmente um den Schusskanal dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Einschussmorphologien der Haut keine Hinweise auf das Geschoss zulassen. Das 9 mm-Luger-Geschoss erzeugte unterkalibergroße Schussbruchlücken, die drei anderen Geschosse hingegen mindestens kalibergroße. Die Fläche der Knochen- und Projektilfragmente, die sich um den Schusskanal verteilen, waren in der Versuchsreihe des 9 mm-Luger-Geschosses am kleinsten. Die Teilmantelgeschosse verursachten eine flächenmäßig doppelt so große Verteilung der Fragmente. Das 9 mm-Luger-Geschoss zeigte zudem den kleinsten, das Action 4 Geschoss den größten Masseverlust.

Die dargestellten Ergebnisse aus der Analyse der Realfälle sowie der experimentell-ballistischen Untersuchungen erlauben es, Rückschlüsse auf die verwendete Munition im Sinne der Differenzierung zwischen Voll- und Teilmantel, als auch Polizeimunition zu ziehen. Darüber hinaus kann das 9 mm-Luger-Geschoss durch die Charakteristika der Schussbruchlücke im Ausschlussverfahren abgeleitet werden.

Für weitergehende Aussagen sind nach Verbesserung des Verbundmodelles weitere experimentelle Untersuchungen mit größeren Testzahlen notwendig.

Abstract

This dissertation gives an overview of gunshot wounds that have been autopsied between 01.06.2007 and 31.10.2014 at the Institute of Legal Medicine of the Charité. Gunshot wounds related to the caliber 9 mm (9 mm Luger, Action 4 Police Ammunition, .38 Special and .357 Magnum) were included, only. This study was focused on gunshot wounds of the head, which represented 79.6% of the gunshot cases. Within the individual cases, characteristic injury morphologies were investigated with special attention to substance defects on skin and bone as well as the distribution of intracranial bone and projectile fragments.

There was a distinct increase in the detection rate of fragments since the introduction of postmortem computed tomography (pmMSCT). Since 2011, the Institute of Legal Medicine performs pmMSCT before judicial autopsies. Thus, intracranial fragment distributions can be digitally captured and visualized prior to skull opening. Even smallest splinters are identified since the introduction.

The objective was to investigate whether postmortem imaging can reveal further complementary characteristics to the autopsy of the gunshot morphologies. Thus, allowing differentiating between the four considered projectiles.

To determine these ammunition-specific characteristics, a skin-skull-brain-analog model was developed, consisting of selected simulants for each layer. The aim was to visualize the distribution of the intracranial bone and projectile fragments. The shooting was performed as an absolute close-range shot. In addition, typical shot morphologies were examined on the skin-skull-brain-model.

The ballistic models were examined after the shooting by MSCT, which depicted the distribution of the fragments along and around the wound channel.

The results show that gunshot morphologies of the skin do not allow an identification of the projectile. The 9 mm Luger projectile produced sub-caliber-sized bone gaps, while the bone gaps of the other three missiles were at least caliber-sized. The area of distribution of the bone and projectile fragments around the wound channel were the smallest in the experiments undertaken with 9 mm Luger projectiles. The expanding bullets caused a distribution twice as large. The 9 mm Luger bullet experienced the smallest, the Action 4 bullet the largest loss of mass.

The presented results derived from the analysis of the real cases in comparison with the experimental ballistic investigations allow drawing conclusions about the used ammunition. It is possible to differentiate between full metal jacket bullets and expanding bullets, as well as police ammunition. Additionally, the 9 mm Luger projectile can be derived by the characteristics of the bone gap in an exclusion process.

For more results, further experimental investigations are necessary, based on larger test numbers and an improved skin-skull-brain-model.

II. Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
Abb.	Abbildung
Allg.	Allgemein
Aufl.	Auflage
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
C.I.P.	Commission Internationale Permanente pour l'Épreuve des Armes à Feu Portatives = Ständige Internationale Kommission für die Prüfung von Handfeuerwaffen
ca.	circa
cm	Zentimeter
CT	Computertomograph
d.h.	das heißt
g	Gramm
geb.	geboren
ggf.	gegebenenfalls
h/Std.	Stunde
Hrsg.	Herausgeber
i.d.R.	in der Regel
inkl.	inklusive
insb.	insbesondere
insg.	insgesamt
J	Joule
l	Liter
m/s	Meter pro Sekunde
max.	maximal
mg	Milligramm
mind.	mindestens
mm	Millimeter
n	Anzahl

NATO	North Atlantic Treaty Organization = „Organisation des Nordatlantikvertrags“
pmMSCT	postmortem multislice computed tomography
PJ	Praktisches Jahr
s	Sekunde
SD	Standardabweichung
sog.	sogenannt
St.	Sankt
u.a.	unter anderem
UKBB	Universitäts Kinderspital beider Basel
v.a.	vor allem
v3	gemessene Geschwindigkeit bei drei Metern Distanz
W	Watt
WBK	Waffenbesitzkarte
Win.	Winchester
z.B.	zum Beispiel

III. Formelverzeichnis

Formel 1) Kinetische Energie.	11
Formel 2) Querschnittsbelastung.....	11

IV. Grafik- und Abbildungsverzeichnis

Grafik 1) Anteil der Schussverletzungen der Obduktionen im Studienzeitraum.	21
Grafik 2) Festigkeitsprüfung der ballistischen Gelatine.	28
Grafik 3) Altersverteilung der Schusstodesfälle.....	35
Grafik 4) Legalität der Waffe.	36
Grafik 5) Anteilig verwendete Munition.	37
Grafik 6) Einschusslokalisationen der Kopfschüsse.	39
Grafik 7) Wundballistik Innen, Relative Häufigkeit der Ereignisse nach Kaliber.	41
Grafik 8) Aufteilung der Schussbruchlücken nach Kaliber.	42
Grafik 9) Auffindungsrate der Knochen- und Projektilfragmente.	43
Abbildung 1) Absoluter Nahschuss auf einen platten Knochen.	15
Abbildung 2) Werkzeugarnter'sche Stanzmarke.....	16
Abbildung 3) Trichterförmige Erweiterung des Ausschusses.	18
Abbildung 4) Seitenansicht SIG Sauer Mod. P6.....	25
Abbildung 5) Waffenmündung SIG Sauer Mod. P6.	25
Abbildung 6) Seitenansicht Smith & Wesson Mod. 686.	26
Abbildung 7) Waffenmündung Smith & Wesson Mod. 68.	26
Abbildung 8) Das unbeschossene Verbundmodell.	29
Abbildung 9) Schuss Nr. 10, .357 Magnum.....	30
Abbildung 10) Einschussseite der Schweineschwarte, Action 4 Munition.	31
Abbildung 11) Rückseite der Knochensimulanz, .38 Special Munition;.....	32
Abbildung 12) Horizontalschnitt Block 10, .357 Magnum.	33
Abbildung 13) Querschnitt Block 10, .357 Magnum.....	33
Abbildung 14) Fallbeispiel 9 mm Luger, Frontalschnitt.	46
Abbildung 15) Fallbeispiel 9 mm Luger, Horizontalschnitt.....	46
Abbildung 16) Fallbeispiel Action 4 Munition, Saggitalschnitt.....	48
Abbildung 17) Fallbeispiel Action 4 Munition, Horizontalschnitt.....	48

Abbildung 18) Fallbeispiel .38 Special, Frontalschnitt.....	50
Abbildung 19) Fallbeispiel .38 Special, Frontalschnitt.....	50
Abbildung 20) Fallbeispiel .357 Magnum, Sagittalschnitt.....	53
Abbildung 21) Fallbeispiel .357 Magnum, Frontalschnitt.....	53

V. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1) Munitionsübersicht der Studie.....	5
Tabelle 2) Übersicht der verwendeten Geschosse.....	26
Tabelle 3) Fallumstände der Todesfälle.....	36
Tabelle 4) Übersicht der Munitionen (Schussverhalten, Ummantelung und Waffe).....	40
Tabelle 5) Vollmantelmunition; Auswertungen vor und nach pmMSCT-Einführung.	44
Tabelle 6) Teilmantelmunition; Auswertungen vor und nach pmMSCT-Einführung.....	44
Tabelle 7) 9 mm; Auswertungen vor und nach der pmMSCT-Einführung.....	45
Tabelle 8) Übersicht der Schüsse durch Action 4 Munition.....	47
Tabelle 9) .38 Special; Auswertungen vor und nach der pmMSCT-Einführung.....	49
Tabelle 10) .357 Magnum; Auswertungen vor und nach der pmMSCT-Einführung.....	51
Tabelle 11) Messung der Durchschnittsgeschwindigkeit bei v3 [m/s].....	54
Tabelle 12) Auszug Versuchsreihe 1-6.....	55
Tabelle 13) Auszug Versuchsreihe 7-12.....	55

VI. Anhangsverzeichnis

Anhang 1) Anleitung zur Herstellung von Beschussgelatine - BKA.....	81
Anhang 2) Gesamtauswertung Schussversuche 1 – 6.....	82
Anhang 3) Gesamtauswertung Schussversuche 7 – 12.....	83

1 Einleitung

Die Beurteilung von Schussverletzungen in der Rechtsmedizin betrifft nur einen geringen Anteil der forensischen Fälle, jedoch fordert sie aufgrund ihrer Komplexität und Interdisziplinarität erhöhte Aufmerksamkeit. Insbesondere unbekannte Projektile sowie die Frage nach Selbst- oder Fremdbeibringung stellen den/die Rechtsmediziner/-in vor Herausforderungen. Eine enge Zusammenarbeit mit der Polizei und den zugehörigen Behörden der Forensik ist für die rechtsmedizinische Beurteilung der Schussverletzungen entscheidend.

Im Folgenden werden waffen- und munitionstechnische Grundlagen mit Schwerpunkt auf die in der vorliegenden Dissertation enthaltenen Kurzwaffen und 9 mm Munition sowie eine ballistische und wundballistische Einführung gegeben. Darüber hinaus werden Simulanzien beschrieben, mit dessen Hilfe bewährte experimentelle Simulationen von Schussverletzungen durchgeführt werden können [1].

1.1 Waffentechnische Grundlagen

Feuerwaffen sind laut Waffengesetz Schusswaffen [2], mit denen mittels heißer Gase ein Geschoss durch einen Lauf getrieben wird. Im Unterschied zu militärischen Geschützen werden die mit der freien Hand bedienbaren Waffen als sog. Handfeuerwaffen bezeichnet. Dabei werden sie nach ihrer Gesamtlänge in Kurzwaffen (unter 60 cm) und Langwaffen (über 60 cm) eingeteilt [3]. Langwaffen werden zweihändig bedient und werden in Büchsen, Flinten und kombinierte Waffen untergeteilt. Auf sie wird in dieser Arbeit nicht näher eingegangen.

1.1.1 Kurzwaffen

Kurzwaffen werden auch Faustfeuerwaffen genannt, da sie mit einer Hand, d.h. aus der Faust heraus abgefeuert werden. Es wird zwischen Pistolen und Revolver unterschieden.

Gemeinsam haben sie den gezogenen Lauf. Diese sind schraubenförmig angeordnete Vertiefungen (Züge und Felder) über die gesamte Lauflänge hinweg. Der Lauf erzeugt einen Drall des Geschosses, in dem es dieses beim Passieren des Laufes in eine Drehung um seine Längsachse versetzt [1]. Dieser Drall sorgt für eine stabile Fluglage des Geschosses.

Lauf­längen haben einen entscheidenden Einfluss auf die Energieübertragung des Projektils. Je höher das Patronenhülsenvolumen und somit die Ladung, desto mehr kann das Geschoss im Lauf beschleunigt werden.

1.1.1.1 Pistolen

Gebrauchspistolen sind zum größten Teil halbautomatische Selbstlader, deren Magazine zwischen sechs und 19 Patronen fassen. Bei Pistolen bilden Lauf und Patronenlager eine Einheit und zeichnen sich durch flache Bauweisen aus. Das Magazin befindet sich im Griffstück.

Die erste Patrone wird von Hand in den Lauf repetiert. Nach Abschießen der ersten Patrone sorgt der Rückstoß der Waffe oder ein abgeleiteter Gasdruck für den Auswurf der leeren Patronenhülse, die Zuführung einer neuen Patrone aus dem Magazin sowie das Spannen der Waffe.

Es gibt auch Sonderkonstruktionen wie ein- oder zweischüssige Pistolen [1].

1.1.1.2 Revolver

Bei Revolvern sind Lauf und Patronenlager voneinander getrennt. Das Patronenlager besteht aus der Trommel (oder Walze) die meist zwischen 5 und 6 (max. 9) Patronen fasst. Durch die Drehung der Trommel um die eigene Achse nach jedem Schuss um eine Position, wird die nächste Patrone vor den Lauf transportiert. Das sog. Timing der Mechanik stellt sicher, dass die Patrone vor dem Lauf zentriert wird. Es wird zwischen Single-Action-Revolvern, bei denen vor jedem Schuss der Hahn per Hand vorgespannt wird und Double-Action-Revolvern, bei denen sich der Hahn durch den Abzugsvorgang selbst spannt, unterschieden.

Die Trommel ist zum Beladen mit neuer Munition ausschwenkbar oder es befindet sich eine Ladeklappe. Mit dem Hülsenausstoßer werden die leeren Patronenhülsen aus der Trommel entfernt. Revolverpatronen sind sog. Randpatronen, d.h. sie besitzen am Patronenboden einen überstehenden Rand, der in der Trommel ein Gleiten nach vorne verhindert und der es ermöglicht, sie anschließend aus dem Patronenlager zu entfernen.

Beim Übergang zwischen Lauf und Patronenlager besteht ein schmaler Spalt – der Trommelspalt. Hier geht ein geringer Gasdruck und somit Energie während des Abfeuerns verloren.

1.2 Munitionstechnische Grundlagen

Zunächst werden der Aufbau einer Patrone, ihre internationale Kennzeichnung und verschiedene Geschosstypen vorgestellt. Anschließend werden die vier für die Studie relevanten Munitionstypen näher betrachtet.

1.2.1 Überblick

Die Patrone ist in der Regel aus vier verschiedenen Elementen aufgebaut. Dem Geschoss, dem Treibmittel, der Hülse und dem Zünder. Durch Entzünden des Zünders, meist durch einen Schlag des Schlagbolzens auf das Zündhütchen, wird das Treibmittel gezündet. Dieses brennt ab und erzeugt dabei einen hohen Gasdruck, welcher das Geschoss aus der Hülse treibt. Seit Ende des 19. Jahrhunderts wird anstelle von Schwarzpulver Nitro-Cellulose-Pulver verwendet, welches einen relativ betrachtet höheren Energiegehalt bietet, geringere Rauchentwicklung und Verbrennungsrückstände aufweist und zudem kaum feuchtigkeitsempfindlich ist [4, S.83-93]. Beim Abbrand des Nitro-Cellulose-Pulvers entstehen fast ausschließlich die Gase Kohlendioxid (CO_2), Kohlenmonoxid (CO), Wasserdampf (H_2O), Wasserstoff (H_2) und Stickstoff (N_2) [1]. Die Pulverteilchen können blass grünlich oder, wenn sie mit Graphit behandelt wurden, grau bis schwarz erscheinen. Die Partikelgrößen variieren von einigen Zehntelmillimetern bis zu mehr als einem Millimeter [5, S.132-147]. Verschiedene Oberflächenbeschaffenheiten sowie Zusätze haben großen Einfluss auf die Verbrennungsgeschwindigkeiten des Nitro-Cellulose-Pulvers. Die schnell abbrennenden Pulversorten sind für Kurzwaffen bestimmt, sowie für Flinten, wohingegen die langsam abbrennenden Pulversorten für Langwaffen bestimmt sind.

1.2.2 Kennzeichnung

Die Kennzeichnung des Kalibers erfolgt entweder in metrischen Maßen (europäischer Ursprung) oder in Zollmaßen (angloamerikanischer Ursprung) jeweils auf dem Hülsenboden. Die metrischen Angaben bestehen i.d.R. aus dem Nennkaliber (z.B. 9 mm), aus der maximalen Hülsenlänge (z.B. 19 mm) und gelegentlich Zusatzbezeichnungen (z.B. R für Randpatrone, oder Win. für Winchester). Das Nennkaliber ist der ungefähre Durchmesser des Geschosses. So kommt es, dass die 9 x 19 mm Luger tatsächlich 9,03 mm im Durchmesser misst [6]. Auch die angloamerikanische Kennzeichnung erfolgt in einem Nennkaliber (z.B. .357 = 9,06 mm) und einer eventuellen Zusatzbezeichnung (z.B. Magnum, welches eine etwas stärkere

Ladung kennzeichnet). Eine Besonderheit der angloamerikanischen Patronenbezeichnung ist eine häufige Angabe der Jahreszahl des Ersterscheinungsdatum bei der Kennzeichnung (z.B. .30-06 welche aus dem Jahre 1906 stammt und dem .30 Zollmaß im Durchmesser entspricht). Es sind mindestens 60 verschiedene Kaliber mit einem Geschossdurchmesser von 9 mm bekannt [1, S.44]. In unserer Studie wurden die drei gebräuchlichsten 9 mm Kaliber sowie die Polizeimunition Action 4 eingeschlossen.

1.2.3 Wirkungsweise eines Geschosses

Die Aufgabe des Geschosses ist, die für eine bestimmte Wirkung erforderliche Energie in ein Ziel zu transportieren und dort umzusetzen [1]. Geschosse werden allgemein in Vollgeschosse und Mantelgeschosse unterschieden. Vollgeschosse bestehen aus einem homogenen Material und sind nicht ummantelt. Sie sind z.B. aus Blei, Messing oder Kunststoff gefertigt. Des Weiteren werden Mantelgeschosse in Vollmantel- und Teilmantelgeschosse unterteilt. Dabei umschließt ein Mantel aus Tombak¹, oder Weicheisen einen weichen Kern aus Blei. Wird der Kern vollständig umschlossen (meist bis auf das Geschosheck) spricht man von einem Vollmantelgeschoss. Wird die Geschosspitze von der Ummantelung ausgespart, spricht man von Teilmantelgeschossen. Je nach Form der ballistischen Spitze kann zwischen Flachkopf, Rundkopf oder Hohlspitze unterschieden werden.

Bezüglich des Verhaltens beim Eindringen in das Zielmedium werden drei weitere Kategorien von Geschossen unterschieden:

- Formstabile Geschosse: behalten während des kompletten Eindringvorgangs ihre Form bei und erfahren nur geringe Formänderungen. Sie verlieren keine Masse.
- Deformierende Geschosse: verformen sich beim Eindringen in ein Ziel. Sie verlieren bis zu 40 % ihrer Masse. Speziell konstruierte Geschosse können bis zu 100% ihrer Energie an das Zielmedium abgeben, um ein Durchdringen dieses zu vermeiden.
- Zerlegende Geschosse: bei einem Eindringen in das Zielmedium zersplittern sie teilweise oder weitgehend und geben große Teile ihrer Masse und Energie an das umliegende Gewebe ab.

¹ Kupferhaltige Messinglegierung

Die Übergänge des Auftreffverhaltens der unterschiedlichen Munitionen sind jedoch fließend und lassen sich durch Konstruktion, Auftreffgeschwindigkeit und das Zielmedium stark beeinflussen [1].

1.2.4 Das 9 mm Geschoss

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der in dieser Studie eingeschlossenen Munition.

KALIBER	9 MM LUGER	ACTION 4	.38 SPECIAL	.357 MAGNUM
Nennkaliber	9 x 19 mm	9 x 19 mm	9 x 29 mm	9 x 33 mm
Exakte Maße Geschoss ¹⁾	9,03 x 19,15 mm	Keine genaue Angabe	9,12 x 29,34 mm	9,12 x 32,77 mm
Geschoss-gewicht	4,08-9,53 g	6,1 g	6,16-13,0 g	6,0 -13,0 g
Mündungs-geschwindigkeit	300-580 m/s	420 m/s	220-470 m/s	320-590 m/s
Max. Gasdruck ¹⁾	2350 bar	2700 bar	1500 bar	3200 bar
Geschossenergie	380-700 J	542 J	247-680 J	680-1140 J

Tabelle 1) Munitionsübersicht der Studie. ¹⁾ Die Angaben entsprechen der C.I.P., geringfügige Abweichungen sind je nach Hersteller möglich. Angegeben sind die maximalen Werte.

1.2.4.1 9 mm Luger

Die 9 x 19 mm Patrone ist eines der meist verwendeten Kurzwaffenkaliber, diente bis 2003 als Dienstpatrone der deutschen Polizeibehörden und wurde durch das Action 4 Geschoss abgelöst. Es existieren zahlreiche Synonyme, u.a. 9 mm Luger, 9 mm NATO oder 9 mm Para(bellum)². In der vorliegenden Dissertationsschrift wird vereinfachend die Standard 9 mm Patrone als „9 mm Luger“ bezeichnet. Die 9 mm Patrone ist deutschen Ursprungs und gehört als einzige deutsche Patrone zu den standardisierten NATO-Kalibern [7]. Je nach Anwendungsgebiet sind zahlreiche Laborierungen des Geschosses bekannt, welche sich in Material, Form und Gewicht unterscheiden. Die Ogival³-Vollmantel-Patrone gilt als das Standard-Geschoss.

² Kunstwort aus dem lateinischen Sprichwort: „si vis pacem para bellum“, „Wer Frieden will, bereite Krieg vor“

³ spitzbogig

1.2.4.2 Action 4

Action 4 Munition ist ein Deformationsgeschoss mit Hohlspitze, welches speziellen polizeilichen Anforderungen entspricht und von der Firma RUAG Ammotec (Hauptsitz: Thun, Schweiz) im Zuge einer Ausschreibung der durch die Innenministerkonferenz 1999 beschlossenen neuen Technischen Richtlinien entwickelt wurde [8]. Die Action 4 Munition löste im Jahr 2003 die herkömmliche 9 mm Vollmantel-Munition der deutschen Polizei ab. Ausschlaggebend für die Neuorientierung der Polizei waren u.a. die zu geringe Energieabgabe an das Zielmedium der gebräuchlichen Vollmantelmunition, die in Einsatzsituationen entweder keinen sofortigen Effekt auf den Angreifer oder das Ziel (z.B. Autoreifen) hatte oder eine Drittgefährdung durch ein Durchschießen des Primärziels nicht ausschloss. Die mannstoppende Wirkung des neu entwickelten Polizeigeschosses Action 4 ist gegenüber der zuvor gebräuchlichen Einsatzmunition deutlich erhöht, da mehr Energie im Ziel abgegeben wird und so die taktischen Ziele Angriffs- und Fluchtunfähigkeit beim Beschossenen besser erreicht werden können. Diese Munition ist im zivilen Gebrauch nicht erlaubt.

Gemäß der Technische Richtlinien 9 mm x 19 schadstoffreduziert / Mannstoppwirkung muss das Action 4 Polizeigeschoss folgende Forderungen erfüllen [9]:

- geringe Gefährdung Unbeteiligter,
- geringe Abprallgefahr,
- große Energieabgabe auf Weichziele zur Erzeugung der Angriffs- und Fluchtunfähigkeit,
- keine Splitterbildung und ausreichende Wirkung beim Beschuss von Hartzielen und Fahrzeugreifen.
- Bei Schüssen auf unbedeckte Weichziele gelten zusätzlich folgende Anforderungen:
 - Eindringtiefe: minimal 20 cm, maximal 30 cm; kein Einzelwert darf außerhalb dieses Bereichs liegen,
 - über eine Strecke von mindestens 5 cm sind mindestens 30 J/cm zu erreichen,
 - keine Geschosszerlegung, Masse des Geschossrestkörpers größer 98 % (in Gelatine eindringendes Geschoss gleich 100 %).

Die Firma RUAG Ammotec setzte sich gegen ebenfalls zertifizierte Munition anderer Hersteller durch.

Die Action 4 Munition besteht komplett aus duktilem⁴ Messing und wird deshalb als Vollgeschoss bezeichnet. In der Hohlspitze des Geschosses befindet sich eine gelbe Kappe aus schlagzähem Kunststoffmaterial, welches mit medizinischem Röntgenkontrastmittel versehen ist [10]. Sie steckt stiftartig im Geschoss und kann bei Kontakt mit dem Ziel weiter in das Geschoss hineingedrückt werden. So wird die Hohlspitze freigegeben und erhöht den Oberflächenkontakt des Geschosses mit dem Ziel und somit die Energieabgabe.

1.2.4.3 .38 Special

Diese 1902 entwickelte Patrone gilt als Vorgänger der .357 Magnum. Bis sie 1935 zur .357 [11] weiterentwickelt wurde, um eine Patrone mit deutlich mehr Leistung auf den Markt zu bringen, galt sie als die amerikanische Standard-Militär- und Polizeipatrone. Inzwischen gibt es sie in zahlreichen weiteren Laborierungen, wie z.B. Wadcutter- oder Schrot-Geschossen.

1.2.4.4 .357 Magnum

Die .357 Magnum-Patrone ist ein US-amerikanisches Fabrikat. Sie ist neben der 9 mm-Luger-Patrone eines der beliebtesten Sportschützenkaliber. Ihr Geschossdurchmesser beträgt 9,12 mm und ist somit identisch mit dem Durchmesser der .38 Special. Sie unterscheiden sich lediglich in der Länge der Hülse (.357 Magnum ist 4 mm länger) und somit im Ladungsvermögen. Die .357 Magnum ist doppelt so stark geladen und erzeugt gegenüber der .38 Special einen doppelt so hohen Gasdruck. Dies erklärt, warum die .38 Special durch einen .357-Revolver verschossen werden kann, andersherum jedoch nicht. Zum einen würde die Patrone nicht ins Patronenlager passen und zum anderen ist der .38 Revolver nicht auf die entsprechende Ladung eingeschossen, sodass eine Laufsprengung riskiert würde [11].

1.3 Simulanzen

Für die Herstellung eines experimentellen Aufbaus zur Durchführung physikalisch-ballistischer Versuche werden Materialien benötigt, die ein möglichst vergleichbares

⁴ verformbar

Verhalten gegenüber humanem Gewebe aufweisen. Im Kontext dieser Studie gilt es den menschlichen Schädel experimentell reproduzierbar und kosteneffizient abzubilden.

1.3.1 Haut

Als gut geeignetes Hautsimulanz hat sich in zahlreichen Versuchsreihen die Schweinehaut gegenüber anderen Tierhäuten hervorgehoben. Diese ist bei den meisten Schweinerassen unpigmentiert und weist wenig Behaarung auf [12], sodass Schusswunden einfach zu beurteilen sind. Ein synthetisches Material, welches alle forensischen Anforderungen abdeckt, ist laut *Kneubuehl* kaum zu finden [1, S.161]. *Thali et al.* erzielten jedoch zufriedenstellende sowie morphologisch ähnliche Schussverletzungen mit einer Silikonschicht im Verbund mit synthetischen Fasern (synthetisches Wildleder) [13].

1.3.2 Knochen

Polyurethanplatten werden bislang bevorzugt, um das Durchschlagen von Knochen in ballistischen Versuchen zu simulieren. Polyurethane sind Kunststoffe oder Kunstharze, welche aus Alkoholen und Polyisocyanaten hergestellt werden und als Schaumstoffe, Lacke, Beschichtungen, Klebstoffe oder als Vergussmassen Verwendung finden [14]. Im „skin-skull-brain modell“ von *Thali et al.*, wurde ein künstlicher Schädel mit Tabula externa, Tabula interna sowie trabekulärer Diploe aus Polyurethan entwickelt [12], welcher sich als realistische Knochensimulanz sehr gut eignete. Andere Simulanzien wie Holz, Helme oder gar Straußeneier haben sich als ungeeignet erwiesen [15]. Versuche mit menschlichen oder tierischen Knochen sind aufgrund ethischer Konflikte sowie der Inhomogenität der Präparate ebenfalls nicht geeignet [1, S.159; 16].

1.3.3 Weichteile

Zur Darstellung der endballistischen Eigenschaften eines Geschosses, eignet sich Gelatine sowie ballistische Seife.

Gelatine ist ein hydrolysiertes, also denaturiertes Kollagen tierischen Bindegewebes (meist von Schweinen oder Rindern), welches im erwärmten Wasser (ab 50 °C) quillt und beim Abkühlen geliert [17]. Die Gelstärke, also Geliertkraft wird in der Einheit Bloom angegeben. Für Beschussversuche werden typischerweise Bloom-Zahlen zwischen 250 und 300 der Gelatine des Typ A verwendet. Darüber hinaus hängt ihre Festigkeit von der Konzentration ab [1, S.145; 17; 18].

Zehnprozentige Gelatine wird häufig als Hirnsimulanz verwendet [12], 20-prozentige Gelatine wurde von *Breeze et al.* [19] als vergleichbar mit Muskulatur gewertet. Die Gelatine nimmt gemäß *Cronin et al.* [20] mit sinkender Temperatur an Festigkeit zu, welche im Umkehrschluss bei steigender Temperatur abnimmt. Darum ist es unerlässlich, den Beschuss im gekühlten Zustand, bspw. direkt nach Entnahme aus dem Kühlschrank durchzuführen, um eine Reproduzierbarkeit der Beschüsse zu gewährleisten [21]. Für die Herstellung der Gelatine stehen mehrere Rezepte zur Verfügung, welche in der Literatur kontrovers diskutiert werden [9; 13; 22; Anhang 1].

Ein weiteres Weichteilsimulanz ist die ballistische Seife. Seifen sind Natrium- oder Kaliumsalze von Fettsäuren [23]. Da die Glycerinseife fast transparent ist, eignet sie sich für wundballistische Versuche. Die Herstellung eines Seifenblockes ist im Vergleich zum Gelatineblock sehr aufwendig. Beim Beschuss bleibt die sich gebildete, sonst nur temporäre Wundhöhle, fast vollständig bestehen und lässt sich somit gut vermessen [1, S.151]. Hierbei ist die abgegebene Energie proportional zum Volumen der Höhle [24]. Im Vergleich zur ballistischen Seife fällt die temporäre Wundhöhle bei Gelatineblöcken wieder in sich zusammen und zeigt hierbei ein dem menschlichen Gewebe ähnliches Verhalten.

1.4 Ballistische Grundlagen

Die Ballistik besteht im Zusammenhang mit Feuerwaffen aus vier Teilgebieten, der Innenballistik, Abgangsbalistik, Außenballistik und Endballistik.

1.4.1 Innenballistik

Sie beschäftigt sich mit dem Beschleunigen des Geschosses im Inneren der Waffe. Sie beginnt beim Auftreffen des Schlagbolzens auf das Zündelement des Patronenbodens und endet beim Verlassen des Geschosses aus dem Lauf [1, S.70]. Das durch das Zündelement in Brand gesetzte Treibladungspulver, brennt je nach angepassten Anforderungen offensiv (schnell) oder progressiv (langsam) ab. Dabei entstehen hohe Gasdrücke, die das Geschoss aus der Patrone durch den Lauf treiben. Die Verbrennung sollte optimalerweise beendet sein, sobald das Geschoss den Lauf verlässt [1, S.72]. Eine tragende Rolle forensischer Überlegungen der Schussentfernung, spielen Verbrennungsrückstände des Treibladungspulvers, der sog. Schmauch, sowie nicht abgebrannte oder teilverbrannte Pulverteilchen. Sie können ebenfalls den Lauf

verlassen und durch ihre beschleunigte Masse je nach Entfernung bis hin zum Ziel weitertransportiert werden.

1.4.2 Abgangsbalistik

Sie untersucht den Austritt des Geschosses aus der Mündung und seine Beeinflussung durch Waffe und Gase. An der Laufmündung sind bereits Gasströmungen zu beobachten, bevor das Geschoss den Lauf verlässt. Und auch nachdem das Geschoss ausgetreten ist, wird es von Gas umgeben, das schneller beschleunigt wurde als das Geschoss selbst. Dies kann das Geschoss zu Pendelbewegungen um den Schwerpunkt anregen, spielt jedoch bei Kurzwaffengeschossen aufgrund ihrer geringen Länge eine untergeordnete Rolle. Das Mündungsfeuer entsteht durch eine Entzündung der nachströmenden Gase in Kombination mit Sauerstoff und v.a. bei Kurzwaffen aus noch brennenden ausgetretenen Pulverresten [1, S. 75-76]. Es ist ein Indiz dafür, dass das vollständige Abbrennen des Pulvers beim Verlassen des Geschosses aus dem Lauf noch nicht abgeschlossen ist. Der Austritt und das Abbrennen von Gasen ist aus forensischer Sicht besonders bei Nahschüssen im Sinne der Nahschusszeichen ein wichtiger Aspekt.

1.4.3 Außenballistik

Die Außenballistik beschreibt die Flugbahn des Geschosses durch die Luft und wird in hohem Maße durch Luftwiderstand und Erdanziehungskraft beeinflusst. Ebenso spielen Bewegungszustände des Geschosses und dessen Winkel nach Abgang aus der Mündung und bei Auftreffen auf das Zielmedium eine Rolle. Diese Faktoren sind bei den in der vorliegenden Arbeit behandelten Schüssen aufgrund der sehr kurzen Schussdistanzen nicht relevant und werden an dieser Stelle nicht weiter betrachtet.

1.4.4 Endballistik

Sie befasst sich mit dem Eindringen des Geschosses in ein Ziel und wird in Kapitel 1.5 ausführlich behandelt.

1.4.4.1 Kinetische Energie

Jeder sich bewegende Körper, also auch Geschosse, verfügen über kinetische Energie (E_{kin}). Diese ist von der Masse und der Geschwindigkeit des Geschosses

abhängig. Schwere Geschosse sind bei gleicher Geschwindigkeit energiereicher als leichte Geschosse. Die Formel

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Formel 1) Kinetische Energie [25].

zeigt, dass die Geschossmasse linear und die Geschwindigkeit quadratisch die kinetische Energie beeinflussen. Der Geschwindigkeit des Geschosses kommt demnach eine im Rahmen wundballistischer Betrachtung größere Bedeutung zu als ihrer Masse. (m = Masse des Geschosses, v = Geschwindigkeit des Geschosses). Die gängige physikalische Einheit für die kinetische Energie des Geschosses ist Joule (J) [26].

1.4.4.2 Querschnittsbelastung

Die Querschnittsbelastung ist eine weitere entscheidende Größe für die Energieabgabe des Geschosses auf den Zielkörper [1, S.98-99]. Sie ergibt sich aus dem Verhältnis der Masse eines Körpers (Geschosses) zu seiner Querschnittsfläche. Sie wird in g/mm^2 (seltener kg/cm^2) angegeben. Dabei gilt:

$$\text{Querschnittsbelastung} = \text{Masse durch Querschnittsfläche}$$

Sie kann im ballistischen Zusammenhang auch als folgende Formel angegeben werden:

$$S = 4\pi \cdot m / k^2$$

Formel 2) Querschnittsbelastung.

(S = Querschnittsbelastung, m = Masse, k = Kaliber/Geschossdurchmesser) [27].

Je niedriger der Wert und somit das Geschossgewicht, desto schneller kann ein Geschoss im Lauf beschleunigt werden und mehr Energie im Ziel abgeben. Je höher der Wert und somit das Geschossgewicht, desto schwieriger ist es, das Geschoss im Lauf zu beschleunigen aber desto wirkungsvoller durchdringt das Geschoss die Luft und das Zielmedium. Diese beiden gegensätzlichen Anforderungen auf das Geschoss zu vereinen, ist eine nicht leicht zu lösende Aufgabe [1].

1.4.5 Deformationsgeschosse

Die in dieser Arbeit untersuchten Teilmantelgeschosse sowie Vollgeschosse mit Hohlspitze gehören zu der Gruppe der Deformationsgeschosse. Sie vergrößern beim Eindringen in den Körper ihre Auftrefffläche (sog. Aufpilzen). Damit wird der Geschossdurchmesser vergrößert und die Querschnittsbelastung kleiner. Es wird mehr Energie an das Zielmedium abgegeben.

1.4.6 Vollmantelgeschosse

Sie geben ihre Energie unter Beibehaltung ihrer Geschossform ab, d.h. sie deformieren kaum oder größtenteils gar nicht im Zielmedium. Die Querschnittsbelastung bleibt hoch und eine Vergrößerung der Energieabgabe erfolgt nur bei einer Drehung oder gar Querstellung des Geschosses [1, S.99].

1.5 Wundballistik

Die Wundballistik ist Teil der Endballistik und beschäftigt sich mit der Wirkung von Geschossen bei Eindringen in Menschen und Tiere [1, S.91].

Schwere und Ausmaß der wundballistischen Vorgänge sind stark von der verwendeten Waffen-Munitionskombination abhängig. Es erfordert fundiertes Wissen über Geschosse und Munition, um die von ihnen erzeugte Verletzungsmorphologie zu verstehen und diese zu interpretieren [1, S.35]. Zum einen entstehen Schäden durch direkte Zerstörung anatomischer Strukturen entlang des Schusskanals, zum anderen entstehen sie durch Dehnungen und Scherungen, die durch hohe Drücke verursacht werden. Entscheidend für die Geschosswirkung ist, wie viel kinetische Energie in das Gewebe abgegeben wurde [5].

1.5.1 Einschussmorphologie

Die morphologischen Merkmale eines senkrecht auftreffenden Geschosses auf die unbedeckte Haut lassen sich in vier typische Befunde einteilen [1, S.272, 28].

- *Zentraler nicht adaptierbarer Substanzdefekt*, der durch den unmittelbaren Kontakt mit der Geschosspitze entsteht. Hierbei werden Gewebsteile zermalmt und zerdrückt und in die Tiefe des Schusskanals verlagert. Durch kurzzeitiges zentrifugales Auseinanderweichen des Defektrandes, erweitert sich die Einschussöffnung zunächst überkalibergroß und zieht sich anschließend durch

ihre Eigenelastizität wieder zusammen. Deshalb erscheint die Einschussöffnung anschließend oft kleiner als das eigentliche Geschosskaliber [5, S.253].

- *Zirkulärer Abstreifring*, der durch Abstreifen der an der Projektiloberfläche haftenden Substanzen verursacht wird. Dies können Treibladungs- und Waffenölrückstände sowie Schmauch sein. Meist wird er als 1-3 mm breiter schwärzlich glänzender Randsaum um die Einschussöffnung ersichtlich [1, S.372]. Der Abstreifring ist kein Nahschusszeichen und entfällt weitestgehend sobald das Projektil zunächst andere Materialien, beispielsweise Textilien durchdringt [5, S.254].
- *Kontusionsring*, auch ehemals irreführend „Schürfsaum“ [29] genannt, ist ein um die Einschusslücke liegender, ca. 2-3 mm messender, oberflächlicher Hautdefekt. Im frischen Zustand ist er als feuchter, rötlicher Saum zu erkennen [5, S.253], der durch Vertrocknungseffekte beim Verstorbenen eine braunrote Farbe annimmt. Er entsteht durch ein tangenciales Wegschleudern von Oberhautpartikeln und Koriomsanteilen durch die radiale Beschleunigung des eindringenden Projektils [1, S.372].
- *Dehnungssaum*, ein durch die zirkuläre Überdehnung des Gewebes entstehender Saum, der sich an den Kontusionsring anschließt. Er imponiert als rotviolette Unterblutung, da bei der radialen Beschleunigung des Gewebes Hautkapillaren konsekutiv einreißen [1, S.272ff; 5, S.253ff].

1.5.2 Ausschussmorphologie

Die Morphologie des Ausschusses gestaltet sich je nach Restenergie, Form und Austrittswinkel des Geschosses und weist eine große Variabilität auf.

Das Projektil wölbt die Haut zunächst von innen nach außen und durchdringt sie sodann meist schlitzförmig, solange es genug Energie besitzt. Diese entstandene Wunde ist durch Aneinanderlegen der Ränder vollständig adaptierbar. Die Größe des Ausschusses kann die des Einschusses sowohl übertreffen als auch, beispielsweise bei aufgesetzten Schüssen, sie deutlich unterschreiten. Dies sorgt regelmäßig für Fehlbeurteilungen. Vor allem hängt die Größe der Ausschussöffnung vom Durchmesser der temporären Wundhöhle an der Austrittsstelle ab. Ein Abstreifring ist beim Ausschuss in keinem Fall zu finden.

Ist die Restenergie des Geschosses zu gering, bleibt das Geschoss im Körper stecken. Häufig bleibt es unterhalb der Haut liegen. Dort lässt es sich ertasten und zeigt

sich häufig durch ein Hämatom. [1, S.276; 5, S.254ff]. Die nötige Mindestenergie pro Fläche der Geschosse beträgt 10 J/cm^2 für einen Hautdurchtritt, was einer Geschwindigkeit eines herkömmlichen Geschosses von 50-60 m/s entspricht [30].

1.5.3 Hinweise zur Schussentfernung

Rechtsmedizinisch lassen sich drei Schussentfernungen differenzieren. Der *absolute Nahschuss*, der Schüsse aus unmittelbar aufgesetzten Laufmündungen beschreibt (max. wenige Millimeter Entfernung), der *relative Nahschuss* mit Entfernungen zwischen einer Lauflänge bis zu einem Meter und der *Fernschuss*, der alle weiteren Schüsse einschließt. Diese Angaben gelten für Kurzwaffenschüsse. Die Unterscheidung der Schussentfernung ist von erheblichem forensischem Interesse, u.a. um Hinweise auf Fremd- oder Selbstverschulden zu erhalten.

Eindeutige Hinweise auf einen absoluten Nahschuss gibt die „Schmauchhöhle“. Beim aufgesetzten Schuss dringen reichlich Treibladungsbestandteile und Gase in die Einschusswunde ein und unterminieren die umliegende Haut. Der Wundkanal wird schwarzgrau verfärbt. Je nach darunter befindlichem Gewebe, kann der Druck abgefangen werden oder die Haut reißt (wie im Falle eines Schläfen- oder Stirnschusses mit darunterliegenden platten Knochen) radial, also sternförmig (oft auch nach Art eines Andreaskreuzes) ein (siehe Abb. 1). Darüber hinaus kann sich das einschussnahe Blut und die Muskulatur unter Einwirkung von Kohlenstoffdioxid der Geschossgase durch die Bildung von CO-Hämoglobin und CO-Myoglobin hellrot verfärben [31].



Abbildung 1) Absoluter Nahschuss auf einen platten Knochen; Quelle: Institut für Rechtsmedizin der Charité.

Durch den Druck der eingedrungenen Gase und der sich vorwölbenden Haut der Schmauchhöhle, wird die Waffenmündung zu einem gegen die Haut gedrückt, sodass Schürfeffekte entstehen [1, S.278ff; 5, S.255ff], zum anderen wird das Epithel durch die zwischen Laufmündung und Haut seitlich austretenden Pulvergase abgeschert. Es kommt zu einer Abprägung des Waffengesichtes, welches gelegentlich größer ist als das Mündungsgesicht der Waffe selbst [29]. Dieser Befund wird nach ihrem Erstbeschreiber „Werkgartner'sche Stanzmarke“ benannt [32] (siehe Abb. 2). Sie kann auch Hinweise zur Waffenhaltung geben.



Abbildung 2) Werkgarnter'sche Stanzmarke; Glock 34 Gen4 9 x 19; Quelle: Institut für Rechtsmedizin der Charité.

Je kürzer die Distanz des Laufes zum Ziel, desto mehr sichtbare Beschmauchung und eventuelle Reste unverbrannten Treibladungspulvers im Bereich des Einschusses sind zu erwarten. Diese hängen jedoch stark von der Patronenladung und der Lauflänge ab und können unter Umständen sogar gänzlich fehlen. Thermische Schäden durch das Mündungsfeuer halten sich meist in Grenzen und lassen sich allenfalls an Textilien oder bei Vorliegen leicht angesengter Haare bis hin zu der Entfernung des relativen Nahschusses bestätigen [1, S.279].

Der relative Nahschuss wird weiter in den näheren und den weiteren, relativen Nahschuss eingeteilt. Der Begriff des näheren, relativen Nahschusses wird bei Schussdistanzen von 1-2 Lauflängen verwendet. Als Nahschusszeichen finden sich Beschmauchungen in Form eines Schmauchhofes sowie Verbrennungsrückstände des Pulvers. Diese nehmen bei größeren Entfernungen der Waffe zur Haut in ihrer Intensität ab. Beim weiteren, relativen Nahschuss fehlen Schmauchniederschläge, es werden jedoch weiterhin unverbrannte oder teilverbrannte Treibladungsrückstände beobachtet

[1, S.279ff; 5, S.257ff]. Sobald keine Hinweise auf einen Nahschuss gefunden werden können, spricht man von einem Fernschuss. Dieser liegt bei Kurzwaffen schon ab einer Distanz von etwa 1 m vor.

1.5.4 Kopfschussverletzungen

Die Kopfschussverletzungen stellen gegenüber den Rumpf- und Extremitätenschüssen ein gesondertes Kollektiv dar. Sie bieten durch die anatomischen Strukturen des Kopfes (Kopfschwarte, Schädelkalotte, Gehirn) eine verwertbarere Vergleichbarkeit als beispielsweise Armschuss zu Bauchschuss. Darüber hinaus lassen sich am platten Knochen des Schädels weitere reproduzierbare morphologische Merkmale beobachten, die im Absatz 1.5.4.2 erläutert werden.

1.5.4.1 Hirnverletzungen

Kopfschussverletzungen enden meist letal, auch wenn sie nicht unmittelbar zum Tode führen. Die inflexible, knöcherne Schädelkapsel umschließt das Gehirn fast vollständig. Dringt ein Projektil ein, entstehen hohe Druckgradienten durch die radiale Verschiebung des Gewebes, welche nicht nach außen abgegeben werden können. Dies erklärt, warum auch nicht direkt betroffene Hirnstrukturen durch den Schuss in Mitleidenschaft gezogen werden können. Gehirngewebe ist im Vergleich zu anderen Geweben ein wenig elastisches Gewebe, welches durch seine Eigenschaften gegenüber Dehnung, Kompression und Scherung anfälliger ist [33].

Durch einen Schuss kommt es zu Einreißungen und Zerstörung von Nervenzellen und Axonen [1, S.283ff]. Beim überlebten Schädelschuss können darüber hinaus anschließende Hirnblutungen (beispielsweise durch die stark vaskularisierten Hirnhäute) durch Hirndrucksteigerung und konsekutive Hirnschwellung zu einer sekundären letalen Hirnstammkompression führen. Ist die übertragene Energie des Projektils auf den Schädel hinreichend hoch, kann eine hydrodynamische (hydraulische) Sprengwirkung den Schädel zerbersten lassen [26]. Der sog. Krönlein-Schuss, beschreibt darüber hinaus eine traumatische komplette Eviszation und Destruktion des Gehirns und weitgehender Zertrümmerung des knöchernen Hirnschädels [34], welcher jedoch erst bei Mündungsgeschwindigkeiten von mindestens 600 m/s auftritt. Der Übergang zwischen Schädel-Sprengschüssen und dem Krönlein-Schuss ist fließend [35].

1.5.4.2 Schädelverletzungen

Bei senkrecht auftreffenden Schüssen erscheinen die Schussbruchlücken des Schädeldaches als rundliche Defekte. Der Durchmesser des Einschusses stimmt nicht zwingend mit der Größe des Kalibers überein.

Bei absoluten Nahschüssen gegen den Schädel (hauptsächlich bei Schläfen und Stirnschüssen) werden regelmäßig sternförmig aufgeplatzte Schmauchhöhlen (siehe Abschnitt 1.5.3) sowie zusätzliche Schmauchantragungen am Schädelknochen und Periost beobachtet [5, S.260].

Am platten, mehrschichtig aufgebauten Knochen erweitert sich der Schussdefekt stets trichterförmig in Schussrichtung (siehe Abb. 3). Dieser Befund kann, insofern das Projektil den Schädel zweimal durchschlägt, am Ein- sowie Ausschuss beobachtet werden. Demnach lässt der Befund auch Aussagen über die Schussrichtung beim weichteilfreien Knochen, etwa nach langer Wasserliegezeit, Brand oder Fäulnis zu [36].

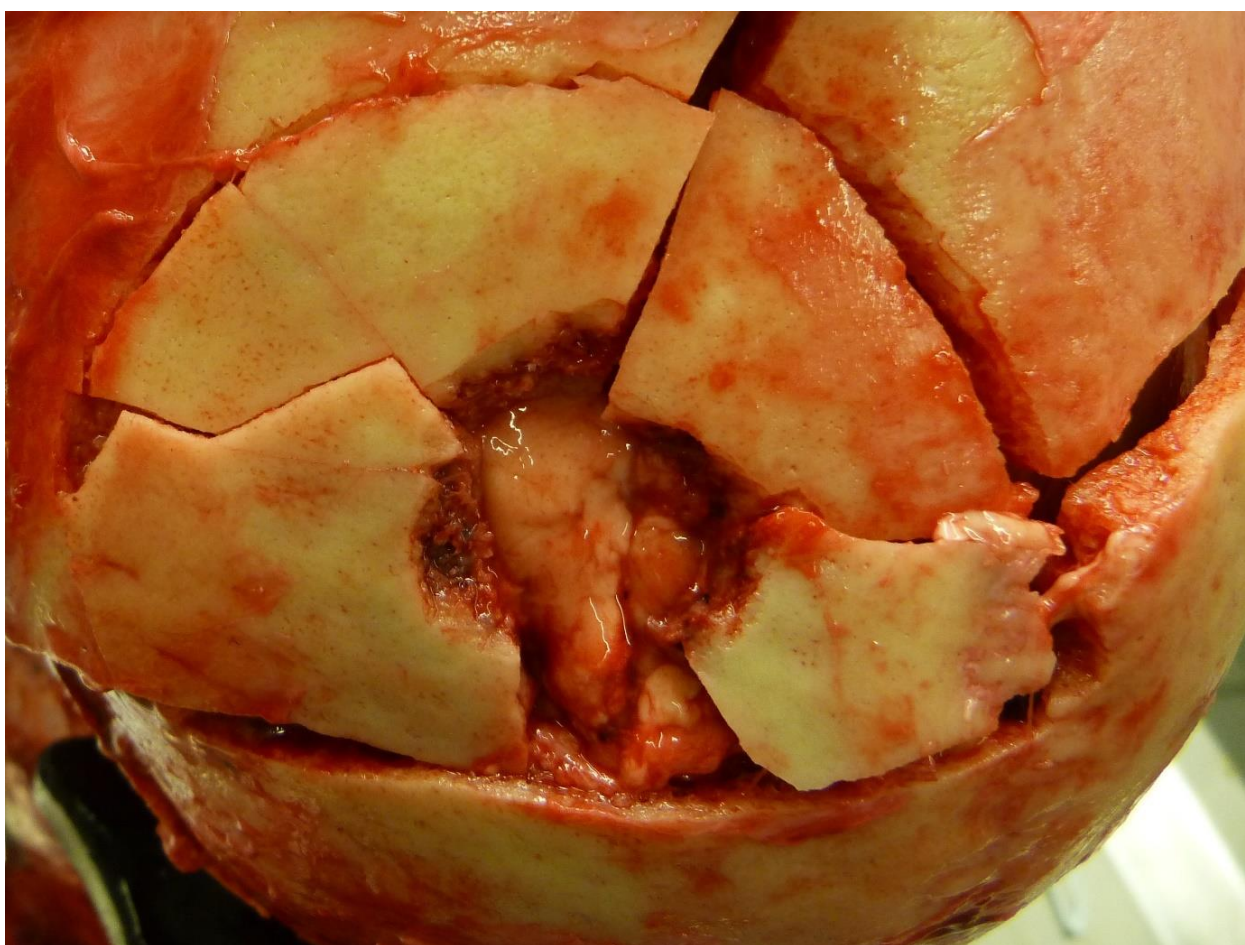


Abbildung 3) Trichterförmige Erweiterung des Ausschusses; Quelle: Institut für Rechtsmedizin der Charité.

Um die Schussbruchlücke zeigen sich häufig radial davon ausgehend Berstungsbruchlinien, die durch den in der Schädelkapsel aufgebauten hohen Druck entstehen. Die Berstungsbruchlinien setzen sich in hoher Geschwindigkeit fort und können unter Umständen die Gegenseite des Schädels zeitlich vor dem austretenden Geschoss erreichen. Weiterer Druck führt ferner zu weiteren Berstungsbrüchen [1 S.285; 37; 38].

1.5.4.3 Temporäre Wundhöhle

Beim Eindringen des Geschosses in ein Zielmedium wird das Zielmedium durch die abgegebene Energie beschleunigt und aufgrund der Drallbewegung des Geschosses in radialer Richtung von der Geschossbahn weggedrückt. [1, S.115]

Die Ausdehnung dieser Höhle hängt von der Elastizität des Gewebes sowie von der Geschossenergie ab [1, S.116]. Meist beträgt die Ausdehnung ein Vielfaches des Geschossdurchmessers. Dies liefert den Hinweis darauf, dass, über den eigentlichen Wundkanal hinaus, das umliegende Gewebe destruktiv gedehnt wird.

Nach Durchdringen des Geschosses kollabiert die temporäre Wundhöhle binnen Millisekunden. Jedoch entsteht durch die elastische Energie, welche aus der kinetischen Energie des Geschosses umgewandelt wurde, eine erneute, im Volumen geringere Höhle. Dieser pulsatile Vorgang wiederholt sich, bis die elastische Energie erschöpft ist [1, S.116]. Die Fremdkörper, wie bspw. Knochenfragmente, bewegen sich hinter dem Geschoss in gleicher Richtung im „Vakuum“ der sich bildenden temporären Wundhöhle und werden in den neu entstandenen Wundtaschen eingeschlossen. Sie besitzen zu wenig Energie, um als „Sekundärgeschosse“ selbstständig vorzudringen [1, S. 289-290].

1.6 Zielsetzung der Arbeit

Ziel der vorliegenden Studie ist die Erarbeitung praxisrelevanter Unterscheidungsmerkmale der Wirkung der vier betrachteten 9 mm Geschosse auf den Körper. Hierzu wurden zunächst anhand einer retrospektiven Auswertung realer Schussfälle typische Schussverletzungsmorphologien insb. des Kopfes bei Verwendung von 9 mm Geschossen eruiert.

Dabei gilt es insbesondere zu prüfen, ob die postmortale Schnittbildgebung (pmMSCT) komplementär zur Obduktion, zusätzliche Aspekte zur Findung von morphologischen Unterschieden über die Obduktion hinaus bietet.

Der aus den retrospektiv erhobenen Daten abgeleitete experimentelle Ansatz der Arbeit dient der Systematisierung der CT-Befunde in Bezug auf die zu erwartenden Charakteristika der einzelnen Geschosstypen.

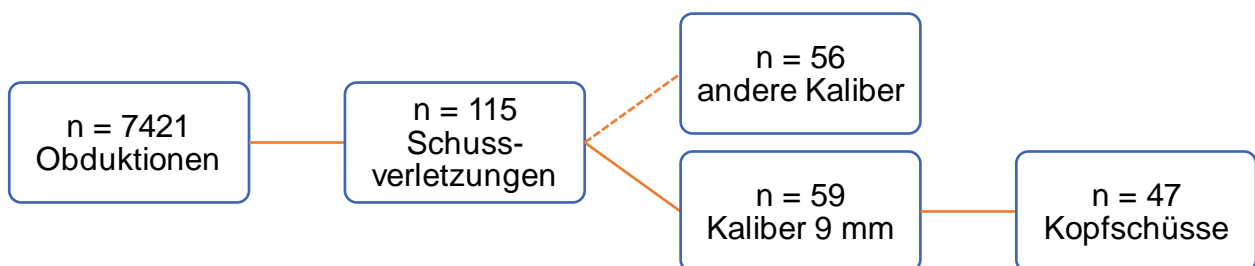
2 Material und Methoden

2.1 Datenanalyse

Der erste Abschnitt der vorliegenden Arbeit besteht aus einer retrospektiven Auswertung des Sektionsgutes des Institutes für Rechtsmedizin der Charité im Studienzeitraum vom 01.06.2007 bis zum 31.10.2014. Zur Auswertung standen die Sektionsprotokolle, polizeilichen Ermittlungsakten sowie – soweit seit Einführung 2011 verfügbar – Ergebnisse der pmMSCT und ballistische Gutachten zur Verfügung.

In die Studie eingeschlossen wurden alle Fälle, in denen ein Geschoss mit dem Durchmesser (Nennkaliber) von 9 mm durch eine Schussverletzung zum Tode geführt hat. Ausgeschlossen wurden alle Fälle, in denen andere Kaliber für einen letalen Schuss verwendet wurden sowie Fälle, in denen der Einsatz eines 9 mm Geschosses zwar dringend vermutet aber nicht bestätigt werden konnte. Unter der verwendeten Munition konnten vier verschiedene 9 mm Kaliber unterschieden werden: 9 mm Luger, die Polizeimunition Action 4, .38 Special und .357 Magnum.

Wie in Grafik 1 ersichtlich, konnte bei allen 7421 gerichtlichen Obduktionen des Studienzeitraums 115 tödliche Schussverletzungen (1,5 %) identifiziert werden. Davon wurden 59 Fälle (0,8 % aller Obduktionsfälle; 51,3 % aller Schüsse) eindeutig dem Kaliber 9 mm zugeordnet. Aus dieser Gruppe erwiesen sich 47 Schüsse (40 % aller Schüsse; 79,6 % aller Schüsse mit dem Kaliber 9 mm) als Kopfschüsse und wurden gesondert ausgewertet.



Grafik 1) Anteil der Schussverletzungen der Obduktionen im Studienzeitraum.

Die Auswertung erfolgte anhand festgelegter Parameter, die tabellarisch erfasst wurden. Dazu zählten Morphologien von Ein- und Ausschüssen, Alter, Geschlecht,

Todesumstände und Todesursachen, sowie die verwendete Munition, der Waffentyp, Legalität der Waffe und die Schussentfernung.

Ein besonderer Fokus galt den Kopfschussverletzungen, welche ab dem 22.06.2011 mittels eines 16-zeiligen Computertomographen (TOSHIBA Activion 16) zusätzlich zur Obduktion untersucht wurden. Hierbei wurden mit dem Darstellungsprogramm OsiriX[®] sowie der Gerätesoftware des Herstellers weitere Daten erhoben. Erfasst wurden das Vorhandensein von Fremdkörpern im Schusskanal, die Größe der Schussbruchlücken und weitere Merkmale zu Ein- und Ausschüssen, wie beispielsweise trichterförmige Erweiterungen und Berstungsbrüche. Ein- und Ausschüsse wurden in allen Fällen anhand der dem aktuellen Stand der forensischen Wissenschaften gängigen Merkmale identifiziert.

In dieser Arbeit wurde zu jedem der vier untersuchten Munitionstypen ein Fallbeispiel mit besonderem Fokus auf der postmortalen Schnittbildgebung ausgewählt. Es wurden Ein- und Ausschuss, Schusskanal und weitere Schädelverletzungen im Detail beschrieben sowie eine Kurzzusammenfassung über die Todesumstände gegeben. Die Fälle wurden aufgrund der repräsentativen Morphologie der Fremdkörperverteilung entlang des Schusskanals ausgewählt.

Die Literaturrecherche erfolgte in der deutschsprachigen und englischsprachigen Literatur über PubMed mit den Suchbegriffen „gunshot“, „wounds“, „bullet fragments“, „9 mm“, „ballistic“, „pmMSCT“ und deren deutschen Übersetzungen. Die letzte aktuelle Literatur wurde am 06.05.2019 recherchiert. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem MS Office Programm Excel über die Pivot Charts.

2.2 Experiment

Im zweiten Abschnitt der vorliegenden Arbeit wird der experimentelle Teil der Studie zur Veranschaulichung der Schussmorphologien mit Beobachtungsschwerpunkt auf Kopfschussverletzungen vorgestellt. Für vergleichende Untersuchungen wurde eine Versuchsreihe mit den vier in der Studie eingeschlossenen Munitionen durchgeführt. Hierzu wurden verschiedene Materialien zur Simulation der Konstellation eines menschlichen Schädels mit Weichteil-Knochen-Weichteil verwendet.

Die zu untersuchenden Parameter waren die Fragmentierung der Knochensimulanz sowie des Projektils, ihre Verteilung entlang des Schusskanals sowie die Einschussmorphologie der einzelnen Geschosse in Abhängigkeit ihrer Verformung und der Schussentfernung.

Die Schussversuche erfolgten in den Räumlichkeiten des Landeskriminalamtes Berlin (Tempelhofer Damm 12, 12101 Berlin) in Kooperation mit dem LKA KTI 31 unter Betreuung und Durchführung des Mitarbeiters Herrn Martin Gneißl.

2.2.1 Überblick

Vor den Hauptversuchen führten wir Vorversuche zu Eignungsprüfung der verwendeten Materialien durch.

Für die Simulation eines menschlichen Schädels wurde ein Verbundmodell aus ballistischer Gelatine als Hirnsimulanz, einem Knochensimulanz bestehend aus einer Epoxidharz-Aluminiumpulver-Mischung sowie einer frischen Schweineschwarte als Hautsimulanz erstellt. Dieses Verbundmodell wurde mittels aufgesetzter Schüsse, sowie mit Schüssen im Abstand von 2 mm mit den vier zu untersuchenden Munitionstypen beschossen.

Die Schüsse wurden durch eine Hochgeschwindigkeitskamera aufgenommen. Die anschließende computertomographische Untersuchung der Gelatineblöcke erfolgte im Institut für Rechtsmedizin der Charité. Für eine ununterbrochene Kühlung der Blöcke vor und nach dem Beschuss wurde Sorge getragen.

Um die Auswertung der zentralen Schussbruchlücken zu ermöglichen, wurden grobe Bruchstücke der Knochensimulanz aus der Gelatine freipräpariert und mit den jeweiligen Platten zusammengefügt.

2.2.2 Material

2.2.2.1 *Probematerial Vorversuche*

In den Vorversuchen wurden die Materialien erprobt, welche für die Hauptversuche vorgesehen waren. Die Materialien, welche sich nicht bewährten, wurden ausgetauscht und sind im Folgenden aufgeführt.

- Knochensimulanz: Platte aus Polyurethan (Dicke: 5 mm TYP RCT-PUR-D44-Standard Quality; Hersteller: THOMAPLAST Shore 80° +/- 5° (DIN 53505), 1,24 g / cm³ (DIN 53479)),
- Hautsimulanz: Teile einer Schweineschwarte vom frisch geschlachteten Hausschwein mit dünner oder fehlender Subkutis,
- Munition: .38 Special der Firma PPU (Prvi Partzian – Uzice).

2.2.2.2 Hautsimulanz

Die als Kopfschwartensimulanz verwendete Schweinschwarte stammte vom frisch geschlachteten Hausschwein (*sus scrofa domesticus*) und bestand aus Epidermis, Dermis und Subkutis. Die Schwarten wurden auf jeweils ca. 13 cm x 13 cm große Stücke geschnitten und waren im Einschussbereich im Mittel 4,35 mm dick.

2.2.2.3 Knochensimulanz

Hierzu wurde eine Epoxidharz-Aluminiumpulver-Mischung im Verhältnis 2:1 in 13 cm x 15 cm x 0,5 cm Formen gegossen. Dieses für Crashtest-Dummys verwendete Knochensimulanz wurde im Zuge von Materialversuchen der Technischen Universität Berlin, Fakultät Verkehrs- und Maschinensysteme Maschinenbau, von Mirko Knape [39] unter der Betreuung von Dr.-Ing. Michael Weyde vom Büro für Unfallrekonstruktion Priester und Weyde in Berlin erprobt und in mehreren Abschlussarbeiten geprüft. Die Zugabe von Aluminiumpulver verbessere laut *Knape* [39] zwar das Bruchverhalten und die Reproduzierbarkeit der mechanischen Knocheneigenschaften, verringere jedoch die Zug- und Biegefestigkeit des Epoxidharzes. Das Aluminiumpulver erhöhte die Röntgendichtigkeit des Knochensimulanz, sodass dieses in CT-Untersuchungen eine bessere Sichtbarkeit aufweist.

2.2.2.4 Weichteilsimulanz

Als Zielmedium wurde ein zehnprozentiger Gelatineblock mit den Abmessungen 26 cm x 17,5 cm x 13,5 cm hergestellt. Die Höhe der Blöcke variierte zwischen 13,2 cm und 13,9 cm. Es wurde ballistische Gelatine Typ A 300 Bloom des Herstellers TMP Products verwendet. Die Blöcke wurden zusätzlich mit 1,2 g des Konservierungsmittels 2-Phenylphenol versehen, dies entspricht 0,02 % der Gesamtmasse der Gelatineblöcke. Die Beschussversuche wurden direkt nach Entnahme des Gelatineblocks aus dem Kühlschrank durchgeführt, welcher eine Temperatur von 3,5 - 4 °C aufwies.

2.2.2.5 Schusswaffen

Der Beschuss erfolgte mit zwei verschiedenen Faustfeuerwaffen. Dabei wurde eine P6 von SIG Sauer für die Munition mit dem Kaliber 9 mm Luger sowie Action 4 Munition verwendet und ein Revolver von Smith & Wesson in den Kalibern .38 Special sowie .357 Magnum.

Pistole SIG Sauer Mod. P6

Diese Waffe (Abb.4 und 5) ist eine Dienstvariante der P225 (aus der SIG-P220-Serie) der deutschen Polizei. Diese Modellvariante ist an der Ausfräsung des Schlaghebels zu erkennen, der bei einem Schlag oder Fall der Waffe auf das Schlagstück deformiert und somit eine Schädigung anzeigt. Zusätzlich besitzt sie einen höheren Abzugswiderstand. Das einreihige Magazin fasst acht Patronen des Kalibers 9 x 19 mm. Der Drall des 98 mm langen Laufes ist rechtsgerichtet und besteht aus sechs Zügen und Feldern [40].



Abbildung 4) Seitenansicht SIG Sauer Mod. P6; Quelle: LKA Berlin KT 14.

Abbildung 5) Waffenmündung SIG Sauer Mod. P6. Die untere, kleinere Öffnung ist die Stirnseite der Federführungsstange, auf welcher die Feder sitzt, welche entstehenden Druck in Systemen mit abklappbaren Läufen abfängt. Hier treten keine Gase aus; Quelle: LKA Berlin KT 14.

Revolver Smith & Wesson Mod. 686

Das Modell 686 der Firma Smith & Wesson (Abb. 6 und 7) verfügt über einen Single Action/Double Action-Abzug. Die Lauflänge beträgt 152 mm und weist fünf Felder und Zügen mit einem Rechtsdrall auf. Die Trommel fasst sechs Patronen und dreht sich nach links [40]. Der Trommelspalt beträgt 0,1 mm. Es ist möglich mit dieser Waffe Projektile der .357 Magnum und .38 Special- Munition zu verschießen (siehe Kapitel 1.2.4.4).



Abbildung 6) Seitenansicht Smith & Wesson Mod. 686; Quelle: LKA Berlin KT 14.

Abbildung 7) Waffenmündung Smith & Wesson Mod. 686; Quelle: LKA Berlin KT 14.

2.2.2.6 Munition

Tabelle 2 zeigt die für die Studie ausgewählten und verwendeten Geschosse.

KALIBER	9 MM LUGER	ACTION 4	.38 SPECIAL	.357 MAGNUM
Nennkaliber	9 x 19 mm	9 x 19 mm	9 x 29 mm	9 x 33 mm
Geschoss- gewicht	8 g	6,1 g	10,2 g	10,2 g
Fabrikat	GECO	RUAG	Hirtenberger	GECO
Ummantelung	Vollmantel	Vollgeschoss	Teilmantel	Teilmantel
Geschosspitze	Rundkopf	Hohlspitze mit Kunststoffkappe	Flachkopf	Flachkopf
v3 [m/s]	330,86	394,33	325,44	374,17
E3 [J]	438,18	474,35	540,30	714,16

Tabelle 2) Übersicht der verwendeten Geschosse. v3 = Geschwindigkeitsmessung 3 m ab Laufmündung; E3 = Geschossenergie 3 m ab Laufmündung. Mittelwerte aus einer Schussserie mit fünf Schüssen pro Munitionstyp.

2.2.2.7 Lichtschranke

Die Messung der Geschwindigkeit erfolgte mit der IR Präzisionslichtschranke LS 23 mit einer Messbasis von 1000 mm. Die Messungen erfolgten in einem Abstand von drei Metern zur Laufmündung. Ferner wurde mit dem Auswerterechner IM 8500-1 sowie der Software INLOC 2040-2, Version 2.0.0.0 gearbeitet.

2.2.2.8 Hochgeschwindigkeitskamera und Zubehör

Die Videodokumentation erfolgte mit einer Photron FASTCAM SA-X. Die Videos wurden mit einer Bildrate von 40000 fps (frames per second) und einer Belichtungszeit von 1/100000 s aufgenommen. Als Software für die Kamerasteuerung wurde der Photron FASTCAM Viewer 3.3.4 verwendet. Für ausreichend Beleuchtung sorgten zwei Dedolight Leuchten mit je 400 W, eine Tageslichtleuchte VD705 mit 700 W sowie ein Stufenlinsenscheinwerfer mit 2000 W.

2.2.2.9 Computertomograph und Auswertungsprogramm

Die Schnittbildgebung der Obduktions-Fälle sowie der Gelblöcke der Schussversuche fand im Institut für Rechtsmedizin der Charité mit einem 16-zeiligen Computertomographen Toshiba Activion der Toshiba Medical Systems GmbH, Neuss, Germany statt. Die gemessene Schichtdicke betrug 0,5 mm bei einer Überlappung von 0,3 mm. Die Auswertung erfolgte mit der geräteeigenen 3D-Software des verwendeten CTs und der open-source image processing software OsiriX® 4.1.1 64 (2D- und 3D-Rekonstruktion) durch die jeweiligen Obduzenten und der Autorin.

2.2.2.10 Feinwaage

Mit der geeichten und qualifiziert kalibrierten Feinwaage UniBloc AUW 320V SHIMADZU (e = 1 mg; d = 0,1 mg) wurden das Konservierungsmittel sowie die Projektile gewogen.

2.2.3 Methodik

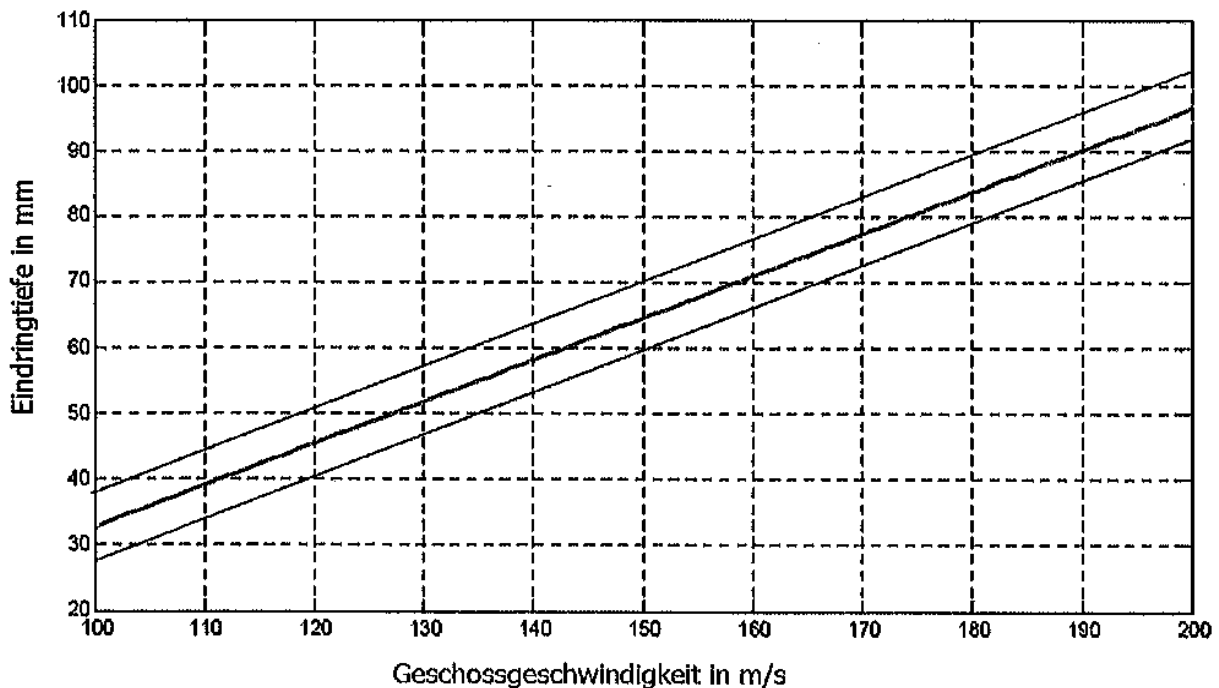
2.2.3.1 Zubereitung der ballistischen Gelatine

Die Zubereitung der Gelatineblöcke erfolgte gemäß der vom Bundeskriminalamt zur Verfügung gestellten Anleitung (siehe Anhang 1).

Es wurden Blöcke in einem Mischungsverhältnis von 1:10 angefertigt. Dafür wurden 600 g Gelatinepulver in sechs Liter Wasser gegeben, welches ca. 60°C heiß war. Überdies wurde zum Erreichen einer längeren Haltbarkeit der Blöcke 1,2 g des Konservierungsmittels 2-Phenylphenol hinzugegeben. Es wurde mit einer Bohrmaschine mit Rührvorrichtung (linksdrehend) gerührt, bis sich das Granulat im Wasser vollständig gelöst hatte. Anschließend wurde die homogene Lösung in eine Form (eckige Kunststoffeimer, 6,2 l, lebensmittelgeeignet; Außenmaße: 286 mm x 198 mm x 160 mm) gefüllt und mit einer Kelle überschüssiger Schaum abgeschöpft. Die Gelatineblöcke wurden etikettiert und kühlten für ca. 24 h bei Raumtemperatur ab. Anschließend wurde sie im Kühlschrank bei 4-6 °C für mind. 24 h gekühlt, ehe sie beschossen wurden.

2.2.3.2 Festigkeitsprüfung der Gelatineblöcke

Hierzu wurde mit einer Stahlkugel aus einer Druckluftwaffe auf einen bereits verwendeten Gelatineblock geschossen. Anhand der Eindringtiefe der Kugel wurde anhand der Grafik 2 geprüft, ob sich die Festigkeit der Gelatine im Toleranzbereich befindet. Mit einer Eindringtiefe von ca. 12 cm bei 182 m/s mit einer Stahlkugel des Durchmessers 4,4 mm, lag der verwendete Gelatineblock zunächst über dem Toleranzbereich. Die passende Festigkeit wurde durch ein Senken der Lagerungstemperatur (auf 3,5 °C) und somit der Beschusstemperatur erreicht.



Grafik 2) Festigkeitsprüfung der ballistischen Gelatine (siehe Anhang 1); Quelle: BKA.

2.2.3.3 Herstellung des Verbundmodells

Die Zusammensetzung der einzelnen Komponenten erfolgte unmittelbar vor dem Beschuss vor Ort. Hierzu wurde der gekühlte Gelatineblock aus seiner Form gestürzt und an dessen Stirnseite (Einschussseite) die Knochensimulanz angelegt, welche zuvor durch ein Etikett gekennzeichnet wurde. Der Zuschnitt der Schweineschwarte wurde mit einem Permanent-Marker mit den Angaben „oben/unten“ und der Versuchsnummer gekennzeichnet. Anschließend wurde die Schwarte vor die Knochensimulanz gelegt und die Materialien mit selbsthaftender Frischhaltefolie umwickelt. Es wurde darauf geachtet, dass die Materialien weitestgehend lückenlos miteinander verbunden waren und keine Folie vor dem Aufnahmebereich der Kamera lag. Zuletzt wurde eine 5 cm x 5 cm große Fläche der Folie direkt vor dem Einschuss mittels Einmalskalpell herausgeschnitten, sodass das Projektil kein Fremdmaterial durchschlagen musste. In Abbildung 8 ist das unbeschossene Verbundmodell dargestellt.

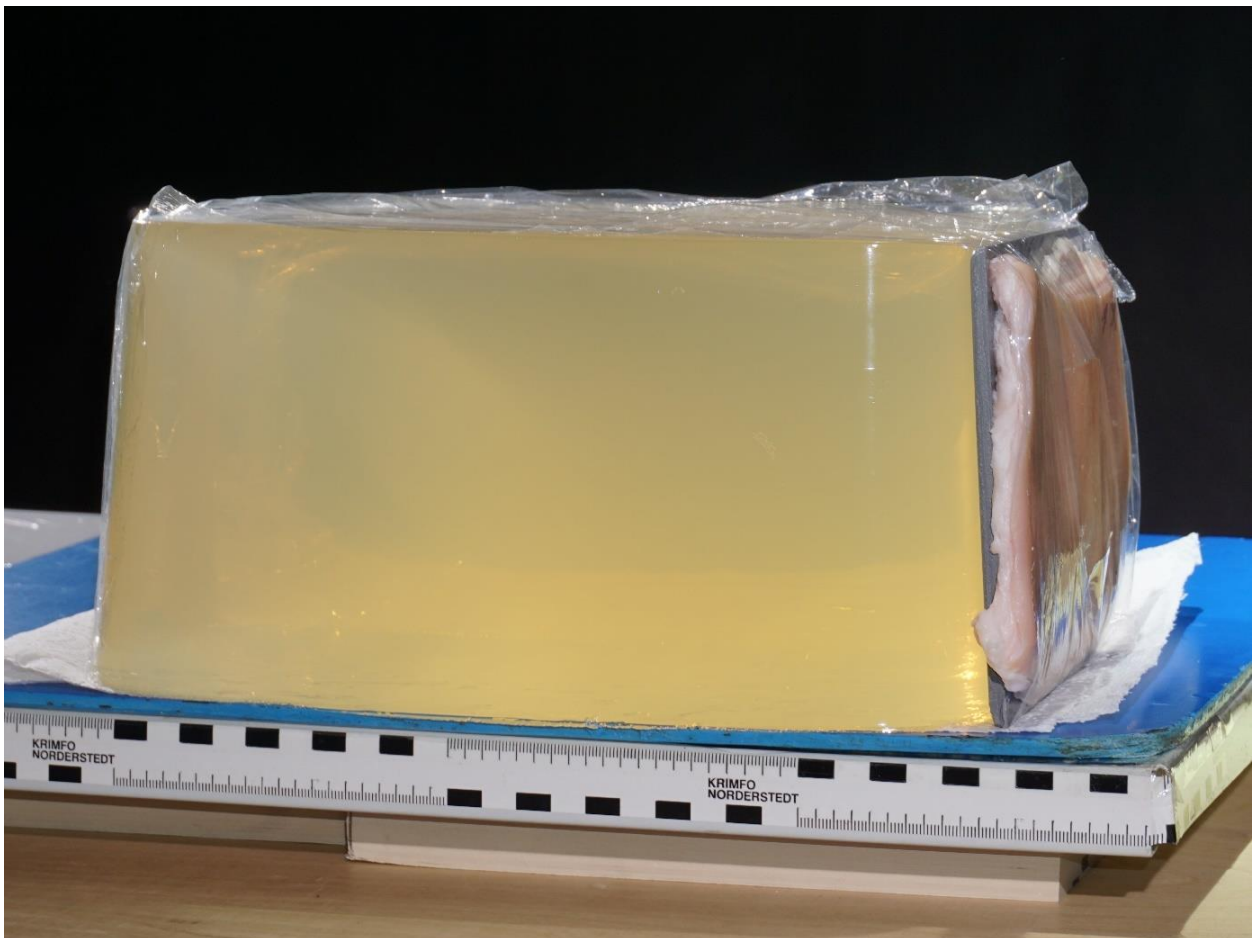


Abbildung 8) Das unbeschossene Verbundmodell; Quelle: Institut für Rechtsmedizin der Charité.

2.2.3.4 Beschuss

Die Schussversuche fanden im Schießkeller des Landeskriminalamtes Berlin (LKA Berlin) statt. Vor der Versuchsreihe fand eine Geschwindigkeitsmessung der verwendeten Munition statt. Das Verbundmodell wurde längsseitig vor einem schwarzen Hintergrund vor der Hochgeschwindigkeitskamera positioniert und mit Scheinwerfern ausgeleuchtet. Zwischen der Kamera und dem Modell befand sich zum Schutz der Kamera eine Plexiglasscheibe. Als Geschosssfang diente eine mit ballistischer Watte gefüllte Kiste aus festem Karton. Der Schuss erfolgte direkt auf die Schweineschwarte. In Abbildung 9 ist der Versuch bei der unmittelbaren Durchführung dargestellt.

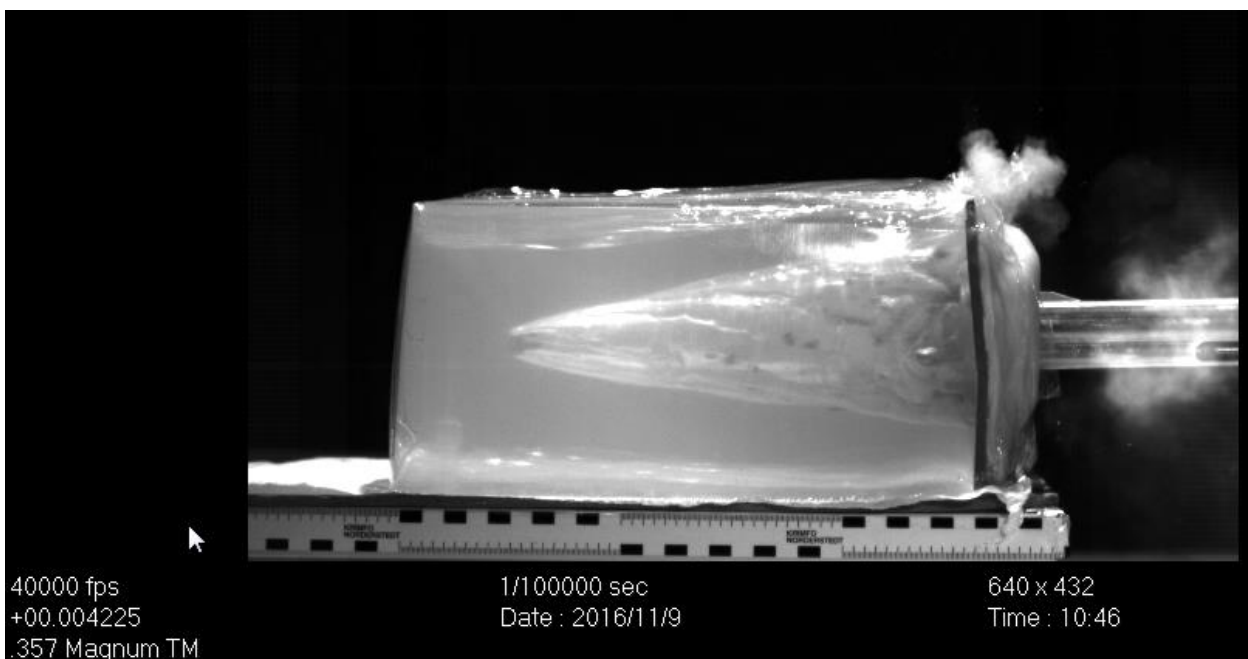


Abbildung 9) Schuss Nr. 10, .357 Magnum; Quelle: M. Gneiße, LKA Berlin.

2.2.3.5 Versuchsserien

Es wurden insgesamt zwölf Gelatineblöcke beschossen. Die Schüsse erfolgten in der Reihenfolge 9 mm Luger, Action 4 mit der Pistole P6 (SIG Sauer) und anschließend .38 Special und .357 Mag mit dem Revolver Mod. 686 (S&W) in einer Serie von jeweils drei Schüssen. Davon erfolgte mindestens jeweils ein Schuss aufgesetzt und ein Schuss im Abstand von ca. 2 mm.

2.2.3.6 Auswertung

Projektile, Schweineschwarte, Knochensimulanz und Gelatineblock wurden einzeln ausgewertet. Die Auswertung erfolgte anhand festgelegter und im Folgenden beschriebener Parameter und wurde tabellarisch erfasst.

Die *Projektile* wurden gewogen und in ihrer Form beschrieben.

Die *Schweineschwarte* (Abb. 10) wurde auf das Vorhandensein von Nahschusszeichen (Stanzmarke, Schmauch und Treibladungspulverreste) geprüft. Alle Vorgänge wurden fotodokumentiert.

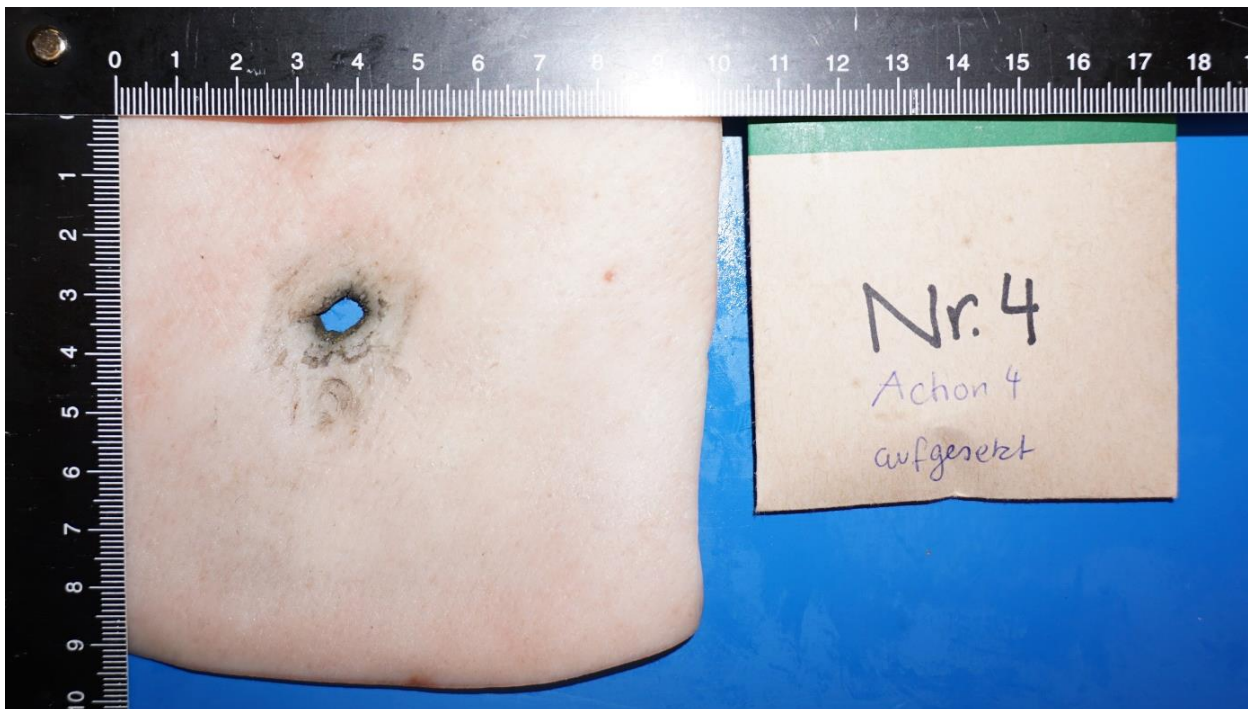


Abbildung 10) Einschussseite der Schweineschwarte, aufgesetzt, angedeutete Stanzmarke zu erkennen; Schuss Nr. 4, Action 4 Munition, Waffe: SIG Sauer P6; Quelle: Institut für Rechtsmedizin der Charité.

Zu den Auswertungsparametern der *Knochensimulanz* zählten ebenfalls Größe und Form des Einschusses, sowie die trichterförmige Erweiterung in Richtung des Schusses und die entstandenen Bruchlinien. Für die Auswertung wurden in einem ersten Schritt die einzelnen Bruchstücke wie ein Puzzle zusammengefügt und mittels eines Holzleimes verbunden. Anschließend erfolgten die Messungen. Grobe verschleppte Bruchstücke aus der Einschussregion, die in den Wundkanal gelangt waren, wurden in einem zweiten Schritt freipräpariert und den Platten hinzugefügt um die kleinste bzw. definitive Größe der Schussbruchlücke hinreichend sicher zu ermitteln (siehe Abb. 11).

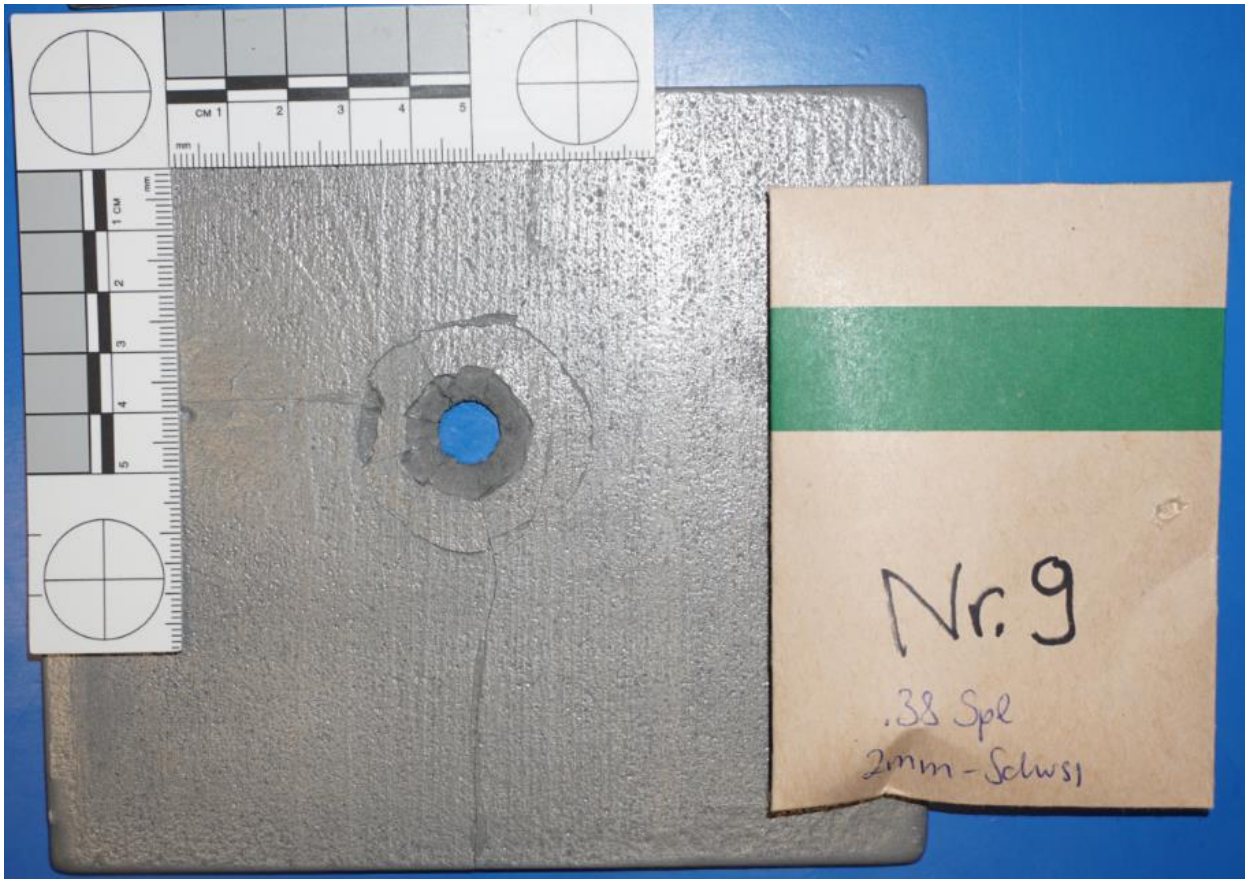


Abbildung 11) Rückseite der Knochensimulanz; Schuss Nr. 9, .38 Special Munition; Schuss aus 2 mm Entfernung; Schusskanal rekonstruiert; Quelle: Institut für Rechtsmedizin der Charité.

Die Auswertung der *Gelatineblöcke* erfolgte anhand der nach dem Schuss angefertigten computertomographischen Schnittbilder. Dazu zählten neben der Länge des Schusskanals vor allem die Verteilung der Fragmente der Knochensimulanz und des Projektils. Die klare Differenzierung der Knochensimulanz- von den Projektilpartikeln oder sonstigen Fremdkörpern gelang anhand der unterschiedlichen Dichte (gemessen in Hounsfield-Einheiten⁵), welche im CT in verschiedenen Graustufen dargestellt werden. Zur Beurteilung der Verteilung der Fragmente im Schusskanal wurde dieser im Horizontalschnitt virtuell gedreht und das Vorhandensein der Knochen- und Projektilfragmente anhand einer Ordinalskala kategorisiert (+++, ++, +, -).

Ferner wurde die Streuung der Fragmente in der Frontalansicht ausgewertet. Dazu wurde die Fläche der sich um den Einschuss verteilenden Partikel in der maximalen Intensitätsprojektion abgebildet, die äußersten Partikel digital über eine fortlaufende Linie

⁵ Graustufen, welche einer Gewebeart zugeordnet werden können. Nach dem englischen Elektrotechniker Godfrey Hounsfield (1919–2004) benannt.

miteinander verbunden und die Fläche errechnet, Abb. 13. Es wurden nur Partikel miteinbezogen, die größer als 1,5 mm waren (siehe Abb. 12 und 13).

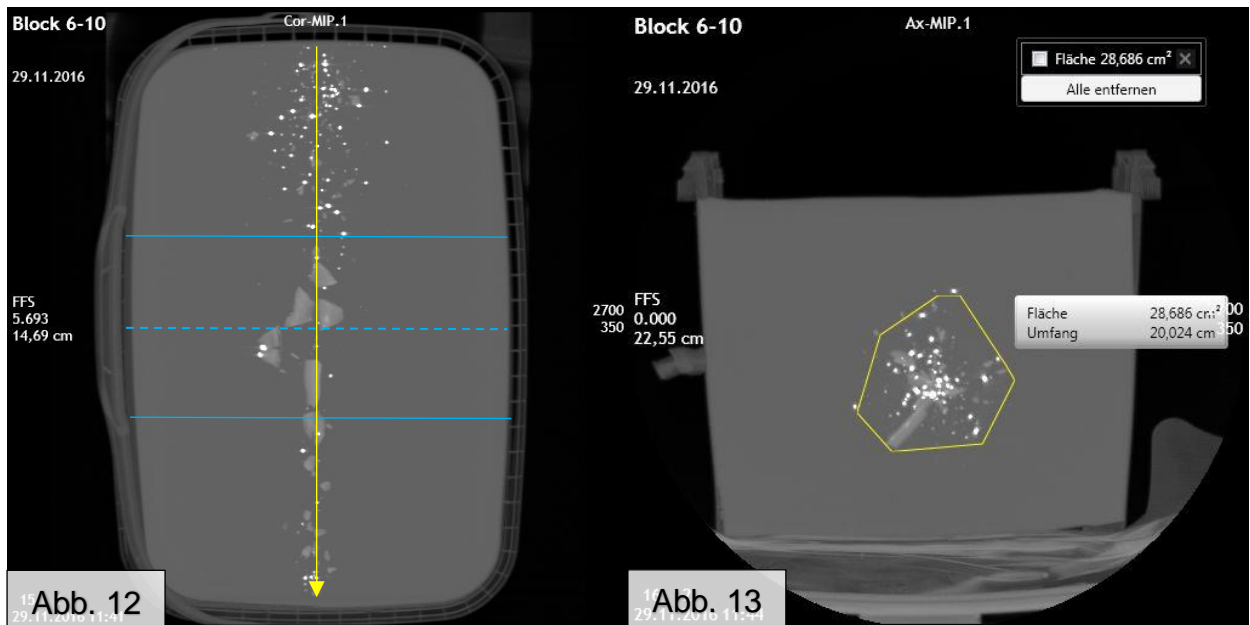


Abbildung 12) Horizontalschnitt Block 10, .357 Magnum, Darstellung des Schusskanals (gelbe Linie). Die Länge des Schusskanals wurde gedrittelt (durchgezogene blaue Linien) und halbiert (gestrichelte blaue Linie); Quelle: Institut für Rechtsmedizin der Charité.

Abbildung 13) Querschnitt Block 10, .357 Magnum, virtuelle Flächenmessung der Fragmentverteilung (gelbe Linien); Quelle: Institut für Rechtsmedizin der Charité.

3 Ergebnisse

Zunächst werden die Ergebnisse der Analyse der im Studienzeitraum erfassten Realfälle vorgestellt, bei denen Schüsse mit dem Kaliber 9 mm beobachtet wurden. Angesichts der Eingangshypothese, welche charakteristische morphologische Unterschiede in der pmMSCT komplementär zur Obduktion der einzelnen Munitionen insb. bei Schussverletzungen des Kopfes erwartet, bilden die Kopfschussverletzungen ein gesondertes Kollektiv, welches separat analysiert wurde. Anschließend werden die experimentell erfassten Daten der Schussversuche sowie deren computertomographische Analyse beschrieben.

3.1 Ergebnisse der Datenanalyse

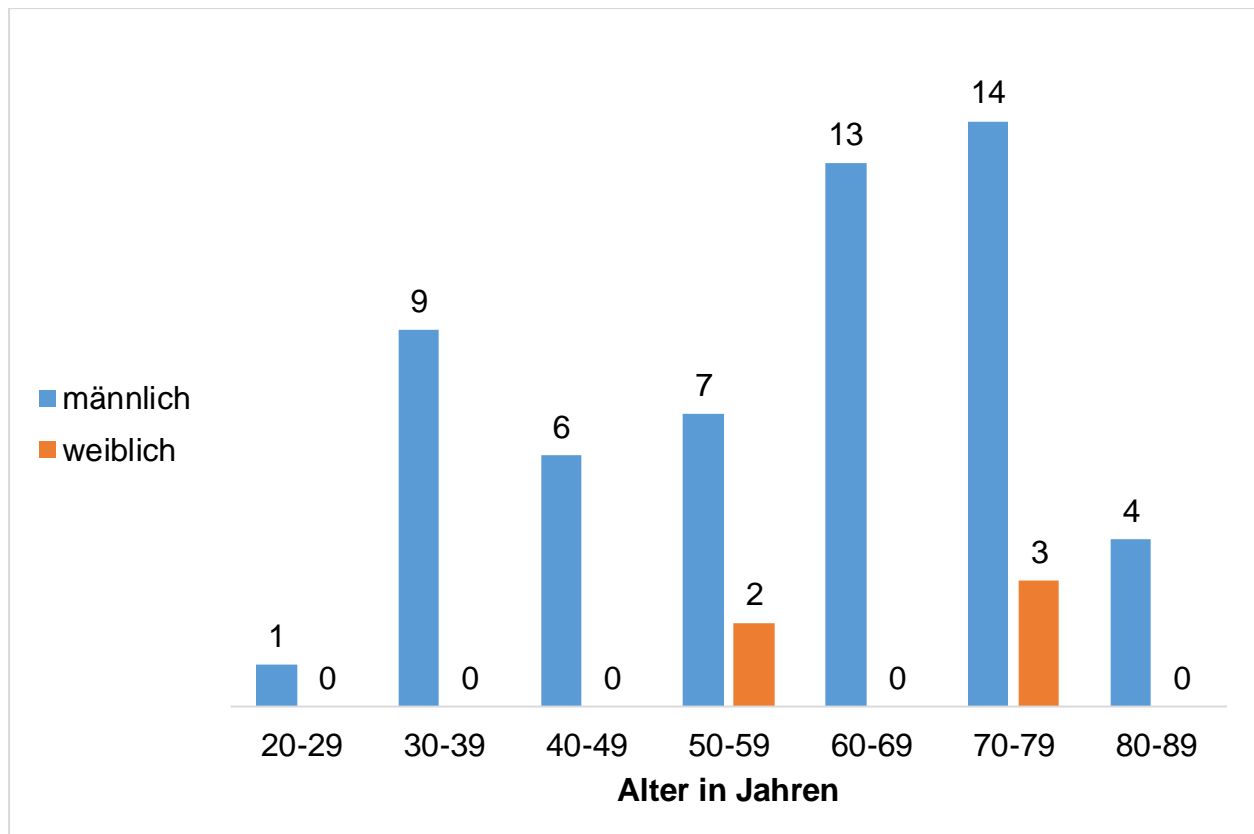
In der retrospektiven Auswertung des Sektionsgutes des Instituts für Rechtsmedizin der Charité im Zeitraum 01.06.2007 bis 31.10.2014 (7421 Fälle) wurden 115 (1,5 %) Sektionsfälle identifiziert, bei denen mindestens eine Schussverletzung zum Tode geführt hat. Davon wurden 59 (51,3 %) Fälle mit insgesamt 64 Schüssen allein dem Kaliber 9 mm zugeordnet und in die Studie eingeschlossen.

3.1.1 Zusammenfassung aller Fälle

Im Folgenden werden die selektierten 59 Realfälle genauer betrachtet. Hierbei wird der Fokus auf die epidemiologischen Daten, die zum Zeitpunkt des Todes dokumentierten Fallumstände sowie Details zu den verwendeten Waffen und Munitionen gelegt.

3.1.1.1 Epidemiologische Daten

54 (91,5 %) der insgesamt 59 Betroffenen waren männlichen und 5 (8,5 %) weiblichen Geschlechts. Das mittlere Alter zum Zeitpunkt des Todes lag bei 60 Jahren, wobei das Minimum 27 Jahre und das Maximum 86 Jahre beträgt.



Grafik 3) Altersverteilung der Schusstodesfälle.

Wie in Grafik 3 dargestellt, wurden im untersuchten Kollektiv als anzahlstärkste Gruppe, die ($n = 17$; 28,8 %) Personen mit Schussverletzungen im Alter zwischen 70 und 79 Jahren, bzw. mehr als die Hälfte aller Schussverletzungen ($n = 30$; 50,8 %) im Alter zwischen 60 und 79 Jahren beobachtet.

Das mittlere Alter der Männer lag bei 60 Jahren (Minimum 27, Maximum 86, ± 16 SD). Das mittlere Alter der Frauen lag bei 66 Jahren (Minimum 53, Maximum 75, $\pm 17,7$ SD).

3.1.1.2 Fallumstände

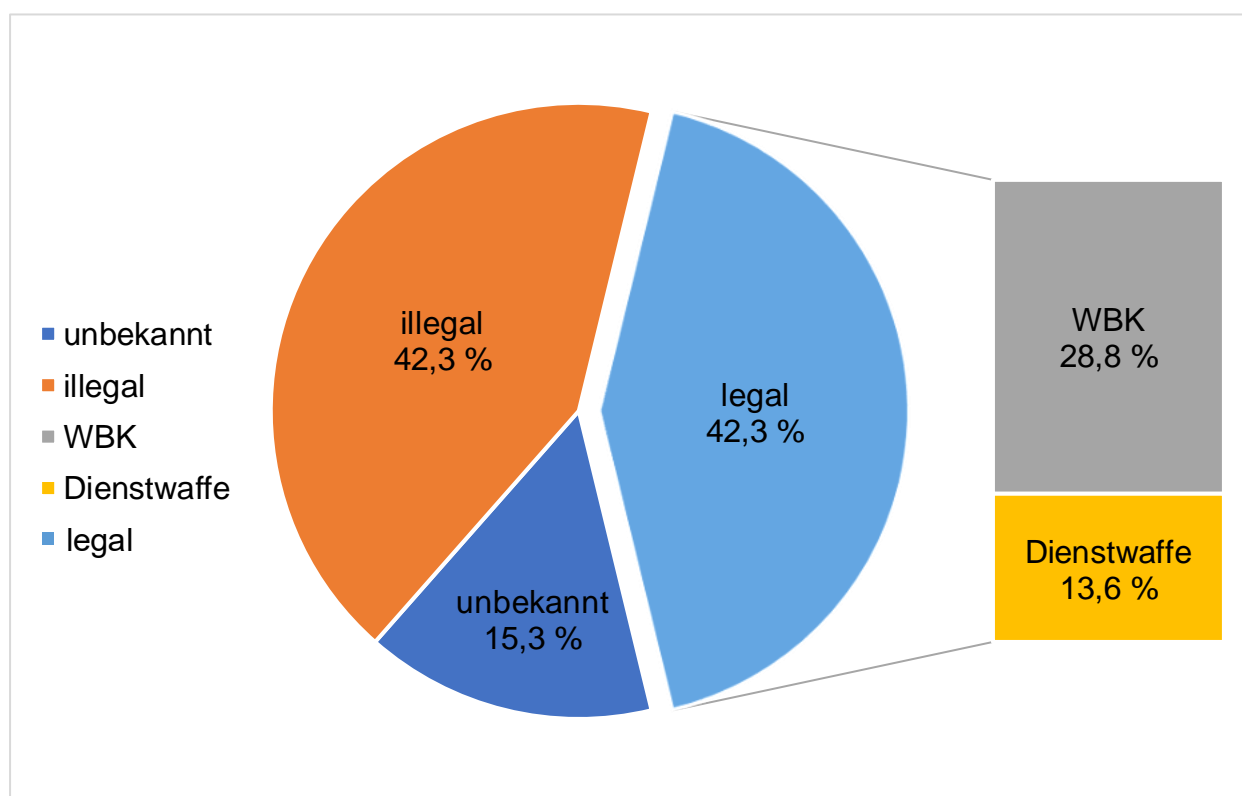
In allen Fällen ließen sich die Todesumstände klären. In fünf Fällen lag eine zweifache Schussabgabe vor. Die meisten Schussabgaben erfolgten in suizidaler Intention (88,1 %; $n = 52$). Homizidale Tötungen (6,8 %; $n = 4$) und Schüsse in Notwehr (5,1 %; $n = 3$) ereigneten sich deutlich seltener. Im Studienzeitraum konnte keine Tötung durch ein Unfallgeschehen identifiziert werden.

Frauen (n = 3) waren in Bezug auf Fremdtötungen mit 75 % am häufigsten betroffen, wobei alle drei erfassten Fälle im Kontext einer Tötung auf Verlangen⁶ stattfanden. Nur eine Frau beging Suizid und eine weitere Frau wurde in Notwehr erschossen. In Tabelle 3 sind die Fallumstände in Bezug auf das Geschlecht und die Anzahl der abgefeuerten Schüsse dargestellt.

	Anzahl (n)	Geschlecht		Schussabgabe	
		Männer	Frauen	einfach	zweifach
Suizid	52	51	1	50	2
Tötung	4	1	3 ¹⁾	2	2
Notwehr	3	2	1	2	1
	59	54	5	54	5

Tabelle 3) Fallumstände der Todesfälle. ¹⁾ Tötung auf Verlangen.

3.1.1.3 Legalität der Waffe

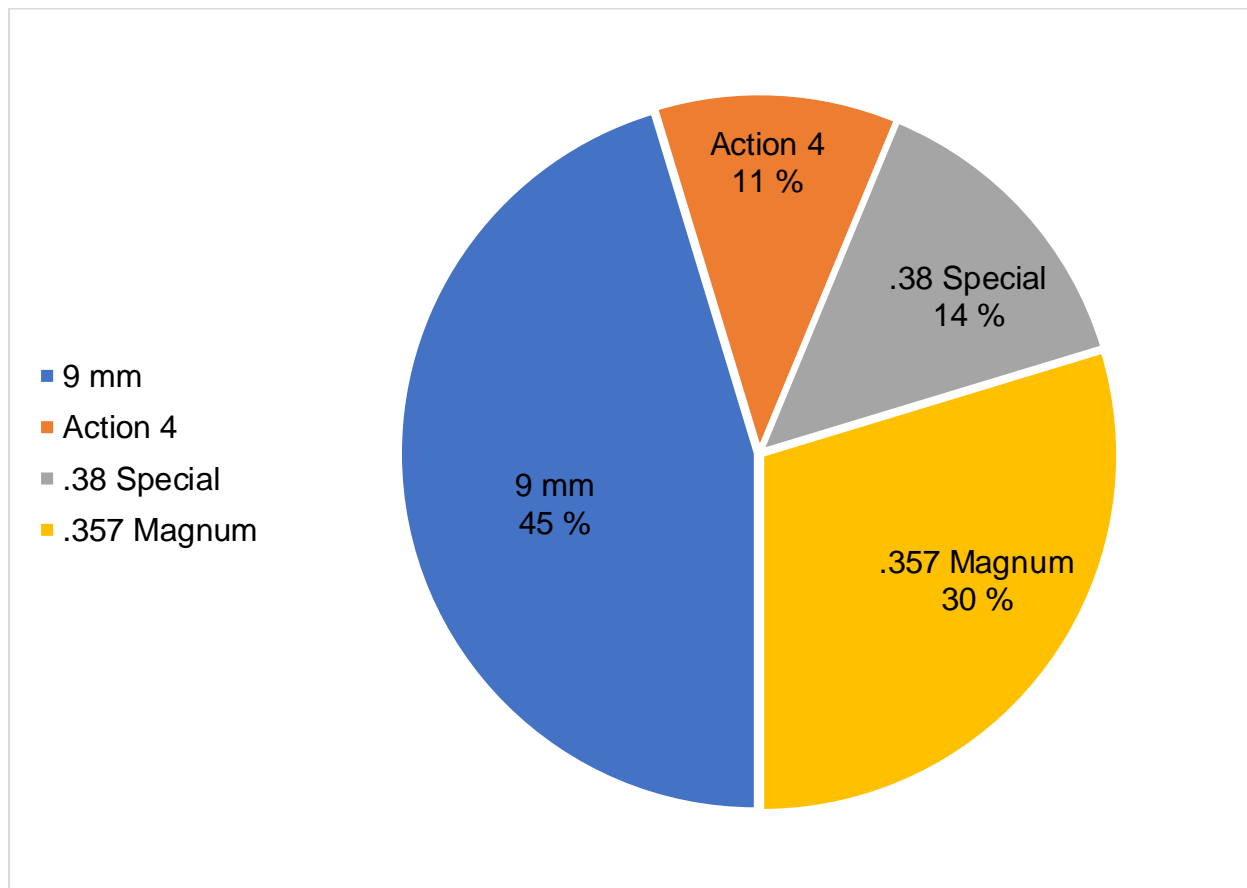


Grafik 4) Legalität der Waffe. WBK steht abkürzend für Waffenbesitzkarte.

⁶ Tötung einer Person mit dessen Einverständnis.

In Grafik 4 werden die Legalität der Waffe und die Berechtigung des Waffenträgers dargestellt. Legale und illegale Waffen wurden zu gleichen Teilen verwendet (jeweils 42,3 %; n = 25). Bei 15,3 % (n = 9) konnte die Herkunft der Waffe nicht festgestellt werden oder wurde in den Polizeiberichten nicht erwähnt. Die legalen Waffen wurden entweder von rechtmäßigen Waffenbesitzkarteninhabern (28,8 %; n = 17), welche entweder Jäger oder Sportschützen waren oder von Dienstwaffenberechtigten (13,6 %; n = 9) eingesetzt. Die Dienstwaffenberechtigten dieser Studie waren ausschließlich Polizeibeamte, welche bis auf einen, mit Dienstwaffen und Dienstmunition (Action 4) schossen.

3.1.1.4 Verwendete Munition



Grafik 5) Anteilig verwendete Munition.

Grafik 5 zeigt die anteilige Verwendung der vier verschiedenen Munitionsarten, welche in die Studie eingeschlossen wurden. Hier zeigt sich, dass die klassische 9 mm Luger am häufigsten Verwendung fand (45 %).

3.1.1.5 Kalibrigkeit des Einschusses der Haut

Bei der Auswertung der Größe der 64 Einschussverletzungen (54 Einzeleinschüsse und fünf doppelte Einschüsse) der Haut wurde zwischen unterkalibrig und überkalibrig unterschieden. Neben neun (14,1 %) nicht eindeutig dokumentierten Einschussgrößen war nur eine (1,5 %) exakt kalibergroß (= 9 mm). Der überwiegende Teil stellte sich als überkalibrig (> 9 mm) heraus (70,3 %; n = 45) und neun (14,1 %) Einschüsse als unterkalibrig (< 9 mm). Die kleinste Einschusslücke maß 5 mm und die größte 80 mm. Hierbei erfolgte keine Differenzierung der Schussentfernung.

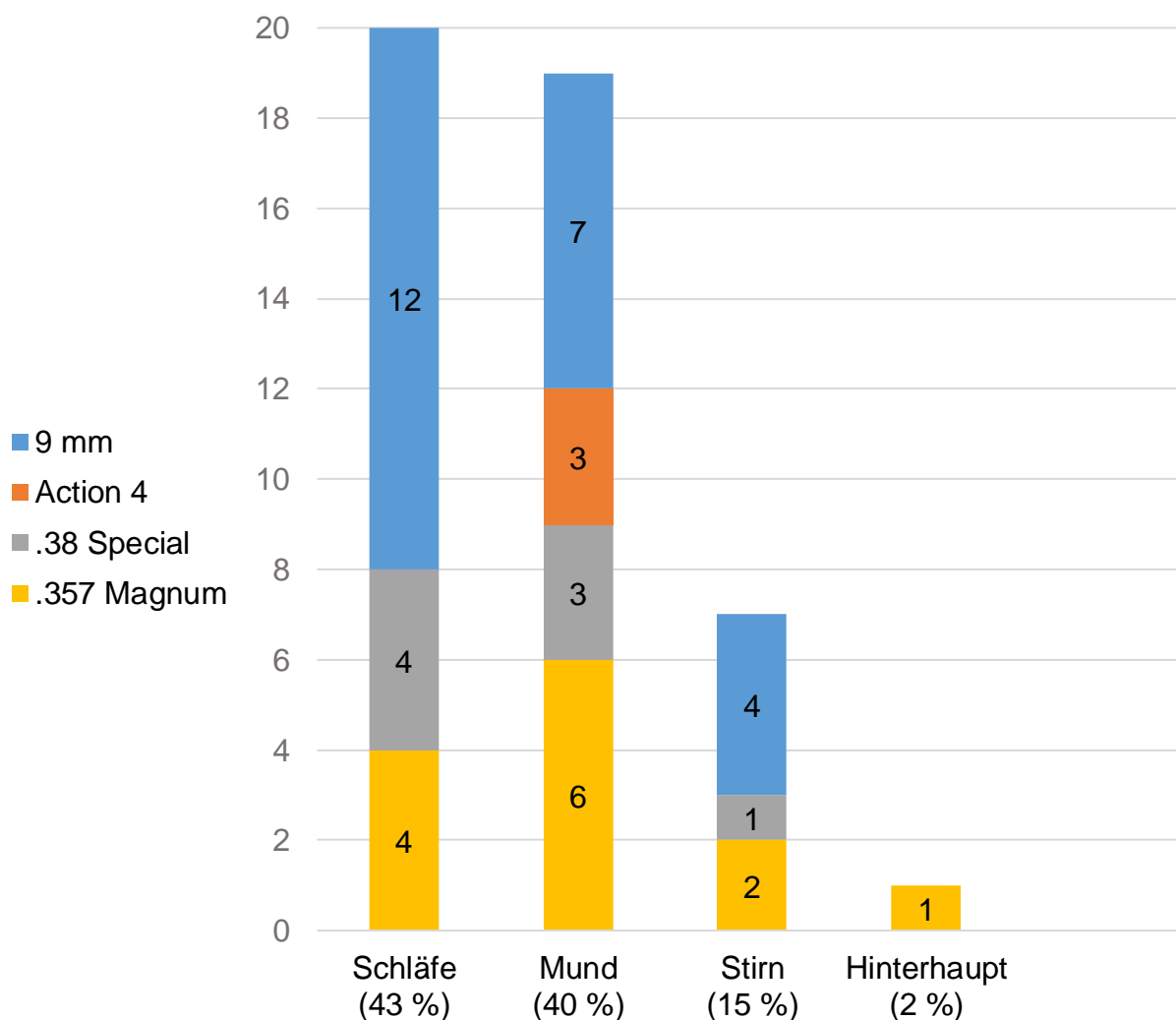
3.1.1.6 Sofortdiagnose

Die Wahl des Einschussortes hing stark von der Intention des Schützen ab. Die Schüsse in Notwehr wurden vor allem rumpfzentriert abgefeuert. Das männliche Homizidopfer wurde durch Durchschüsse je in die Brust und in den Hals getötet. Die suizidalen inkl. der Schüsse, die Tötung auf Verlangen betrafen, trafen primär lebenswichtige Organe (Hirn, Herz und Halsschlagader).

Von insgesamt 64 Schüssen galten 47 (73,4 %) dem Kopf, wobei 40 (62,5 %) Schüsse direkte Durchschüsse und sieben (10,9 %) Steckschüsse waren. Die restlichen Schüsse betrafen in absteigender Reihenfolge die Brust (14,1 %; n = 9 Durchschüsse und 4,7 %; n = 3 Steckschüsse) den Bauch und Hals (jeweils 3,1 %; n = 2 Durchschüsse) sowie einen Unterarmdurchschuss (1,6 %; n = 1).

3.1.2 Ergebnisse der Kopfschussverletzungen

Grafik 6 zeigt einen Überblick der verwendeten Munition sowie der Einschusslokalisationen der Kopfregion.



Grafik 6) Einschusslokalisationen der Kopfschüsse.

Alle Kopfschüsse wurden in suizidaler Absicht abgegeben, welches auch die Tötungen auf Verlangen einschließt und betrafen hauptsächlich die Schläfe mit 20 Schüssen sowie den Schuss in den Mund (19 Schüsse). Stirnschüsse waren mit insgesamt sieben Vorkommnissen seltener und ein solitärer Hinterhauptschuss ereignete sich als Fremdtötung im Rahmen einer Tötung auf Verlangen.

3.1.2.1 Schussrichtung und Schussentfernung

Die Schussrichtung konnte in allen 47 Fällen eindeutig identifiziert werden. Schmauchspuren konnten in 31 (66 %) Fällen und Rückstände des unverbrannten Treibladungspulvers in 4 Fällen (8,5 %) autoptisch festgestellt werden. Im Bereich der Stirn/der Schläfe wurde in fünf Fällen eine Werkgartner'sche Stanzmarke gefunden. Insgesamt konnten alle Kopfschüsse bis auf einen, dem absoluten Nahschuss

zugeordnet werden. Der einzige relative Nahschuss wurde im Zusammenhang mit einer Tötung auf Verlangen beobachtet.

3.1.3 Munitionstypen im Einzelnen

Die Tabellen 4 - 10 und die Grafiken 7 - 9 fassen die Ergebnisse zu den einzelnen Munitionen bei den Kopfschüssen zusammen.

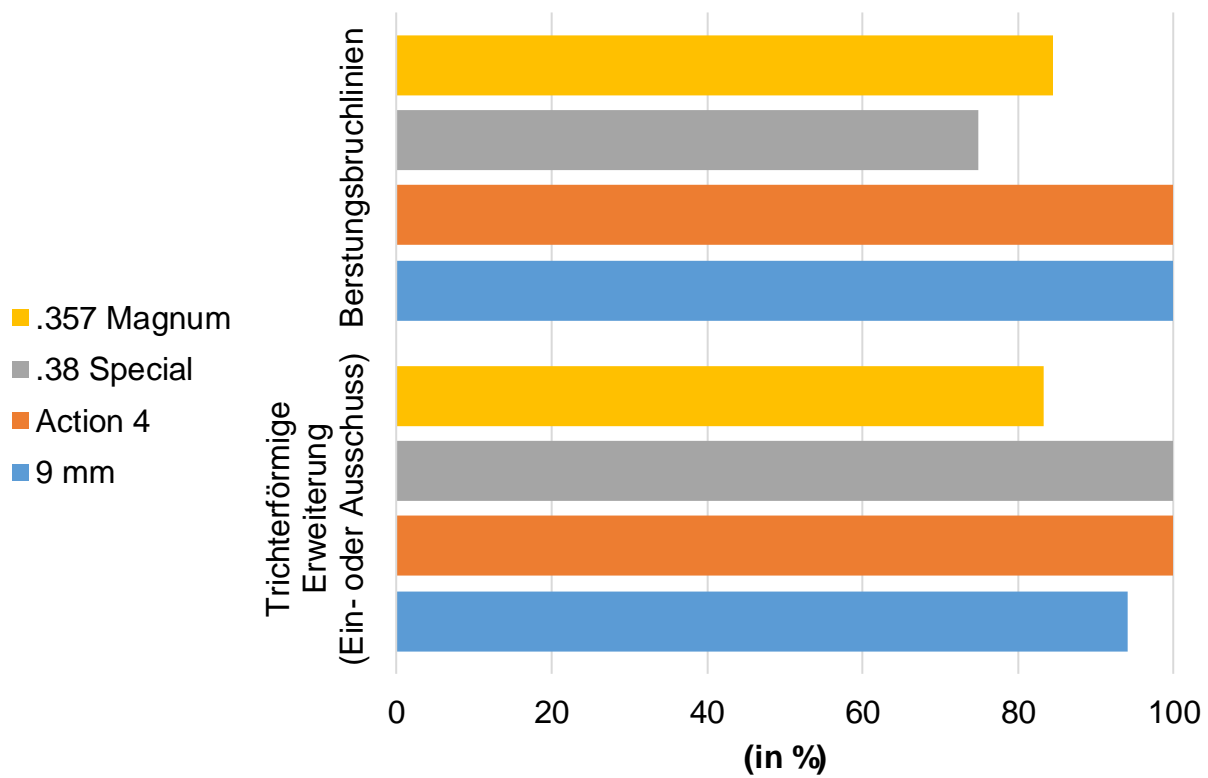
Tabelle 4 zeigt eine Übersicht der vier verschiedenen Munitionstypen mit Angaben zu Durch- oder Steckschuss, der Ummantelung und zum verwendeten Waffentyp.

	Anzahl (n)	Schuss		Geschoss			
		Durchschuss	Steckschuss	Vollmantel	Teilmantel	Vollgeschoss	unbekannt
9 mm	23	18	5	15	1		7
Action 4	3	3	1			3	
.38 Special	8	7	1	3	2		3
.357 Magnum	13	13		1	6		6
	47	40	7	18	9	3	16

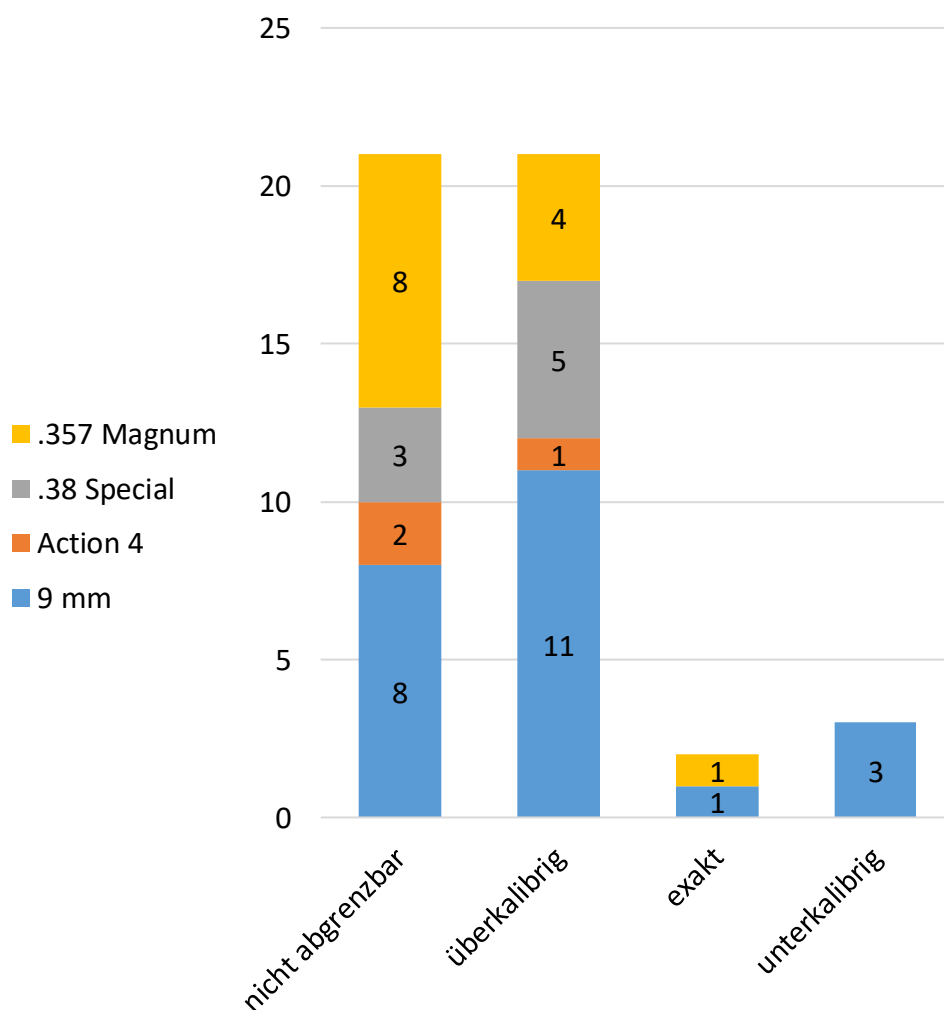
	Anzahl (n)	Waffe		
		Pistole	Revolver	Eigenbau
9 mm	23	20	2	1
Action 4	3	3		
.38 Special	8	2	6	
.357 Magnum	13		13	
	47	25	21	1

Tabelle 4) Übersicht der Munitionen in Bezug auf Schussverhalten, Ummantelung und Waffe.

Grafiken 7 und 8 geben Aufschluss über die Destruktionen des Hirnschädels durch den Schuss. Hierbei werden das Vorhandensein einer trichterförmigen Erweiterung in Schussrichtung, die Bruchlinien des Schädels sowie die Größe der Schussbruchlücken dargestellt.

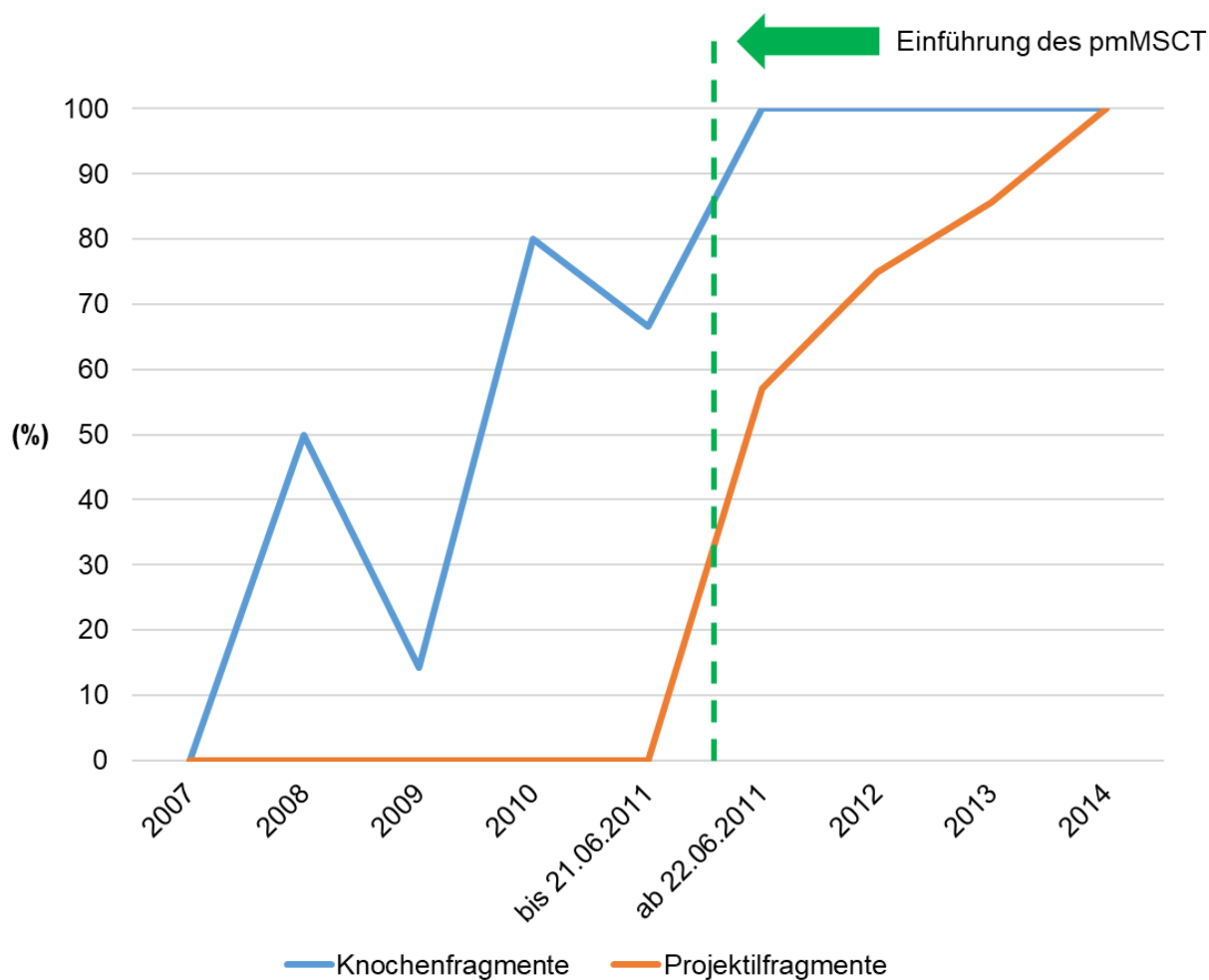


Grafik 7) Wundballistik Innen, Relative Häufigkeit der Ereignisse nach Kaliber.



Grafik 8) Aufteilung der Schussbruchlücken nach Kaliber.

In Grafik 9 wird gezeigt, inwiefern sich die Nachweisrate von Knochen- und Projektilfragmenten seit der Einführung der postmortalen Schnittbildgebung (pmMSCT) gesteigert hat. Vor der Einführung wurden insgesamt 23 und nach der Einführung 24 Kopfschüsse ausgewertet. Wurden bis 06/2011 nur in zwölf Fällen (52,1 %) Knochenfragmente autoptisch gefunden und beschrieben, so waren es nach der Einführung der pmMSCT unmittelbar 100 %. Bis zum Einsatz der pmMSCT wurde in keinem Fall Projektilfragmente detektiert und beschrieben. Ab 06/2011 war dies in zwei Dritteln der Fälle möglich. Das entspricht 16 von 24 Schüssen.



Grafik 9) Auffindungsrate der Knochen- und Projektilfragmente.

3.1.3.1 Teilmantel- und Vollmantelmunition

In den folgenden Tabellen 5 und 6 wird die Nachweisrate der Fragmente, ausschließlich in denjenigen Fällen, in denen Vollmantelmunition und Teilmantelmunition klar beschrieben werden konnten, dargestellt.

Vollmantel	Fälle insgesamt (n)	Knochenfragmente (n)	in %	Projektilefragmente (n)	in %
<i>vor pmMSCT-Einführung</i>	9	3	33	0	0
<i>nach pmMSCT-Einführung</i>	9	9	100	4	44

Tabelle 5) Vollmantelmunition; Auswertungen vor und nach pmMSCT-Einführung.

Teilmantel	Fälle insgesamt (n)	Knochenfragmente (n)	in %	Projektilefragmente (n)	in %
<i>vor pmMSCT-Einführung</i>	4	4	100	0	0
<i>nach pmMSCT-Einführung</i>	6	6	100	6	100

Tabelle 6) Teilmantelmunition; Auswertungen vor und nach pmMSCT-Einführung

In insgesamt 18 Fällen wurde Vollmantelmunition verwendet und in zehn Fällen Teilmantelmunition. Action 4 Munition fällt als Vollgeschoss in keine dieser Kategorien. In weiteren 16 Fällen wurde eine etwaige Ummantelung nicht beschrieben.

3.1.3.2 Serie 9 mm Luger

In insgesamt 23 Fällen der 47 Kopfschüsse konnte der Munitionstyp 9 mm Luger eindeutig identifiziert werden, welches ihn mit 49 % zu dem am häufigsten verwendeten Kaliber in diesem Kollektiv macht. Von allen Fällen in denen 9 mm-Luger-Patronen verwendet wurde, wurden zwölf auf die Schläfe, sieben durch den Mund und vier auf die Stirn abgefeuert.

Das 9 mm Vollmantelgeschoss wurde in 15 Fällen verwendet, Teilmantel kam nur einmal zum Einsatz und in sieben Fällen lag keine Dokumentation der Geschossummantelung vor. 73 % der Schüsse erwiesen sich als Durchschuss und bei 7 % handelte es sich um Steckschüsse. Als verwendete Waffe kam in 20 Fällen und damit am häufigsten eine Pistole zum Einsatz. Zweimal wurde ein Revolver und in einem Fall wurde ein Eigenbau als Waffe verwendet.

Bei Betrachtung der innenballistischen Merkmale konnten bei den meisten Schüssen an mindestens einem der Schussbruchlücken eine trichterförmige Erweiterung in Schussrichtung festgestellt werden. Berstungsbruchlinien des Schädelknochens wurden bei 100 % der 9 mm-Luger-Schüsse beobachtet.

Bei Verwendung von 9 mm-Luger-Geschossen zeigten sich bei den eingeschlossenen Fällen sowohl drei unterkalibrige (< 9 mm), eine exakt kalibergroße (= 9 mm) und elf überkalibrige (> 9 mm) Schussbruchlücken. Über weitere acht Schüsse lag hierzu keine verlässliche Angabe vor, da die Schusslücke jeweils so sehr geborsten war, dass keine Ränder für die Messung abgegrenzt werden konnten. Die Durchschnittsgröße der Lücken lag bei 11,2 mm, wobei 6 mm das Minimum und 18,7 mm das Maximum war. Die Standardabweichung lag bei 7,8 mm. Unterkalibrige Schussbruchlücken wurden bei den anderen betrachteten Munitionstypen nicht beobachtet.

In Tabelle 7 sind 23 Kopfschüsse mit 9 mm Luger in die Zeit vor und nach der Einführung der postmortalen Bildgebung eingeteilt. Dazu sind die in der Bildgebung und bei der Obduktion aufgefundenen Fragmente abgebildet. Es ist eine steigende Nachweisrate der Knochenfragmente und auch Projektilfragmente seit der Einführung der Schnittbildgebung erkennbar.

9 mm Luger	Fälle insgesamt (n)	Knochenfragmente (n)	in %	Projektilfragmente (n)	in %
<i>vor pmMSCT-Einführung</i>	12	5	42	0	0
<i>nach pmMSCT-Einführung</i>	11	11	100	3	27

Tabelle 7) 9 mm; Auswertungen vor und nach der pmMSCT-Einführung.

Im Folgenden wird ein repräsentativer Fall aus der Gruppe der 9 mm-Luger-Schüsse vorgestellt.

Fallvorstellung 1: 49 Jahre, männlich (414/14)

Der Betroffene, der laut Angaben des Polizeiberichtes an Panikstörungen und Depressionen litt, wurde an einem Strang hängend im Keller seines Wohnhauses aufgefunden. Zu seinen Füßen lag eine Pistole Browning Patent FE 9942 mit der er sich offenbar, bevor er in die Schlinge fiel, in den Kopf schoss. Somit lag in diesem Fall ein kombinierter Suizid vor. Die Schussrichtung und der gesamte Schusskanal konnten

mittels postmortaler Schnittbildgebung und klassischer Obduktion eindeutig identifiziert werden. Der Einschuss befand sich an der rechten Schläfe auf Höhe des Auges vor der Ohrmuschel und wies eine sternförmige Öffnung mit einem Durchmesser von 15 mm auf. Es war eine (Werkgartner'sche) Stanzmarke der Pistolenmündung zu erkennen. Der Schusskanal verlief geradlinig und absteigend durch das Großhirn. Die Länge betrug ca. 16,5 cm und endete an der linken Scheitelseite 1 cm über dem Ohr. Es wurde ein sich nach innen trichterförmig erweiterter Schussbruch im rechten Schläfenbein und ein nach außen trichterförmig erweiterter Ausschussdefekt im linken Scheitelbein beobachtet. Der Ausschuss zeigte sich an der Haut als ca. 12 mm langer adaptierbarer fetziger Defekt. Das Projektil konnte in der Umgebung des Betroffenen nicht aufgefunden werden. Die Art der Ummantelung konnte somit nicht sicher festgestellt werden.

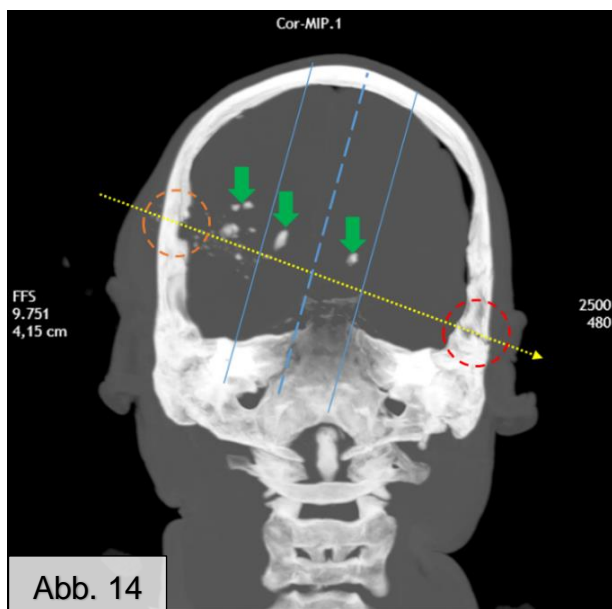


Abb. 14

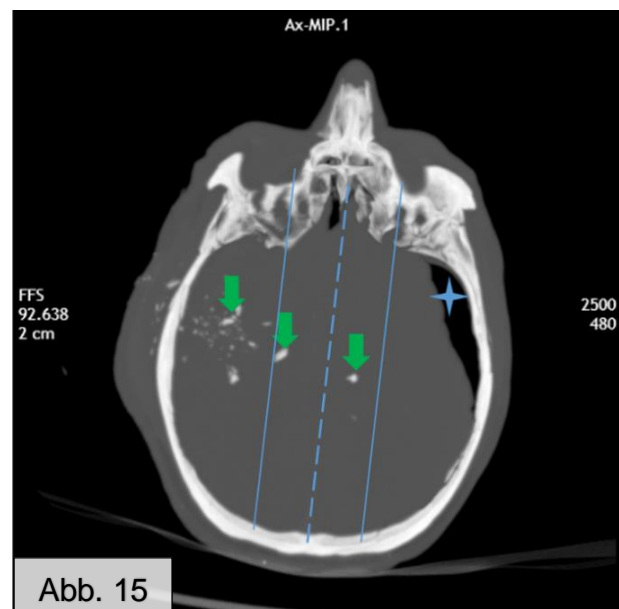


Abb. 15

Abbildung 14) Fallbeispiel 9 mm Luger, Frontalschnitt: Darstellung des Schusskanals (gelbe Linie) mit Knochenfragmenten (grüne Pfeile) sowie des Einschusses (orangefarbener Kreis) und des Ausschusses (roter Kreis). Die Länge des Schusskanals wurde zur Veranschaulichung gedrittelt (durchgezogene blaue Linien) und halbiert (gestrichelte blaue Linie). Luftsinschlüsse im Schädelinneren (blauer Stern), welche durch das postmortale Zurücksinken des Gehirns insb. bei traumatischer Belüftung entsteht. Quelle: Institut für Rechtsmedizin der Charité.

Abbildung 15) Fallbeispiel 9 mm Luger, Horizontalschnitt: Beschreibung siehe oben. Quelle: Institut für Rechtsmedizin der Charité.

In den postmortal angefertigten Abbildungen 14 und 15 ist zu sehen, dass sich im Schusskanal zahlreiche Knochenfragmente unterschiedlicher Größen befinden, welche bis über die Hälfte der Distanz des Schusskanals vorgedrungen sind. Der Hauptanteil

befindet sich im einschussnahen Drittel. Es finden sich keine Projektilfragmente im Schusskanal. Des Weiteren weist das Schädeldach eine Vielzahl von Brüchen auf.

3.1.3.3 Serie Action 4 Munition

Die Fallzahl dieser Munition beschränkt sich im untersuchten Kollektiv auf drei Ereignisse. Es handelt sich um Suizide dreier Polizeibeamter, die jeweils Dienstwaffen und Dienstmunition verwendeten. Die Schüsse wurden jeweils durch den Mund abgegeben und bewirkten zwei Durchschüsse und einen Steckschuss. Bei den Schädeldurchschüssen konnte die Schussrichtung durch eine nach außen gerichtete trichterförmige Erweiterung des Schussdefektes im Schädelknochen im Bereich des Ausschusses bestätigt werden. Die Schussbruchlücken bei Mundschüssen sind für den Untersucher anatomisch nur schwer erreichbar und damit schwer messbar. Es gelang in einem Fall, in dem die Größe der Lücke 10 mm betrug.

Die Gruppe der Action 4-Schüsse ist in der Tabelle 8 dargestellt.

Fall-#	Einschuss	Eindringtiefe	Trichterförmige Erweiterung	Bruchlinien	Fremdkörper im Schusskanal
193/08	harter zu weichem Gaumen	Durchschuss	ja	nein	kein Fremdkörper
77/11	harter zu weichem Gaumen	Steckschuss	nein	ja	Knochenfragmente, Projektil, gelbe Projektilkappe
617/14	harter zu weichem Gaumen	Durchschuss	ja	ja	Knochenfragmente; Projektilfragmente

Tabelle 8) Übersicht der Schüsse durch Action 4 Munition.

Nur in einem der Fälle erfolgte eine postmortale Schnittbildgebung, da sich der Fall nach der Einführung des pmMSCTs ereignete. Dieser Fall wird im Folgenden exemplarisch vorgestellt:

Fallvorstellung 2: 51 Jahre, männlich (617/14)

In diesem Fall handelt es sich beim Suizidenten um einen 51-jährigen Polizeibeamten, der sich in der Öffentlichkeit in einer Grünanlage in suizidaler Absicht in den Mund schoss. Der Betroffene wählte seine Dienstwaffe P6 von SIG Sauer als

Tatwerkzeug. Durch den Abriss der Hirnbrücke verstarb er unmittelbar durch den Schuss. Die Größe der Eintrittswunde der Weichteile im Übergang von hartem zu weichem Gaumen betrug 15 mm, war sternförmig-fetzig konfiguriert und wies Schmauchspuren auf. Auch Zähne wurden zertrümmert. Es handelte sich demnach um einen absoluten Nahschuss. Der gerade verlaufende Schusskanal, der links der Mitte des Schädeldaches endete, war 16 cm lang und beinhaltete eine Vielzahl an Fremdkörpern. Der Schädel war von zahlreichen Berstungsbrüchen durchzogen und von der rechten Schädelbasis bis hin zur knöchernen Augenhöhle zog sich ein Trümmerbruch. Trichterförmige Erweiterungen der Schusslücke ließen sich beim Ausschuss erkennen. Der adaptierbare Ausschuss der Haut war fetzig aufgerissen, mit einer maximalen Länge der sternförmig angeordneten Risse von 2 - 4 cm.

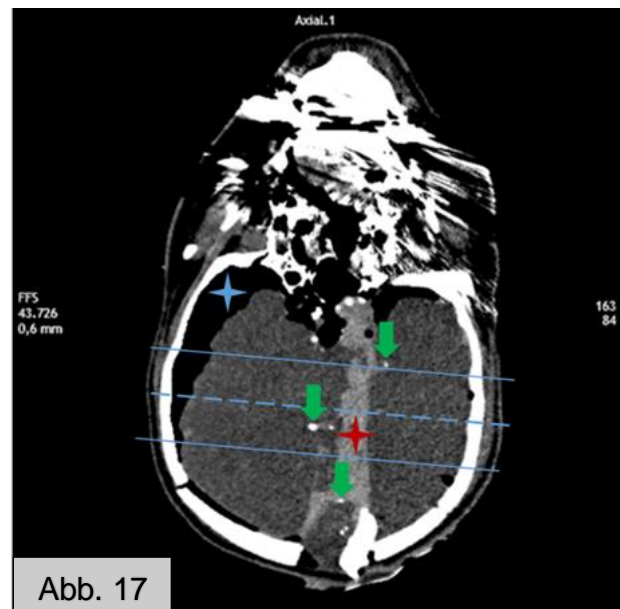
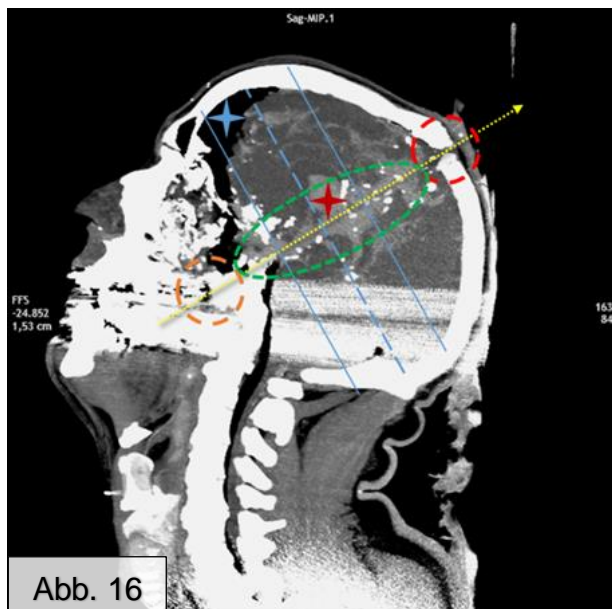


Abbildung 16) Fallbeispiel Action 4 Munition, Saggittalschnitt: Darstellung des Schusskanals (gelbe Linie) mit Fremdkörpern (grüne Ellipse und grüne Pfeile) sowie des Einschusses (orangefarbener Kreis) und des Ausschusses (roter Kreis). Die Länge des Schusskanals wurde zur Veranschaulichung gedrittelt (durchgezogene blaue Linien) und halbiert (gestrichelte blaue Linie). Lufteinschlüsse im Schädelinneren (blauer Stern) sowie Einblutung des Schusskanals (roter Stern). Quelle: Institut für Rechtsmedizin der Charité.

Abbildung 17) Fallbeispiel Action 4 Munition, Horizontalschnitt: Beschreibung siehe oben. Quelle: Institut für Rechtsmedizin der Charité.

In den Abbildungen 16 und 17 ist zu erkennen, dass sich die zahlreichen Fremdkörper über den ganzen Schusskanal verteilen. Es lässt sich nicht mit absoluter Sicherheit eine Verdichtung der Fremdkörper in einem der Drittel des Schusskanals feststellen.

3.1.3.4 Serie .38 Special

In acht Fällen wurde dieser Munitionstyp erfasst. Er wurde in vier Fällen auf die Schläfe, in drei Fällen in den Mund und in einem Fall auf die Stirn abgefeuert. Wie in Tabelle 4 dargestellt, kam es – bis auf einem Schuss (Mundschuss) – stets zu Durchschüssen. In drei Fällen wurde die Ummantelung nicht dokumentiert, weitere drei waren voll ummantelt und zwei nur teilweise. Drei Viertel der Patronen wurden durch einen Revolver abgefeuert und ein Viertel durch eine Pistole.

Bei Betrachtung der Innenballistik, konnte in allen acht Fällen eine trichterförmige Erweiterung der Schussbruchlücken (entweder im Ein- oder Ausschussbereich) festgestellt werden, jedoch nur in sechs Fällen Berstungsbruchlinien des Schädels. Schussbruchlücken, waren stets – solange abgrenzbar – größer als 9 mm im Durchmesser. Die kleinste Lücke maß 10 mm und die größte 47,7 mm (siehe Fallvorstellung), wobei diese Größe allerdings auf Messschwierigkeiten zurückzuführen ist. Die Standardabweichung liegt bei 16,1 mm und die mittlere Größe 19,8 mm.

.38 Special	Fälle insgesamt (n)	Knochenfragmente (n)	in %	Projekttilfragmente (n)	in %
<i>vor pmMSCT-Einführung</i>	5	3	60	0	0
<i>nach pmMSCT-Einführung</i>	3	3	100	3	100

Tabelle 9) .38 Special; Auswertungen vor und nach der pmMSCT-Einführung.

In der Tabelle 9 ist ersichtlich, dass sich ab dem Zeitpunkt der Einführung der postmortalen Schnittbildgebung eine höhere Nachweisrate der Knochen- aber vor allem Projekttilfragmente feststellen lässt. Knochenfragmente wurden schon vor der pmMSCT-Einführung in 60 % der Fälle gefunden, nach der Einführung zu 100 %. Der Nachweis von Projekttilfragmenten steigerte sich von 0 auf 100 %.

Im folgenden Fallbeispiel werden die CT-Bilder eines Schläfenschusses vorgestellt, auf denen Knochen- und Projekttilfragmente deutlich zu differenzieren sind.

Fallvorstellung 3: 51 Jahre, männlich (270/13)

Der 51-jährige Alkoholiker nahm sich in einen erheblich alkoholisierten Zustand (BAK 2,7 ‰) das Leben, in dem er sich mit einer doppeläufigen Pistole der Firma P. Uberti mit einem Projekttil einer .38 Special in die Schläfe schoss. Er wurde von

Passanten in einer Grünanlage gefunden. Neben ihm lag die Pistole, in deren einem Lauf die leere Patronenhülse und im anderen eine weitere unverschossene Patrone steckte. Eine weiterführende Dokumentation der Patronen- und Geschossparameter erfolgte ermittlungsseitig nicht. Der mehrstrahlige Substanzdefekt der rechten Schläfenhaut maß ca. 12 mm und erreichte mit seinen Ausläufern ca. 50 mm x 60 mm. Er wies deutliche Schmauchspuren auf. Die Größe der Schussbruchlücke des Einschusses (47,7 mm) war im Vergleich mit untersuchten Einschüssen anderer Fälle deutlich vergrößert. Dies lag an einem ringförmigen Ausbrechen von Knochenlamellen um den Schussdefekt herum, welche beim Vermessen den Eindruck erweckten, der Defekt wäre größer. In einem Winkel von ca. 35° stieg der geradlinige Schusskanal zur Horizontalen an und trat am linksseitig des Schädels ca. 3,8 cm oberhalb des linken Ohransatzes aus. Die nach außen gerichtete, trichterförmige Erweiterung der Ausschusslücke konnte klar identifiziert werden. Die Wundränder der linken Kopfschwarte waren fetzig gestaltet, jedoch adaptierbar. Der Gesamtdefekt des Ausschusses maß 11 mm.

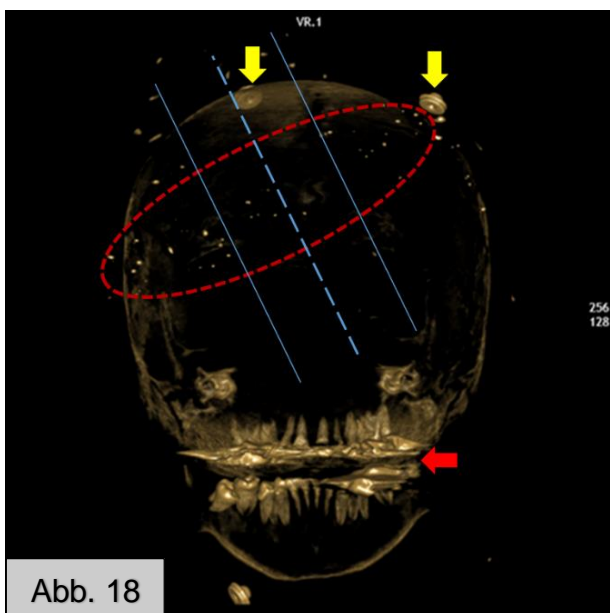


Abb. 18

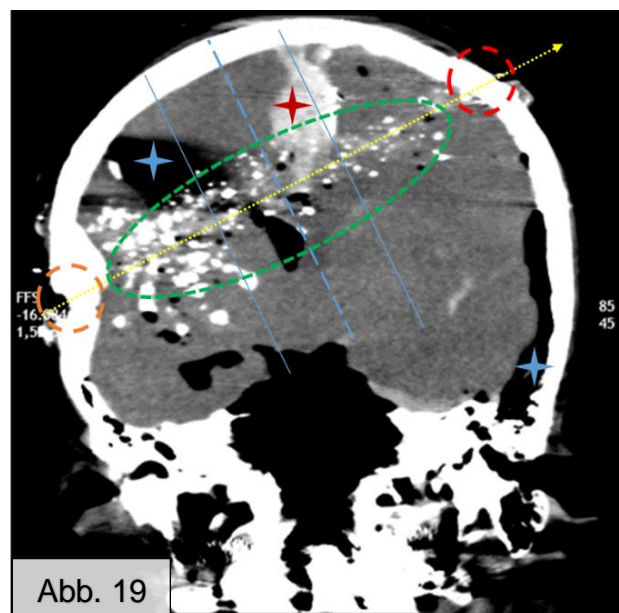


Abb. 19

Abbildung 18) Fallbeispiel .38 Special, Frontalschnitt: Darstellung des Schusskanals (gelbe Linie) mit Fremdkörperwolke (grüne Ellipse) sowie des Einschusses (orangefarbener Kreis) und des Ausschusses (roter Kreis). Die Länge des Schusskanals wurde zur Veranschaulichung gedrittelt (durchgezogene blaue Linien) und halbiert (gestrichelte blaue Linie). Luft einschüsse im Schädelinneren (blaue Sterne) sowie Einblutung Schusskanals (roter Stern). Projektiltrümmerwolke (rote Ellipse), Bildartefakte durch Zahnarbeiten (roter Pfeil) sowie Verschlussknöpfe des Leichentransportsacks (gelbe Pfeile). Quelle: Institut für Rechtsmedizin der Charité.

Abbildung 19) Fallbeispiel .38 Special, Frontalschnitt: Beschreibung siehe oben. Quelle: Institut für Rechtsmedizin der Charité.

In der postmortal angefertigten Abbildung 19 sind alle im Schusskanal vorhandenen Fremdkörper (Knochen- und Projektilfragmente) und in Abbildung 18 ausschließlich die besonders röntgendichten Projektilfragmente dargestellt. Das einschussnahe Drittel erweist sich am fragmentreichsten, während zum Ausschuss hin die Fragmentdichte abnimmt.

3.1.3.5 Serie .357 Magnum

Das Kaliber .357 Magnum wurde nach der 9 mm-Luger-Munition am zweithäufigsten im untersuchten Kollektiv eingesetzt und kam in 13 der insgesamt 47 Schüsse zum Einsatz. Es wurde ausschließlich durch Revolver verschossen. Sechs der Projektile wurden durch den Mund abgefeuert. Weitere vier Schüsse betrafen die Schläfe und zwei die Stirn. Ein Hinterhauptsschuss wurde im Zuge einer Tötung auf Verlangen angetragen.

Bei .357 Magnum wurde in allen Fällen ein Durchschuss beobachtet. Jedoch konnten beim Ein- oder Ausschuss nicht in allen Fällen eine trichterförmige Erweiterung der Schussbrüche oder gar Berstungsbruchlinien verzeichnet werden. In einem Fall wurde eine exakt kalibergroße Schussbruchlücke gemessen, weitere vier Schussbruchlücken waren überkalibrig und die verbliebenen acht konnten dahingehend nicht eindeutig abgegrenzt werden. Die durchschnittliche Größe der Schussbruchlücken betrug 11 mm. Die maximale Größe lag bei 14 mm und die minimale bei 9 mm. Die Standardabweichung lag bei 2 mm.

Die Ummantelungsart des Projektils wurde nur in sieben der 13 Fälle genauer beschrieben. Es handelte sich um sechs Teilmantelgeschosse und um ein Vollmantelgeschoss.

9 mm	Fälle insgesamt (n)	Knochenfragmente (n)	in %	Projektilfragmente (n)	in %
<i>vor pmMSCT-Einführung</i>	4	3	75	0	0
<i>nach pmMSCT-Einführung</i>	9	9	100	9	100

Tabelle 10) .357 Magnum; Auswertungen vor und nach der pmMSCT-Einführung

Wie auch im Unterkapitel der .38 Magnum Munition (siehe Kapitel 3.1.3.4), ist der Tabelle 10 entnehmbar, dass erst seit Einführung der standardisierten pmMSCT-Untersuchungen Projektilfragmente ausfindig gemacht werden konnten und dass auch

die Detektion von Knochenfragmenten um ein Drittel des Ausgangswertes vor 2011 gesteigert werden konnte.

Im Folgenden wird ein Fallbeispiel mit dem Kaliber .357 Magnum vorgestellt, welches eine deutliche Knochen- und Projektilrümmerwolke zeigt.

Fallvorstellung 4: 70 Jahre, männlich (72/12)

Der an einer Depression leidende Rentner nahm sich das Leben, indem er sich mit einem Revolver des Herstellers Smith & Wesson (S&W) mit einem .357 Magnum-Projektil in den Kopf schoss. Er befand sich dabei im Wasser eines öffentlichen Sees und trug einen Rucksack, den er zuvor mit vier Taucherbleigewichten gefüllt hatte. Dennoch wurde er an der Wasseroberfläche, im nur knietiefen Wasser treibend von Passanten gefunden. Er war Waffenbesitzkarteninhaber. Der Einschuss befand sich mittig auf der Stirn und war sternförmig aufgeplatzt. Die Ausläufer der Hautrisse ergaben eine Gesamtgröße von 80 mm x 80 mm. Darunter war eine deutliche Schmauchhöhle zu erkennen. Der Schädel war ausgehend von der Stirnmitte grobschollig zerborsten. Berstungsbrüche zogen sich durch das Schädeldach, die Schädelbasis und die Gesichts- und Kieferknochen. Der 18,4 cm lange Schusskanal verlief horizontal zum Hinterhaupt und enthielt zahlreiche Knochen- und Projektilfragmente. Bei der knöchernen Schussbruchlücke des Ausschusses war eine trichterförmige Erweiterung nach außen hin zu erkennen. Der Weichteildefekt war adaptierbar, fetzig gestaltet und maß ca. 30 mm.

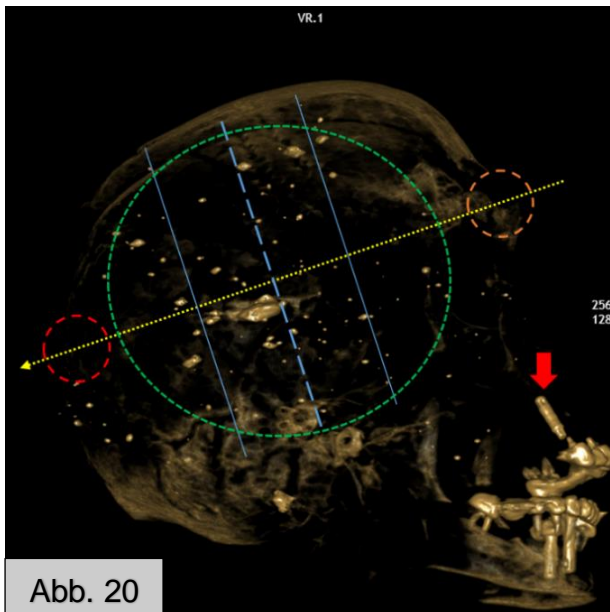


Abb. 20

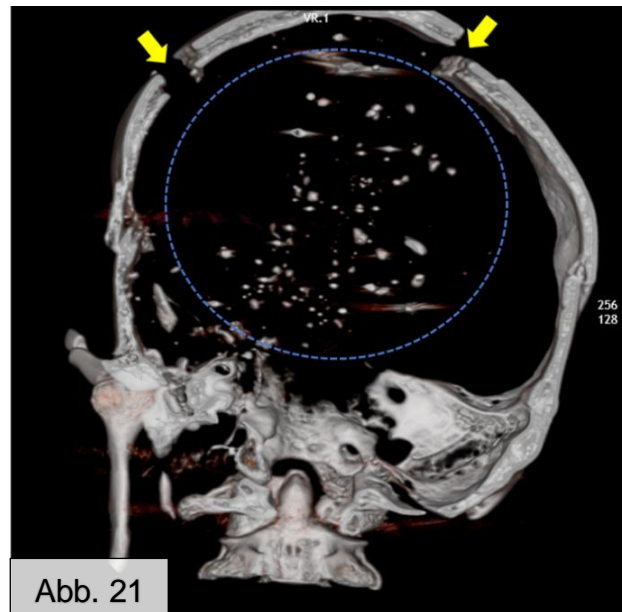


Abb. 21

Abbildung 20) Fallbeispiel .357 Magnum, Sagittalschnitt: Darstellung des Schusskanals (gelbe Linie) mit Projektiltrümmerwolke (grüner Kreis) sowie des Einschusses (orangefarbener Kreis) und des Ausschusses (roter Kreis). Die Länge des Schusskanals wurde zur Veranschaulichung gedrittelt (durchgezogene blaue Linien) und halbiert (gestrichelte blaue Linie). Bruchlinien der teilweisen Schädeldachabspaltung (gelbe Pfeile), Fremdkörperwolke (blauer Kreis) sowie ein aus der Verankerung gerissenes Zahnimplantat im Oberkiefer (roter Pfeil). Quelle: Institut für Rechtsmedizin der Charité.

Abbildung 21) Fallbeispiel .357 Magnum, Frontalschnitt: Beschreibung siehe oben. Quelle: Institut für Rechtsmedizin der Charité.

In Abbildung 21 ist eine deutliche Fremdkörperwolke mit Partikeln in unterschiedlichen Größen zu erkennen. Der Schädel ist an mehrfachen Stellen grob zerborsten. In Abbildung 20 sind die Projektilfragmente gesondert dargestellt. Die Fragmente verteilen sich gänzlich über den gesamten Schusskanal und lassen keine Aussage über eine Verdichtung in einem der Drittel zu.

3.2 Ergebnisse der Experimente

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus den Vor- und Hauptversuchen aufgeführt.

3.2.1 Vorversuche

Die Vorversuche dienten der Erprobung von geeigneten Simulanzien, der Waffen und Munition, sowie der für die Versuche erforderlichen Messgeräte.

Die als Kopfschwartensimulanz eingesetzte Schweinehaut zeigte bereits kurze Zeit nach dem Beschuss Trocknungsartefakte. Zudem wies sie mit einer

durchschnittlichen Dicke von ca. 2 mm eine zu große anatomische Differenz zur humanen Kopfschwarte auf, da das subkutane Fettgewebe bereits im Schlachthof von der Haut abgetrennt wurde. Sie wurde in den folgenden Versuchen durch eine Schweinehaut mit mehr Subkutis ersetzt, welche gesondert beim Schlachthof bestellt wurde.

Beim senkrechten Beschuss der 5 mm starken Polyurethanplatten, welche als Knochensimulanz dienten, kam es zu keiner Bildung von Knochenfragmenten oder Berstungsbrüchen. Die Platten wiesen eine zu hohe Elastizität auf, sodass diese in den weiteren Versuchen durch die Epoxidharzplatte ersetzt wurde.

In Tabelle 11 ist die Durchschnittsgeschwindigkeit der vorab gemessenen Munition aufgeführt. Das .38 Special Geschoss von PPU weist eine Unterschallgeschwindigkeit auf und zeigte sich somit als ungeeignet.

v3-Messungen	9 mm Luger	Action 4	.38 Special	.38 Special	.357 Magnum
	Vollmantel	Vollgeschoss	Teilmantel	Teilmantel	Teilmantel
Test Nr.	GECO	RUAG	PPU	Hirtenberger	GECO
1	316,18	295,88	194,4	315,22	376,9
2	338,16	395,44	210,83	327,87	363,9
3	336,25	394,52	213,93	327,35	376,05
4	338,25	384,32	210,63	327,31	378,62
5	325,48	401,48	203,17	329,47	375,38
Mittelwert	330,86	394,33	206,59	325,44	374,17
SD	9,77	6,22	7,88	5,78	5,87

Tabelle 11) Messung der Durchschnittsgeschwindigkeit bei v3 [m/s]

3.2.2 Hauptversuche Versuchsreihe 1-12

Tabellen 12 und 13 zeigen Auszüge aus den Ergebnissen der Hauptversuche.

	Beschuss-Nummer	1	2	3	4	5	6
Munition	Modell	9 mm	9 mm	9 mm	Action 4	Action 4	Action 4
	Ummantelung	Vollmantel	Vollmantel	Vollmantel	Vollgeschoss	Vollgeschoss	Vollgeschoss
Prüfbedingungen	Schussentfernung	aufgesetzt	aufgesetzt	2 mm	aufgesetzt	2 mm	2 mm
Geschoss	Deformation	nein	nein	Heck gedellt	Aufpilzung, Rand abgerissen	Geschoss nicht aufgefunden	Aufpilzung, Rand abgerissen
	Mittelwert des Gewichtsverlust	0,056 g / 0,75 %			0,53 g / 8,61 %		
Projektilfragmente	erstes Drittel	nein	nein	nein	+++	+++	++
	zweites Drittel	nein	nein	nein	+	++	+
	drittes Drittel	nein	nein	nein	-	+	+
Knochenfragmente	erstes Drittel	+++	+++	++	+++	++	+++
	zweites Drittel	++	++	+	++	-	++
	drittes Drittel	+	+	+	+	-	++
	Mittelwert Fläche	14,72			15,94		
Schweineschwarte	Pulverreste	ja	nein	nein	ja	ja	Nein
	Schmauch	ja	ja	ja	ja	ja	Ja
	Größe der Schusslücke (in mm)	5	5	6	7,5	6	6,5
Knochenplatte	Größe der Schusslücke (in mm)	8	7	7,5	13	13,5	13
	Form der Schusslücke Knochenplatte	rund rekonstruiert	rund rekonstruiert	rund komplett	rund komplett	rund rekonstruiert	Rund Rekonstruiert

Tabelle 12) Auszug Versuchsreihe 1-6; siehe Anhang 2 für weitere Ergebnisse.

	Beschuss-Nummer	7	8	9	10	11	12
Munition	Modell	.38 Spl	.38 Spl	.38 Spl	.357 Mag	.357 Mag	.357 Mag
	Ummantelung	Teilmantel	Teilmantel	Teilmantel	Teilmantel	Teilmantel	Teilmantel
Prüfbedingungen	Schussentfernung	aufgesetzt	2 mm	2 mm	aufgesetzt	2 mm	2 mm
Geschoss	Deformation	Aufpilzung	Aufpilzung	Aufpilzung (leicht)	Aufpilzung und Abrollen des Mantels	Aufpilzung und Abrollen des Mantels	Aufpilzung
	Mittelwert des Gewichtsverlust	0,38 g / 3,69 %			0,13 g / 1,24 %		
Projektilfragmente	erstes Drittel	+++	+++	+++	+++	+++	++
	zweites Drittel	++	++	+	+	+++	++
	drittes Drittel	++	+++	+	+	++	++
Knochenfragmente	erstes Drittel	+++	+++	+++	+++	++	++
	zweites Drittel	++	++	++	++	++	++
	drittes Drittel	++	+++	++	++	++	++
	Mittelwert Fläche	30,18			26,07		
Schweineschwarte	Pulverreste	nein	Nein	nein	ja	ja	Ja
	Schmauch	ja	Ja	ja	ja	ja	Ja
	Größe der Schusslücke (in mm)	8	5	6	6,5	5	4,5
Knochenplatte	Größe der Schusslücke (in mm)	11,5	11	11	9	9	9
	Form der Schusslücke Sonstiges	rund rekonstruiert	Rund Rekonstruiert	rund rekonstruiert	rund komplett	rund rekonstruiert	Rund Komplett

Tabelle 13) Auszug Versuchsreihe 7-12; siehe Anhang 3 für weitere Ergebnisse.

3.2.2.1 Serie 9 mm Luger

Die Ergebnisse der Versuchsreihe 9 mm Luger sind in der Tabelle 12 (Beschuss-Nummern 1 - 3) sowie Anhang 2 aufgeführt.

Das eingesetzte 9 mm-Luger-Geschoss von GECO war ein Vollmantelgeschoss mit Rundkopf (ogival), welches durch die SIG Sauer Pistole Mod. P6 abgefeuert wurde. Die Durchschnittsgeschwindigkeit dieses Geschosses bei v3 lag bei 330.86 m/s.

Das Vollmantelgeschoss zeigte beim Durchdringen des Verbundmodells kein Deformations- oder Zerlegungsverhalten. Der durchschnittliche Masseverlust von etwa 0,065 g war im Vergleich zu den anderen Geschossen mit 0,71 % der geringste. Somit konnten auch keine Projektilfragmente im Gelatineblock detektiert werden. Es fanden sich Knochensimulanzfragmente in allen Dritteln des Gelatineblocks, wobei deren Anzahl in Schussrichtung abnahm.

Die Fläche der sich um den Einschuss verteilenden Partikel in der maximalen Intensitätsprojektion entsprach im Durchschnitt 14,72 cm², mit 18,15 cm² als größte und 9,81 cm² als kleinste Fläche. Dieser durchschnittliche Wert ist der geringste der vier Geschosse.

Die Schweineschwarte wurde stets beschmaucht, jedoch konnten nur in einem Fall makroskopisch Pulverrückstände festgestellt werden. Die Form der Einschusslücke war bei jedem der Schüsse rund und im Mittel 5,3 mm groß. Bei den beiden aufgesetzten Schüssen konnte ein eindeutiges Waffengesicht auf der Schweineschwarte und ein sternförmiges Aufplatzen dieser festgestellt werden. Dies war beim Schuss in 2 mm Abstand nicht der Fall.

Alle Einschusslücken in der Knochensimulanzplatte waren unterkalibrig (8 mm; 7 mm; 7,5 mm). Dafür mussten in zwei von drei Schüssen die Bruchteile der Knochenplatte aus der Gelatine extrahiert und der fragmentierten Platte eingefügt werden, um die korrekte Größe zu ermitteln. Die Einschusslücke war stets rund, wies eine trichterförmige Erweiterung in Schussrichtung und radiär angeordnete Bruchlinien auf.

3.2.2.2 Serie Action 4 Munition

In der Tabelle 12 (Beschuss-Nummern 4 - 6) sowie Anhang 2 sind die Ergebnisse der Versuchsreihe der Action 4 Munition dargestellt. Die Polizeimunition Action 4 von RUAG wurde ebenfalls durch die SIG Sauer Pistole Mod. P6 abgefeuert. Ihre Durchschnittsgeschwindigkeit war im Vergleich zu den anderen Geschossen mit einer Geschwindigkeit bei v3 von 394,33 m/s am höchsten. Die Action 4 Munition ist ein

Messing-Vollgeschoss mit einer Hohlspitze, in welcher sich eine gelbe röntgendichte Plastikkappe befindet.

Das Geschoss wurde nur in zwei von drei Fällen wiederaufgefunden (Verlust des Geschosses Nr. 5). Die beiden vorliegenden Geschosse zeigten ein Aufpilzungsverhalten, bei dem sich der beim Auftreffen auf das Ziel gebildete kragenartige Rand, komplett vom Geschoss löste und sich in mehreren Fragmenten im Gelatineblock verteilte. Dies geschah unabhängig von der Distanz zum Ziel. Der Masseverlust betrug bis zu 0,55 g und im Mittel 0,53 g. Dies entspricht einem durchschnittlichen prozentualen Verlust von 8,61 % und war im Vergleich der betrachteten Munitionstypen der höchste.

Projektilfragmente konnten in allen Gelatineblöcken, zum Teil sogar mit bloßem Auge (Randfragmente) entdeckt werden. Die gelbe Plastikkappe befand sich in Block Nr. 6 im ersten Drittel. Sie konnte durch die etwas geringere Röntgendichte eindeutig identifiziert werden. In Versuch Nr. 4 drangen die Projektilfragmente nicht bis ins letzte Drittel des Blockes vor. Knochenfragmente waren in einem Fall nur bis ins erste Drittel gelangt, sonst waren sie jeweils über die gesamte Länge des Schusskanals verteilt. Die Fläche der Partikelverteilung im Frontalschnitt ergab eine Durchschnittsfläche von 15,94 cm². Das Spektrum reichte von 6,31 cm² bis 24,35 cm².

Pulverreste fanden sich bei zwei von drei Schüssen, Beschmauchung jedoch an allen drei Schweineschwarten. Die Einschusslücken der Haut waren jeweils rund mit einer Durchschnittsgröße von 6,67 mm. Ein Waffengesicht konnte nicht detektiert werden, jedoch fanden sich an allen Schwarten Knochensimulanzsplitter.

Die Schussbruchlücken der Knochensimulanzplatten waren im Schnitt 13,17 mm groß (genaue Werte: 13 mm; 13,5 mm; 13 mm) und somit überkalibrig. Die Form war stets kreisrund. In zwei von drei Fällen wurden die Ränder der Schusslücken durch die in der Gelatine aufgefundenen Knochenfragmente ergänzt. Trichterförmige Erweiterungen der Schusslücken in Schussrichtung und Bruchlinien waren in allen Fällen vorhanden.

3.2.2.3 Serie .38 Special

Die Ergebnisse der Versuchsreihe .38 Special sind in der Tabelle 13 (Beschussnummern 7 - 9) sowie Anhang 3 aufgeführt.

Das Geschoss von Hirtenberger hat im Vergleich zu den anderen Geschossen die geringste Geschwindigkeit bei v₃ (325,44 m/s) gezeigt. Es wurde durch den Mod. 686

Revolver von Smith & Wesson abgefeuert und wiegt 10,2 g. Es ist somit gleich schwer wie das .357 Magnum Geschoss. Die Patrone weist hingegen eine geringere Ladung auf. Das Teilmantelgeschoss mit Flachkopf zeigte in allen drei Versuchen ein Aufpilzungsverhalten, zerlegte sich jedoch nicht. Der Masseverlust blieb konstant zwischen 2,45 % und 4,71 % (Mittelwert 3,69 %). Er lag um 2,45 % höher als der Masseverlust des .357 Magnum Geschosses.

Projektile- und Knochenfragmente verteilten sich auf alle Drittel des Gelblocks. Dabei war im ersten Drittel jeweils die höchste Dichte zu finden, die in Schussrichtung abnahm. In Versuch Nr. 8 nahm die Dichte der Partikel zum hinteren Schusskanaldrittel noch einmal zu. Das .38 Special Geschoss zeigte in der maximalen Intensitätsprojektion der Frontalebene die größte Verteilung der Fragmente. Sie lag im Schnitt bei 30,18 cm². Pulverreste konnten in keinem der Versuche an der Schweineschwarte gefunden werden, jedoch zeigten alle eine Beschmauchung. Die Substanzdefekte der Schweineschwarte waren fortwährend rund, divergierten in ihrer Größe von 5 mm bis 8 mm und waren im Durchschnitt 6,33 mm groß. Beim aufgesetzten Schuss platzte die Schwarte sternförmig um das Einschussloch auf und einer der mit einem Abstand von 2 mm abgegebenen Schüsse erzeugte ein Waffengesicht auf der Schwartenoberfläche. Die Ergebnisse an der Knochensimulanzplatte waren einheitlich. Die Schussbruchlücken waren alle überkalibrig und im Schnitt 11,17 mm groß (11,5 mm; 11 mm; 11mm), immer rund, mit trichterförmiger Erweiterung in Schussrichtung und radiär angeordneten Bruchlinien. Alle drei Schussbruchlücken mussten mit aus den Gelblöcken extrahierten Knochenfragmenten zur Bestimmung ihrer genauen Größe ergänzt werden.

3.2.2.4 Serie .357 Magnum

Die Ergebnisse des .357 Magnum Geschosses sind in der Tabelle 13 (Beschussnummern 10 - 12) sowie Anhang 3 aufgeführt. Das .357 Magnum Geschoss von GECO war ein Teilmantelgeschoss mit Flachkopf (10,2 g) welches durch den Revolver Mod. 686 von Smith & Wesson abgefeuert wurde. Die Geschwindigkeit bei v₃ lag im Durchschnitt bei 374,17 m/s. Es war das zweitschnellste Geschoss der Versuchsreihe.

Das Geschoss zeigte neben einem Aufpilzungsverhalten eine zusätzliche Abrollung des Mantels vom Kern (bis 5 mm) und in Versuch Nr. 12 sogar eine komplette Trennung des Mantels vom Kern. Der Gesamtverlust an Geschossmasse lag allerdings geringer als beim .38 Special Teilmantel Geschoss. Im Durchschnitt verlor jedes Projektil 1,24 % seiner Masse.

Die Projektil- und Knochenfragmente wurden in allen Dritteln des Gelatineblocks gefunden. Hauptsächlich konnten sie im ersten Drittel gefunden werden, jedoch zeigten Nr. 12 und auch die Knochenfragmentverteilung bei Schuss Nr. 11 eine homogene Verteilung über die Gesamtlänge des Schusskanals hinweg. Die Fläche der Partikelverteilung reichte von 22,81 cm² bis 28,69 cm². Der Durchschnitt betrug 26,07 cm².

Schmauch, Knochenfragmente und auch Pulverreste konnten auf allen Schweineschwarten gefunden werden. Die Einschussdefekte waren rund und in keinem der Fälle aufgeplatzt. Sie waren im Schnitt 5,3 mm groß. Ein Waffengesicht präsentierte sich auf keiner Schwarte.

Die Größe der Schussbruchlücke des Knochensimulanz war bei allen Versuchen exakt kalibergroß (9 mm). Alle Defekte waren rund und zeigten eine trichterförmige Erweiterung in Schussrichtung sowie Bruchlinien. In einem Fall musste die Schusslücke rekonstruiert werden.

4 Diskussion

4.1 Überblick der Datenanalyse

Es wurde in der vorliegenden Arbeit ein Kollektiv von 59 Fällen mit insg. 64 Schüssen im Zusammenhang mit mindestens einer tödlichen Schussverletzung durch das Kaliber 9 mm im Studienzeitraum 01.06.2007 bis 31.10.2014 betrachtet. Opfer tödlicher Schussverletzungen werden durch die zuständige Staatsanwaltschaft häufig der Rechtsmedizin zugeführt. Die Dokumentation der (Kriminal-)Polizei über das Tatgeschehen und den Tatort sichern dem Obduzenten u.a. wertvolle Informationen über die, falls vorliegend, verwendete Waffe und Munition zu. Da es keinen einheitlichen polizeilichen Standard im Einzugsgebiet des Instituts für Rechtsmedizin der Charité über die Dokumentation der Tatwaffe und Munition gibt, fehlen unwiederbringliche Details zur Munition und auch regelmäßig zur Waffenart oder zum Kaliber. Somit konnten einige Fälle wegen lückenhafter Informationen nicht in die vorliegende Arbeit aufgenommen werden. Die in der Studie retrospektiv an einem vorausgewählten Sektionsgut erhobenen Fallzahlen lassen keine Aussage zu absoluten Zahlen im Raum Berlin zu. Nichtsdestotrotz konnte bei den in die Studie eingeschlossenen Fällen das Kaliber 9 mm in 9 mm Luger, Action 4 Polizeimunition, .38 Special sowie .375 Magnum eingeteilt und einzeln hinsichtlich wundballistischer Parameter betrachtet werden. Die Kopfschussverletzungen zeigten im Gesamtkollektiv mit einer Anzahl von 47 den prozentual (73,4 %) größten Anteil der Schussverletzungen und wurden deshalb gesondert betrachtet. Hierzu wurden darüber hinaus vier ausgesuchte, repräsentative Fälle von Kopfschussverletzungen mit dem jeweiligen Kaliber als Fallvorstellungen präsentiert.

Vergleicht man die Altersverteilung der vorliegenden Studie mit Daten aus einer Studie von *Ropohl et al.*, aus dem Jahr 1990, so erkennt man in dem in der vorliegenden Arbeit betrachteten Fallkollektiv ein deutlich höheres Durchschnittsalter der Betroffenen. Während in unserer Studie über die Hälfte aller tödlichen Schussverletzungen im Alter von 60 bis 79 Jahren auftraten, sind es 1989 fast 68 % im Alter von 20 bis 49 Jahren [41].

Beim Betrachten der Geschlechterverteilung aller Fälle erkennt man ein Überwiegen von männlichen Individuen (91,5 %), die durch Schussverletzungen zu Tode kamen. Insg. gab es 88,1 % Suizide im vorliegenden Fallkollektiv. Schüsse, welche in suizidaler Absicht abgegeben wurden, betrafen zu 98 % Männer. Diese Angaben decken

sich mit einer Studie von *Buschmann et al.* aus dem Jahre 2015, in der sämtliche Schusstodesfälle Berlins von 2000 bis 2009 retrospektiv analysiert wurden [42]. In dieser Studie stellten sich 300 (90 %) der 332 Schusstoten als männlich heraus. Jedoch wurde ein geringeres Durchschnittsalter von 54,3 Jahren ermittelt. 78 % aller Schusstodesfälle der Studie von *Buschmann et al.* waren Suizide, welches annähernd unserer Datenlage entspricht.

Im Jahr vor dem Beginn des Studienzeitraumes (2006) wurden in Deutschland 9765 Suizide verzeichnet, von denen in 799 Fällen der Gebrauch von Schusswaffen als Suizidmittel (7,9 %) registriert wurde. Der Anteil männlicher Suizidenten entsprach hier mit 97% (n = 775) [43] nahezu dem Anteil im hier betrachteten Kollektiv. Dies ist laut einer Studie von *Mergl et al.* dadurch zu erklären, dass Männer eher als Frauen zu einer primär effektiveren Suizidmethode, wie beispielsweise Schusswaffen, greifen und damit öfter einen sog. vollendeten Suizid erreichen [44; 45].

Die formalen Besitzbedingungen der Waffen in der vorliegenden Arbeit waren in 15,3 % der Fälle unklar. Dies lässt sich auf eine dahingehend fehlende Dokumentation zurückführen. Im einzigen Fall eines Tötungsdeliktes ließ der Schütze die Waffe nicht am Tatort zurück. Illegale Waffen kamen in 42,3 % der Fälle zum Einsatz. Dies entspricht der Hälfte der identifizierten Waffen. Die andere Hälfte der identifizierten Waffen wurde als legal klassifiziert. Hierzu zählen Waffen aus rechtmäßigem Besitz zum Beispiel von Sportschützen oder Jägern (28,8 %) oder auch Dienstwaffen, welche durch Polizisten eingesetzt wurden (13,6 %). *Kunz et al.* gaben an, dass unter Personengruppen, welche Zugang, wenn auch nur temporär, zu Schusswaffen haben, diese auch häufiger als Suizidmittel verwenden würden [46].

Betrachtet man die Einschusslokalisationen der suizidalen Kopfschüsse ist der Schläfenschuss mit 43 % am häufigsten vertreten. In weiterer absteigender Reihenfolge folgen die Lokalisationen Mund (40 %), Stirn (15 %) und Hinterkopf (2 %). Diese anteilige Reihenfolge entspricht den Ergebnissen vergangener Studien [41; 47-50]. Insbesondere der Schläfenschuss ist aus der Handhabung von Kurzwaffen zu erklären. Die Schläfe ist anatomisch durch die einhändig gehaltene Kurzwaffe am einfachsten erreichbar. Dieses Phänomen ist kohärent mit den Ergebnissen anderer Studien.

4.1.1 Einfluss des pmMSCT auf die Analyse der Wundballistik

Die Berner Rechtsmedizin prägte 2000 erstmals den Begriff Virtopsy® und bezeichnete ein Konzept, postmortale Schnittbildgebung grundsätzlich in der

Forensischen Medizin, vor allem aber standardisiert in der Wundballistik einzusetzen [51]. Vorteile liegen zunächst darin, dass die kompletten originalen Datensätze als virtuelles Abbild des realen menschlichen Körpers nicht nur bereits vor der gerichtlichen Obduktion zur Verfügung stehen, sondern auch über die Kremation oder Beerdigung des Körpers hinaus zugänglich bleiben und auf einer Vielzahl von Medien gespeichert werden können [52]. Darüber hinaus ist es, je nach verwendetem Programm möglich, die Daten zwei- oder dreidimensional darstellen zu lassen [52]. In der postmortalen Bildgebung spielt die Höhe der Strahlenbelastung keine Rolle und kann mit der höchstmöglichen Auflösung durchgeführt werden [53]. Hochauflösende volumetrische (3D-) Rekonstruktionen sind vor allem beim menschlichen Schädel wertvoll, da die Gänge der Verletzungen und auch kleinste Knochenfragmente in ihrer anatomisch korrekten Position dargestellt werden können [51; 53]. Die Anordnung von Fragmenten würde bei der klassischen Schädelöffnung während der Obduktion verloren gehen und somit viele Erkenntnisse unzugänglich machen.

Die 3D-Darstellung ermöglicht in der wundballistischen Herangehensweise das Visualisieren des Schusskanals bspw. im Schädel. Es kann nicht nur eine virtuelle Linie zwischen Ein- und Ausschuss durch den Raum gezogen werden, sondern auch Knochen- und Projektilsplitter sowie Einblutungen im Wundkanal detektiert und beurteilt werden [54; 55]. Die Differenzierung der Knochen- und Projektilfragmente gelingt in der Computertomographie über Darstellung der unterschiedlichen Dichten in Hounsfield-Einheiten.

Makhlouf et al. weisen in einer retrospektiven Studie über die Korrelationen zwischen postmortaler Schnittbildgebung und Autopsiebefunden darauf hin, dass das Erkennen von Schusskanälen im menschlichen Schädel besonders bei Ricochet⁷-Schüssen oder bei multiplen Einschüssen mit konventionellen Obduktionsmethoden deutlich erschwert ist [55].

Eine Problematik der Schichtbildgebung sind sog. Strahlungsartefakte der eisenhaltigen Metalle, welche die Diagnostik erschweren können [56]. Darüber hinaus ist es von großer Wichtigkeit bei der Interpretation der Schichtbilder auf die entsprechende Darstellung der Dichte zu achten. Bei korrekter Anwendung ist es möglich, Knochen- von Projektilfragmente eindeutig zu unterscheiden [57].

⁷ Abprall-Schuss

Die Vorteile der postmortalen Schnittbildgebung weiß das Institut für Rechtsmedizin der Charité Berlin seit dem Jahr 2011 zu schätzen. Zuvor wurden konventionelle radiologische Verfahren bei einem kleinen Teil des Sektionsgutes angewandt. Neben zwei weiteren deutschen Instituten [58] war Berlin 2017 der einzige Standort, der mit einem Computertomographen ausgestattet ist, welcher ausschließlich für die postmortale Untersuchung zur Verfügung steht. Seit der Anschaffung des Computertomographen wurden Standards zu dessen Nutzung erarbeitet und mit der Staatsanwaltschaft konsentiert. Der Einsatz der pmMSCT ist nun bei Schussverletzungen obligat und wird präautoptisch durchgeführt. Bereits *Fischer und Heinemann* [59] bezeichnen die pmMSCT im Jahr 2016 als wesentlichen Bestandteil der postmortalen Diagnostik.

Wie in der Grafik 9 und den Tabellen 5 und 6 dargestellt, fällt ein deutlicher Anstieg der Nachweisrate von Knochen- und Projektilfragmenten im Schädel bei Kopfschüssen seit Einsatzbeginn des Computertomographen (22.06.2011) auf.

Eine bemerkenswerte Steigerung liegt beim Nachweis der Knochenfragmente vor. Diese wurden bis zur Einführung des CTs nur in 52,1 % der Fälle durch die klassische Autopsie entdeckt. Mit Einführung der kategorischen Schichtbildgebung wurden nun in 100 % der Fälle eindeutig Knochenfragmente detektiert. Dies liegt wohl daran, dass auch kleinste Knochenfragmente in der virtuellen Darstellung sichtbar gemacht werden können. Diese sind zumeist bei der Obduktion nicht bemerkt worden, da sie im Gehirnparenchym verstreut lagen und taktil sowie visuell dem Obduzenten nicht zugänglich waren.

Von den Projektilen wurde im betrachteten Fallkollektiv bis zur Einführung des Computertomographen kein einziges Fragment während der Obduktion entdeckt und somit im Obduktionsberichtbefund schriftlich nicht erwähnt. Dabei ist deren Vorhandensein in vielen Fällen anzunehmen, denn seit der Einführung der pmMSCT werden mit steigender Rate in bis zu zwei Dritteln der Fälle Projektilfragmente bei den betrachteten Munitionstypen detektiert. Die ansteigende Tendenz des Auffindens lässt sich mit einer steigenden Sicherheit und Expertise des Obduzenten beim Auswerten der Schnittbilder erklären. Wie bereits erwähnt, ist bei der Durchsicht der Bilder auf die entsprechende Dichteeinstellung zu achten, um Knochen- und Projektilfragmente mit Sicherheit zu unterscheiden [57]. Der fehlende Nachweis dieser Fragmente vor Einführung der Bildgebung ist durch die geringe Größe der Partikel, welche bei einer Obduktion ebenso wenig wie kleine Knochenfragmente im Gehirnparenchym aufzufinden

sind, zu erklären. Möglicherweise sind Projektilfragmente auch mit Knochenfragmenten verwechselt worden.

4.2 Überblick der Versuche

Die Resultate aus den Beschussversuchen dieser Arbeit beruhen auf einer begrenzten Anzahl von Versuchen. Es ist jedoch gelungen, den verschiedenen Munitionstypen spezifische forensisch-radiologische Merkmale zuzuordnen, welche ihre Identifizierung im unbekanntem Falle erleichtern.

4.2.1 Vorversuche

In dieser Versuchsreihe wurden einige neue Materialien im Hinblick auf ihre Eignung, einen menschlichen Schädel mit der vereinfachten Dreischichtung Kopfschwarte, Schädelknochen und Gehirn zu simulieren, getestet. Darüber hinaus wurde die Munition auf ihre Geschwindigkeit (v_3 [m/s]) beprobt, wodurch Eindrücke bezüglich ihres Geschossverhaltens beim Auftreffen auf das Verbundmodell gesammelt werden konnten.

Darüber hinausführende analoge sowie röntgenologische Auswertungen der Wirkung der Munition auf den Knochen oder die Haut, fanden erst in den Hauptversuchen statt, da das erste Verbundmodell aufgrund der vorerst gewählten Knochen- und Hautsimulanzien noch optimiert werden musste.

Das erste Verbundmodell

Das erste angefertigtes Verbundmodell wurde ebenfalls in der Reihenfolge Schweineschwarte, Kunststoffplatte, Gelatineblock zusammengesetzt.

Das Kopfschwartensimulanz, welches ebenso aus einer Schweineschwarte vom frisch geschlachteten Hausschwein stammte, erwies sich aufgrund fehlender Subkutis als zu dünn und somit realitätsfern. Es wurde im Verlauf nicht weiterverwendet und durch eine Schweineschwarte mit Subkutis, welche gesondert beim Schlachter vorbestellt wurde, ersetzt. Zusätzlich wurde bei den folgenden Versuchen auf eine ausreichende Feuchtigkeit der Schwarten geachtet, um Trocknungsphänomene vor und nach dem Schuss zu verhindern.

Die zunächst eingesetzte Platte aus Polyurethan als Knochensimulanz zeigte eine zu hohe Elastizität und ein gänzlich fehlendes Bruchverhalten. Für die weiteren Versuche wurden Knochenplatten aus einer Epoxidharz-Aluminiumpulver-Mischung angefertigt,

welche in der Unfallrekonstruktion [39] als Knochensimulanz bereits erfolgreich eingesetzt wurde.

Als geeignet erwies sich in den Vorversuchen der zehnprozentige Gelatineblock, der in seiner Konsistenz und seinem Verhalten beim Auftreffen eines Geschosses dem menschlichen Weichteil/Gehirn nahekommt und bspw. auch bei *Thali et al.* im „Skin-skull-brain model“ eingesetzt wurde [12]. Das eingesetzte Konservierungsmittel erwies sich ebenfalls als sehr effektiv und ließ weitere Untersuchungen der Gelatineblöcke auch noch Wochen nach deren Anfertigung bei kühler Lagerung zu.

Schusswaffen und Munition

Die Geschwindigkeit der Kurzwaffengeschosse bei 3 m (v_3), welche sich in einem definierten Durchschnittsbereich befinden sollten, wurde bei 9 mm Luger (GECO), Action 4 Munition (RUAG) sowie .375 Magnum (GECO) erreicht (siehe Tabelle 11). Das zunächst gewählte .38 Special Geschoss von PPU (Prvi Partzian – Uzice) mit einer v_3 von 206,59 m/s, wies eine deutlich geringere Geschwindigkeit als ein durchschnittliches .38 Special Geschoss auf. Es wurde gegen das .38 Special Geschoss von Hirtenberger mit einer adäquaten Durchschnittsgeschwindigkeit bei v_3 von 325,44 m/s getauscht. Die zu Beginn gewählten Schusswaffen, die Pistole von SIG Sauer Mod. P6 und der Revolver von Smith & Wesson Mod. 686 wurden beibehalten.

Messausrüstung

Zur Messausrüstung wurde im Folgeversuch lediglich die Plexiglasscheibe zum Schutz der Geräte hinzugefügt.

4.2.2 Verbundmodell

Es konnte nach Auswertung der experimentellen Versuche gezeigt werden, dass sich die Einflüsse des Geschosses auf den menschlichen Schädel in dem gewählten Verbundmodell reproduzieren lassen und somit Charakteristika der Schussmorphologien der einzelnen verwendeten Munitionstypen herausgearbeitet werden können. Das im Rahmen dieser Arbeit etablierte Modell war einfach zu konstruieren, nicht kostspielig und warf keine ethischen Bedenken auf.

Wie in den meisten experimentellen Ansätzen wundballistischer Versuche, wurde die Schweineschwarte als Hautsimulanz [1] verwendet. Diese vereinfacht gemäß *Schantz* aufgrund ihrer geringen Behaarung und fehlenden Pigmentierung die

Auswertung der typischen Hautveränderungen, welche durch die auftreffenden Geschosse verursacht werden [13].

Die verwendete Epoxidharz-Platte [39], welche erstmals für Schussverletzungen eingesetzt wurde, zeigte auch bei dieser Art von Traumata knochenspezifische Eigenschaften. Dies konnte an den trichterförmigen Erweiterungen in Schussrichtung sowie in den radial abgehenden Bruchlinien deutlich sichtbar gemacht werden. Die Röntgendichte und damit Differenzierbarkeit von Weichgewebe und Projektilfragmenten wurde durch die Beimengung von Aluminiumpulver erreicht. Jedoch wurde durch die Knochenfragmente, die größer waren als die in Realfällen und teilweise bis ins letzte Drittel des Schusskanals verschleppt wurden deutlich, dass die Epoxidharz-Platte grundsätzlich brüchiger als realer Knochen ist. Zudem wies sie keine typische Dreischichtung im Sinne der Kortikalis-Spongiosa-Kortikalis auf.

Gelatine ist eine vielgenutzte Substanz, welche zur Simulation von Schussverletzungen verwendet wird. In der vorgelegten Studie wurde als Hirnsimulanz eine zehnpromzentige Gelatine, welche sich bereits in Versuchen von *Thali et al.* [12] bewährt hat, verwendet.

Das Herstellungsverfahren der Gelatine wird in der Literatur kontrovers diskutiert. *Fackler et. al* [21], dessen Rezeptur zur Herstellung von Gelatine weitverbreitet ist [22], beschreibt die schädliche Wirkung von Wasser mit einer Temperatur von über 40°C auf die Eigenschaften der Gelatine und sieht eine initiale Verwendung von kaltem Wasser bei der Herstellung vor. In dieser Studie wurde ein zur Verfügung gestelltes standardisiertes Herstellungsverfahren des Bundeskriminalamtes (siehe Anhang 1) unter Verwendung ca. 60°C heißen Wassers angewandt. Darüber hinaus wurde der Gelatine das Konservierungsmittel 2-Phenylphenol hinzugefügt. Hiermit konnten bei den Modellen der Vorversuche eine beobachtete Haltbarkeit der gekühlten Gelatineblöcke von über sechs Monaten erreicht werden. Die Gelstärke, welche in Bloomzahl gemessen wird, sollte mind. 250 erreichen [18]. In der vorliegenden Studie wurden ballistische Gelatine von 300 Bloom eingesetzt. Die experimentellen Beobachtungen zeigten im Vergleich zu den retrospektiv betrachteten Realfällen realitätsnahe Verteilungen der Knochen- und Projektilfragmente entlang der Schusskanäle. Nichtsdestotrotz wurde die zehnpromzentige Gelatine subjektiv als noch zu fest im Vergleich mit menschlichem Hirngewebe empfunden. Es liegt jedoch die Vermutung nahe, dass eine Reduktion der Konzentration der Gelatine eine Handhabung der dann sehr fragilen Blöcke nicht möglich macht.

Das Verbundmodell wurde in seiner Dreischichtung durch selbsthaftende Frischhaltefolie umfasst, welche an der Einschussstelle gefenstert wurde, um die Hautveränderungen nicht zu beeinflussen. Durch diesen Verbund wurde der Schädel mit den drei Hauptanteilen Kopfschwarte, Schädelknochen und Hirnmasse simuliert.

Anzumerken ist, dass eine vollständige und luftfreie Adaptation der drei Simulanzien nicht gewährleistet werden konnte. Auch fehlten ggf. anatomisch relevante Entitäten, wie das Periost, Dura oder Liquor, deren Eigenschaften und Einfluss auf das Verbundmodell im Sinne der Knochenstabilität bzw. dessen Verbund oder hydrodynamischer Wirkung unbeobachtet blieben. Es bleibt jedoch offen, ob dies wesentliche divergierende Ergebnisse zu den bislang erworbenen Resultaten gegeben hätte.

Zu erwähnen ist, dass die physikalischen Eigenschaften eines sphärischen Modells, wie bspw. des „Skin-Skull-Brain Models“, welches 2002 durch *Thali et al.* [12] entwickelt wurden, im gewählten einfachen Verbundmodell nicht vollständig darstellbar sind. Insbesondere betrifft dies die im gewählten offenen Verbundsystem nicht abbildbaren hydrodynamischen Effekte auf das Knochensimulanz.

4.3 Einfluss der Geschosse auf die Haut

Aufgrund der Elastizität der Haut, welche beim Einschuss entlang der Schussrichtung radiär nach außen beschleunigt wird und nach Passage des Geschosses wieder zusammengezogen wird, ist eine Größe der Substanzdefekte der Haut von unter 9 mm absehbar [29]. Darüber hinaus sind bei den aufgesetzten Schüssen Nahschusszeichen wie Beschmauchung, Pulverrückstände oder auch eine Stanzmarke zu erwarten. Gegebenenfalls spielen die unterschiedlichen Gasdrücke der Munitionen bei der Entwicklung der Nahschusszeichen eine Rolle.

Bei der Auswertung des Hochgeschwindigkeitsbilder fiel auf, dass die Haut nicht ausreichend am Verbundmodell befestigt war und unmittelbar nach Schussabgabe entgegen der Schussrichtung geschleudert wurde. Es ist jedoch unwahrscheinlich, dass dies einen Einfluss der Geschosse auf die Haut hatte, da diese längst die Haut passiert hatten.

4.3.1 Substanzdefekt Haut

Die angegebene Größe des Substanzdefektes der Haut bei den Realfällen war sehr inhomogen. Aufgrund teils gravierender Messungenauigkeiten des Substanzdefektes,

welche zum Teil schwierige anatomischen Verhältnisse (Mundschüsse), Trocknungseffekte und vor allem auf stark divergierende Messmethoden (z. B. kein getrenntes Messen des eigentlichen Substanzdefektes und dessen Ausläufer bspw. bei sternförmigem Aufplatzen) zurückzuführen sind, wurden diese im Ergebnisteil der vorliegenden Arbeit nicht aufgeführt. Die gewonnenen Ergebnisse wurden daher als nicht konklusiv betrachtet. Als Beispiel sind hier die Substanzdefekte der Kopfschüsse des 9 mm-Luger-Geschosses zu nennen. Bei der 9 mm-Luger-Munition konnten eine 9 mm große Schusslücke und 18 überkalibergroße Schüsse mit einer Divergenz zwischen 11 mm und 90 mm unterschieden werden. Zwei Substanzdefekte ließen sich nicht abgrenzen. Lediglich zwei Substanzdefekte waren unterkalibergroß. Ähnlich verhielt es sich mit den anderen Munitionen. In den Schussversuchen zeigten sich jedoch bei allen Geschossen stets unterkalibrige Substanzdefekte der Haut mit einem Mittelwert von 5,92 mm. Somit ist der Hautdefekt der Realfälle nicht mit den vorliegenden experimentellen Substanzdefekten zu vergleichen.

Die Substanzdefekte wurden direkt im Anschluss der Schussversuche gemessen und die sternförmigen Ausläufer bei aufgeplatzten Schüssen, welche im Gegensatz zu dem zentralen Substanzdefekt adaptierbar waren, getrennt ausgewertet. Ein sternförmiges Aufplatzen zeigte sich bei vier aufgesetzten Schüssen und einem Schuss aus 2 mm Entfernung. Das Bild des Aufplatzens zeigte sich in Realfällen v.a. bei absoluten Nahschüssen auf einen platten Knochen [60].

4.3.2 Beschmauchung

Die bei aufgesetzten Schüssen entstehende Beschmauchung der Oberhaut durch die aus dem Waffenlauf austretenden Gase und Rußpartikel [1, S.278-279] konnte in allen experimentellen Schüssen nachvollzogen werden. Dies ist mit den Realfällen vergleichbar, denn hier konnten in 30 der 31 Fälle, in denen eine eindeutige Aussage zur Beschmauchung dokumentiert wurde, relevante Schmauchreste gefunden werden. Dies entspricht 96,77 % (n = 30). Es können demnach hieraus keine munitionsspezifischen Charakteristika festgestellt werden.

4.3.3 Pulverreste

Unverbrannte Treibladungsreste, welche mit dem Geschoss den Waffenlauf verlassen und um bzw. in die Einschusswunde eindringen, wurden in den Realfällen bei drei von 46 aufgesetzten Schüssen dokumentiert (1,53 %; zwei durch 9 mm aus Pistole,

eine durch .357 Magnum aus Revolver). In den Versuchsfällen konnten jedoch sogar in 50 % aller Schüsse Pulverreste auf der Haut und Innenseite der Schwarte identifiziert werden. Es stellt sich in den Realfällen die Frage nach der korrekten Dokumentation.

4.3.4 Waffengesicht

Die sog. Werkgartner'sche Stanzmarke wurde erstmals 1924 durch ihren Namensgeber erwähnt [32]. Sie entsteht durch den Druck der eingedrungenen Gase unter die Haut in die Schmauchhöhle, welche sie vorwölbt und die Waffenmündung gegen die Haut drückt. Hierbei entstehen Schürfeffekte, welche das Waffengesicht abprägen (siehe Kapitel 1.5.3). Diese Besonderheit wurde bei den betrachteten Realfällen in acht von 28 Fällen identifiziert, bei denen ein aufgesetzter Schuss auf einen platten Schädelknochen traf (also kein Mundschuss). Dies entspricht 28,6 % (vier bei 9 mm Luger; zwei bei .38 Special; zwei bei .357 Magnum). In den Versuchen konnte bei drei Schüssen eine deutliche Stanzmarke auf der Hautsimulanz provoziert werden. Dies trat zweimal beim 9 mm-Luger-Geschoss und einmal beim .38 Special Geschoss auf. Insgesamt entspricht dies einem Anteil von 25 % aller Versuche. Eine konkrete Schussfolgerung auf die Munitionsart ist nicht gegeben. Aus den gemeinsamen Parametern der Versuche und Realfälle lässt sich feststellen, dass bei Verwendung der Action 4 Munition keine Stanzmarke beobachtet wurde.

4.4 Einfluss der Geschosse auf den Knochen

Die Bestimmung des Geschossdurchmessers und des Kalibers anhand der Schussbruchlücke des Knochens ist schon seit jeher Gegenstand der Untersuchungen forensischer Ballistik. *Kijewski* stellte 1979 fest, dass nicht nur das Kaliber, sondern auch die Geschossart, die kinetische Energie und die Widerstandsfähigkeit des beschossenen Materials Einfluss auf die Größe der Einschusslücke nehmen [16]. *Klages und Weithoener* behaupten, dass es keinen Zusammenhang zwischen der Knochendicke und der Perforationsgröße gäbe [61]. *Berryman et al.* konstatieren, dass die der Vielzahl von Kalibern mit identischen Durchmessern neben vielen weiteren Faktoren wie ihrer Form, Oberfläche sowie Flugeigenschaften eine Bestimmung deutlich erschwert [62]. Dennoch lassen sich in unseren Realfällen sowie den Beschussversuchen reproduzierbare Differenzen finden.

4.4.1 Substanzdefekt Knochen

In den Realfällen konnte nur in 55,3 % der Schüsse eine Abgrenzung der definitiven Größe der Schussbruchlücke erfolgen. Zum einen lag dies an der unvollständigen Dokumentation und zum anderen an der Tatsache, dass bspw. bei Mundschüssen eine genaue Messung durch die teilweise grob zerstörte Anatomie nicht möglich war. Orthogonal auftreffende Geschosse auf den Knochen, wie es bei Schläfen- und Stirnschüssen der Fall war, lieferten jedoch wertvolle Informationen. So wurden nur bei 9 mm-Luger-Geschossen unterkalibrige (< 9 mm) Schussbruchlücken beobachtet. Dies ließ sich ebenfalls bei allen Beschussversuchen mit 9 mm-Luger-Geschossen (Vollmantelmunition) bestätigen. Schon die Autoren älterer Schriften, wie *Berg*, *Tamáška*, *Kuhl und Janssen* sowie *Kijewski* [16; 63 - 65] bemerkten, dass Schussbruchlücken von Vollmantelgeschossen eher kalibergroß oder aber unterkalibrig seien.

Das 9 mm-Luger-Geschoss sowie das .357 Magnum Geschoss, waren in den Realfällen die einzigen Munitionen, die exakt kalibergroße Schussbruchlücken verursachten. Alle anderen Schüsse waren überkalibrig (> 9 mm) groß. In den Schussversuchen fiel auf, dass das wesentlich schnellere Geschoss .375 Magnum ($v_3 = 374,17$ m/s), gegenüber dem genau gleichschweren (10,2 g) jedoch langsameren Geschoss .38 Special ($v_3 = 325,44$ m/s), durchgehend exakt 9 mm große Schussbruchlücken aus dem Knochensimulanz stanzte, während das .38 Special jeweils ca. 2 mm größere Lücken hinterließ (im Durchschnitt 11,17 mm). *Sellier und Knüpling* beschrieben bereits 1969 in ihrem Werk über die „Eindringtiefe von Geschossen in Knochen“, dass schwerere Geschosse beim Aufschlag mehr Energie als leichtere verlorren [66]. *Kneubuehl* erläutert, dass die Höhe der übertragenen Energie auf den Knochen u.a. von der Aufenthaltszeit des Geschosses im Bereich des Knochens abhängig ist, diese Aufenthaltszeit jedoch zur Geschossgeschwindigkeit umgekehrt proportional sei [1, S.138]. Dies erklärt, warum das langsamere, also energieärmere .38 Special Geschoss eine größere Schussbruchlücke hinterlässt als das energiereichere, und schnellere .357 Magnum Geschoss.

In den Schussversuchen wurde beim Action 4 Geschoss eine Durchschnittsgröße des Knochendefektes von 13,17 mm beobachtet. Eine der Eigenschaften der Action 4 Geschosse ist laut der für das Geschoss geltenden technischen Richtlinien, u.a. eine große Energieabgabe auf Weichziele zur Erzeugung der Angriffs- und Fluchtunfähigkeit [9]. Hierzu pilzt der Rand des Geschosses kragenartig auf, während die Kunststoffspitze ins Geschoss gedrückt wird. Somit wird die auftreffende Querschnittsfläche des

Geschosses vergrößert, um die Energieabgabe zu erhöhen. In den Versuchen zeigte die Schussbruchlücke eine Zunahme auf 114,1 % des ursprünglichen Durchmessers der Geschosspitze von 9 mm.

4.4.2 Trichterförmige Erweiterung

Die trichterförmigen Erweiterungen in Schussrichtung an platten Knochen sind ein wundballistisches Phänomen, welches bereits 1881 beschrieben wurde [36]. Die trichterförmige Absprengring erweitert sich charakteristischerweise in Richtung der Schussrichtung. Dieses Phänomen ist hilfreich, um auch bei mazerierten, fauligen oder verbrannten Knochen mit Sicherheit die Schussrichtung zu bestimmen. In der Studie konnten in 89,1 % aller Realfälle, in denen die trichterförmige Erweiterung dokumentiert wurden, sowie in 100 % der Schussversuche, trichterförmige Erweiterungen festgestellt werden. Dies gilt also nicht als munitionsspezifisches Merkmal, sondern ist für alle gängigen Langwaffen- und Kurzwaffenmunition gültig.

4.4.3 Bruchlinien

Die sog. Berstungsbruchlinien, welche neben dem primären Knochendefekt beim Auftreffen auf den Schädel entstehen, liefern keine reproduzierbaren munitionsspezifischen Hinweise. Laut *Kneubuehl et al.* seien diese ab Kaliber 9 mm zu beobachten [1, S.285]. In unseren Realfällen wurde sie bei der 9 mm Luger sowie der Action 4 Munition in 100 % der untersuchten Fälle gefunden. Bei den Teilmantelgeschossen jedoch jeweils nur zu 75 % (.38 Special) und 85 % (.357 Magnum). Bei den Schussversuchen hingegen waren sie in allen Fällen vorhanden, was ggf. an dem spezifischen Bruchverhalten des gewählten Knochensimulanz liegt. Obwohl die Entstehung der Bruchlinien durch den sich im Innern des Schädels aufbauenden hydraulischen Druck entstehen und sich ausgehend von der Schussbruchlücke fortsetzen [1, S. 284], sehen wir in unseren Versuchen auch bei einer flachen Knochenplatte radiale Bruchlinien, welche vom mittig liegenden Substanzdefekt ausgehen.

4.5 Einfluss der Geschosse auf die Weichteile

Die postmortale Schnittbildgebung (pmMSCT) bietet in der vorliegenden Arbeit eine zusätzliche Herangehensweise an die Untersuchung der Geschosswirkung bzw. das Auffinden von Partikeln in den Weichteilen. Bei der Auswertung der Realfälle konnte

bereits eine deutliche Zunahme der Nachweisrate von Knochen- sowie Projektilfragmenten seit der Einführung des Computertomographen im Institut für Rechtsmedizin der Charité vermerkt werden. Dies wurde bereits in Grafik 9 veranschaulicht. Es kann folglich festgestellt werden, dass die pmMSCT als unerlässlich für die Detektion von insbesondere kleineren Fragmenten gilt. Die Vorteile der pmMSCT wurden auch von *Andenmatten et al.* hervorgehoben [67].

In der vorliegenden Studie wird dargelegt, dass es durch die pmMSCT die Möglichkeit besteht, einzelne Wirkungsweisen der untersuchten Munitionen in Bezug auf die Fragmentierung und Fragmentverteilung zu unterscheiden.

In der referierten Versuchsreihe wurden alle beschossenen Gelatineblöcke computertomographisch untersucht und auf das Vorhandensein sowie die Verteilung von Knochen- oder Geschossfragmenten untersucht und die Ergebnisse in Tabellen 12 und 13 sowie in den folgenden Absätzen aufgeführt.

4.5.1 Fragmentverteilung

Bislang wurde in der Literatur mit dem sog. Risslängenverfahren nach *Knappworst* versucht eine quantitative Beziehung der Länge der Risse in der Gelatine zu der vom Geschoss pro cm an den Block abgegebenen Energie zu finden [68]. Dabei wird die Summe aller Risse des gesamten Querschnitts des Gelatineblockes bestimmt und als proportional zur Energieabgabe angenommen, sodass ein Energieabgabeprofil erstellt werden kann [1, S.147]. Auch in der vorliegenden Studie wurden alle Querschnitte der Gelatineblöcke digital addiert und bildeten jedoch anstelle der Risslängen, die Fläche der sich um den Einschuss verteilenden Partikel in der maximalen Intensitätsprojektion ab. So konnte die Streuung der Fragmente in der Frontalsicht und somit eine Durchschnittsfläche der Fragmentverteilung der zu untersuchenden Munitionen ermittelt werden. Hierbei wurde keine Differenzierung zwischen Knochenfragmenten und Projektilfragmenten vorgenommen.

Es stellte sich heraus, dass das 9 mm Vollmantelgeschoss mit 14,72 cm² die kleinste Fläche der sich verteilenden Fragmente im Gelatineblock erzeugt. Das .38 Special Geschoss wies mit 30,18 cm² die größte Fläche auf. Es ist anzunehmen, dass das Deformationsgeschoss (Teilmantel) durch sein charakteristisches Aufpilzungsverhalten einem erhöhten Verlust von kleinsten Metallpartikeln unterliegt. Darüber hinaus bewirkt das .38 Special Geschoss durch seine geringere Geschwindigkeit eine erhöhte Energieabgabe auf den Knochen durch die längere Verweildauer und

erzeugt somit mehr Fragmente. Auch das .357 Magnum Geschoss zeigt in der max. Intensitätsprojektion eine deutlich größere Fläche (26,97 cm²) als das Vollmantelgeschoss.

Das in den Experimenten angewandte Messverfahren wurde noch nicht auf Realfälle übertragen. Bei den Realfällen wird darüber hinaus durch das postmortale Zurücksinken des Gehirns, welches insb. bei traumatischer Belüftung der Schädelhöhle besteht, der Schusskanal verschoben, welches zu berücksichtigen ist.

Neben der Flächenmessung wurden die Gelatineblöcke im Horizontalschnitt virtuell gedrittelt und das Auffinden von Fragmenten für jedes Drittel einzeln dokumentiert. Bereits in der postmortalen Schnittbildgebung der Realfälle konnte beobachtet werden, dass die Mehrheit der Fragmente im proximalen Teil des Schusskanals liegen. Dort ist der Vakuumeffekt der temporären Wundhöhle am höchsten [1, S. 282] und kann somit eine Aussage über die Schussrichtung zulassen. Dieses Phänomen lässt sich ebenfalls mehrheitlich in den Schussversuchen beobachten. Relevante munitionsspezifische Unterschiede konnten dabei nicht herausgestellt werden.

4.5.2 Knochenfragmente

Knochenfragmente wurden nach dem Kollaps der temporären Wundhöhle stets innerhalb des zerstörten Gewebes aufgefunden, da sie zu wenig Energie besitzen, um außerhalb der temporären Wundhöhle eigene Kanäle zu erzeugen [1, S. 138].

Beim Auftreffen des Geschosses auf den platten Knochen verliert dieses nur unwesentlich von seiner Energie (ca. 60 - 70 J). Die Knochensplitter werden durch das sich hinter dem Geschoss bildende „Vakuum“ in die temporären Wundhöhle hineingezogen [1, S. 289-290].

In den hier vorgestellten Schussversuchen konnte dieses Phänomen durch die Hochgeschwindigkeitsaufzeichnungen beobachtet werden. Außer in einem Fall wurden Knochenfragmente in allen Schussversuchen bis im letzten Drittel der Schusskanäle aufgefunden. Dabei blieben die Fragmente in den gebildeten, kollabierten Wundtaschen der temporären Höhle liegen. Auch in den realen Fallbeispielen kann man die Verschleppung der Knochensplitter in den Wundkanal nachvollziehen. Jedoch sind diese Fragmente deutlich kleiner als die der Schussversuche. Diese Differenz kann durch die zu hohe Brüchigkeit der eingesetzten Knochensimulanz erklärt werden. Es konnte bezüglich der Verteilung der Knochenfragmente im Schusskanal keine eindeutige Identifizierung einer speziellen Munitionsart erfolgen.

4.5.3 Projektilfragmente

Mit der pmMSCT ist das Auffinden auch kleinster Projektilfragmente möglich, welche mit dem bloßen Auge oder aber auch taktil bei der klassischen Obduktion nicht nachweisbar wären. Dies erklärt den deutlichen Anstieg der Nachweise seit dem Einsatz des Computertomographen im Institut für Rechtsmedizin der Charité. Besonders bei den Teilmantelgeschossen kann ein hundertprozentiges Vorhandensein von Projektilfragmenten festgestellt werden. Bei der Vollmantelmunition liegt dieser Anteil im untersuchten Kollektiv bei 44,4 %.

Im Gegensatz zum Vollmantelgeschoss (9 mm Luger), kann bei den Teilmantelgeschossen (.38 Special und .357 Magnum) grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass aufgrund ihrer Eigenschaften als Deformationsgeschosse, Projektilfragmente im Schusskanal aufzufinden sind. Da bei den Vollmantelgeschossen der Bleikern durch eine Kupferlegierung vollständig ummantelt ist, ist die Wahrscheinlichkeit eines relevanten Masseverlustes beim Durchdringen des Zielmediums unwahrscheinlich. Bei der Action 4 Munition ist eine Projektilfragmentbildung laut der technischen Richtlinien [9] nicht zu erwarten.

Die oben genannten Annahmen konnten in den Schussversuchen weitestgehend bestätigt werden. Die Vollmantelmunition zeigte nur einen geringen Masseverlust von durchschnittlich 0,75 %. Projektilfragmente konnten in der Bildgebung nicht dargestellt werden. Die Teilmantelgeschosse zeigten Masseverluste von bis zu 4,71 % und es konnten Projektilfragmente entlang der gesamten Strecke der Schusskanäle gefunden werden. Zwischen der .38 Special und .357 Magnum zeigten sich keine erkennbaren Unterschiede. Die Action 4 Munition überraschte mit einem Masseverlust von durchschnittlich 8,61 %. Der Messingrand, welcher sich beim Auftreffen auf das Zielmedium formte und somit den Geschossdurchmesser und die Energieabgabe vergrößerte, brach teilweise vollständig ab und verteilte sich entlang des Schusskanals.

4.6 Munition im Einzelnen

Im Folgenden werden die vier in die Studie eingeschlossenen Munitionen einzeln aufgeführt und charakteristische Schussverletzungsmorphologien beschrieben.

4.6.1 Verhalten der 9 mm Luger Munition

Das 9 mm-Luger-Geschoss wies bezüglich der Schussbruchlücken im Vergleich zwischen den Real- und Versuchsfällen charakteristische Merkmale auf. Die trichterförmige Erweiterung sowie Berstungsbruchlinien konnte in allen Fällen gefunden werden. Jedoch war das 9 mm Geschoss das einzige der vier betrachteten Geschosse, welches unterkalibrige Einschusslücken bewirkte. Dies wurde bereits von *Pollak et al.* [69] 1992 beschrieben, als festgestellt wurde, dass Vollmantel-Geschosse des Kalibers 7,65 mm und 9 mm mehrheitlich unterkalibrige Knochenlücken erzeugten.

Die postmortale Bildgebung zeigt, dass nach deren Einführung im Jahr 2011 in 27,3 % der Realfälle der 9 mm-Luger-Munition, Projektilfragmente aufgefunden wurden. Hierbei ist unklar, ob alle 9 mm-Luger-Geschosse vollummantelt waren, da in sieben von 15 Fällen diesbezüglich keine Dokumentation vorlag. Insgesamt ist die Munitionsart jedoch die, mit der geringsten Projektilfragmentnachweisrate. In den vorgenommenen Versuchen konnte in keinem der Gelatineblöcke Projektilanteile aufgefunden werden, der Masseverlust der einzelnen 9 mm Geschosse belief sich auf weniger als 1 % (0,75 %, 0,65 %, 0,75 %).

4.6.2 Verhalten der Action 4 Munition

Die Action 4 Munition hat als eine u.a. für die deutsche Polizei entwickelte Vollgeschoss-Munition eine Sonderstellung, deren beobachtete Wirkung auf das Zielmedium auf seine Konstruktionsweise zurückzuführen ist. Die Anforderungen an dieses Geschoss sind in den technischen Richtlinien aufgeführt [9] und in der Einleitung (siehe Kapitel 1.2.4.2) zusammengefasst.

Schröer et al. führten 2002, kurz nach der Einführung der Action 4 Munition, erste Schussversuche auf Extremitäten von Schlachtvieh durch [70]. Bereits sie beschrieben ein geringes Deformations- bzw. Zerlegungsverhalten des Geschosses und bemerkten, dass die abgetrennten Metall- und Kunststoffpartikel lokal begrenzt verteilt waren.

Im Vergleich zu allen anderen Munitionsarten, wies das Action 4 Geschoss in den Schussversuchen den höchsten Masseverlust auf (durchschnittlich ca. 8,61 %). Die Projektilfragmente verteilten sich in zwei von drei Fällen im gesamten Schusskanal. Die röntgendichte Plastikkappe löste sich in einem Fall (Schuss Nr. 6) ganzheitlich vom Geschoss und blieb im ersten Drittel des Schusskanals liegen. Gemäß den Anforderungen an den Hersteller [9] trägt das Geschoss nach dem Verschießen zwar erkenntungsdienliche Spuren (hier: Röntgendichtigkeit der gelben Plastikkappe), zeigt

jedoch eine Geschosszerlegung mit einem Masseverlust weit oberhalb der zulässigen 2 %. Eine Projektilfragmentbildung ist auch im Fallbeispiel der Action 4 Munition zu beobachten. Es liegt nahe, dass in den technischen Richtlinien die Wirkung des Polizeigeschosses auf bedeckte/unbedeckte Weichziele nicht das Treffen von Knochen berücksichtigt und somit die Geschosszerlegung unabdingbar ist.

4.6.3 Verhalten der .38 Special Munition

Das .38 Special Geschoss ist das Geschoss mit der geringsten Geschwindigkeit. Es zeigte die größte Verteilung der Partikel in der maximalen Intensitätsprojektion. Darüber hinaus konnten beim Herausarbeiten seiner Wirkungsweise im Vergleich mit allen anderen Munitionen keine weiteren nennenswerten Eigenheiten identifiziert werden. Vergleicht man jedoch lediglich die beiden Teilmantelgeschosse (.38 Special und .357 Magnum) miteinander, fällt auf, dass das langsamere Geschoss die größeren Schussbrüchigkeiten verursacht hat. Die Schussbrüchigkeiten sind jeweils überkalibergroß. Dies konnte bereits in den Realfällen beobachtet werden, bei denen die kleinste Lücke 10 mm maß.

4.6.4 Verhalten der .357 Magnum Munition

Das Teilmantelgeschoss .357 Magnum verhält sich ähnlich zur .38 Special Munition. In den Realfällen konnte in einem Fall eine Schussbrüchigkeit mit dem kalibergroßen Durchmesser von exakt 9 mm gefunden werden, dieses wurde durch ein Teilmantelgeschoss verursacht. Alle weiteren Schussbrüchigkeiten der Realfälle waren überkalibergroß. In den Schussversuchen zeigten sich alle Schussbrüchigkeiten kalibergroß und unterstrichen damit die Annahme, dass Teilmantelgeschosse des Kalibers 9 mm keine unterkalibergroßen Schussbrüchigkeiten erzeugen.

4.7 Schlussfolgerungen und Ausblick

In dieser Dissertation wurde anhand (postmortalen) Schnittbildgebung ausgearbeitet, ob reproduzierbare Charakteristika der Einschuss- und Schusskanalmorphologien der vier untersuchten gängigen 9 mm Geschosse (9 mm Luger, Action 4 Munition, .38 Special und .357 Magnum) bei letalen Kopfschüssen abgrenzbar sind. Dafür wurde in einem experimentellen Ansatz nach zur Obduktion komplementären Hinweisen gesucht. Folgende Punkte konnten herausgearbeitet werden

und können bei der zukünftigen Einschätzung der Schussverletzungen bezüglich des verwendeten Geschosses herangezogen werden:

- a) Die Einschussmorphologien der Haut lassen keine Hinweise auf das Geschoss zu, da alle Geschosse unterkalibergroße Substanzdefekte der Haut erzeugten und die Nahschusszeichen wie Beschmauchung und die sog. Werkgartner'sche Stanzmarke bei allen Geschossarten nahezu gleichermaßen auftraten.
- b) Das 9 mm-Luger-Geschoss verursacht unterkalibergroße Schussbruchlücken. Das .357 Magnum Geschoss erzeugt kalibergroße oder überkalibergroße Schussbruchlücken. Die beiden anderen Geschosse erzeugen jeweils überkalibergroße Schussbruchlücken. Somit ist es per Ausschlussverfahren möglich, die verwendete Geschossart einzugrenzen.
- c) Die Fläche der Knochen- und Projektilfragmente, welche sich um den Schusskanal verteilen, sind in der Versuchsreihe beim 9 mm-Luger-Geschoss am kleinsten. Die Teilmantelgeschosse verursachen eine flächenmäßig doppelt so große Verteilung der Fragmente. Das 9 mm-Luger-Geschoss hat zudem den kleinsten Masseverlust. Das Action 4 Geschoss hat den größten Masseverlust.
- d) Grundsätzlich ist anhand der entlang des Schusskanals befindlichen Projektilfragmente eine Unterscheidung zwischen Vollmantelgeschossen und Teilmantelgeschossen möglich, da das Teilmantelgeschoss durch sein Aufpilzungsverhalten anders als das formstabile Vollmantelgeschoss in allen Fällen Projektilfragmente an das Zielmedium abgibt. Das Action 4 Geschoss unterscheidet sich hauptsächlich durch sein verwendetes Material (Messing/Plastik).

Um die Identifizierung von unbekanntem Geschossen weiterhin zu verbessern, ist die postmortale Schnittbildgebung bei jedem Schussverletzten unerlässlich. Weitere Schussversuche mit einer höheren Fallzahl könnten sich in Zukunft ausschließlich auf die Verteilung der Knochen- und Projektilfragmente konzentrieren, um detailliertere Auswertungen vorzunehmen. Ein Verbundmodell, welches den menschlichen Schädel in seiner sphärischen Form darstellt, kann eine realistischere Partikelverteilung ermöglichen. Die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Simulanzien haben sich durchweg als geeignet erwiesen, um grundlegende anatomische Strukturen zu reproduzieren. Jedoch wären eine niedrigere Gelatine-Konzentration sowie eine Reduktion der Brüchigkeit der Aluminium-Epoxidharzplatte anzustreben.

Bislang wurden in der Literatur hauptsächlich die grundsätzlichen Vorteile der postmortalen Schnittbildgebung insb. bei Schussverletzungen herausgearbeitet, jedoch noch keine Studie bezüglich der Knochen- und Projektilfragmentverteilung bei unterschiedlichen Munitionsarten des verbreiteten Kalibers 9 mm erstellt. Dadurch kann diese Arbeit praktische und relevante Beiträge zur forensischen Arbeit bieten.

5 Zusammenfassung

Die vorliegende retrospektive Studie beinhaltet die Auswertung von 64 Schüssen des Kalibers 9 mm, welche im Studienzeitraum im Institut für Rechtsmedizin der Charité obduziert wurden. Davon stellten sich 73,4 % als Kopfschüsse heraus, welche als gesondertes Fallkollektiv betrachtet und anhand derer typische Schussverletzungsmorphologien der 9 mm Geschosse ermittelt wurden. Die Kopfschüsse wurden in allen Fällen aus suizidaler Motivation begangen.

Die Einführung der postmortalen Schnittbildgebung (pmMSCT) im Institut für Rechtsmedizin der Charité im Jahre 2011 ermöglichte nicht nur einen digitalen Zugang des kompletten anatomischen Datensatzes über den Zeitpunkt der Bestattung des Leichnams hinaus, sondern auch die Möglichkeit anatomische Strukturen, traumatologische Veränderungen und Fremdkörper vor der Obduktion sichtbar zu machen, welche u.a. durch die klassische Schädelöffnung im Zusammenhang verloren gehen würden. So besteht beispielweise seit konsequentem Einsatz der pmMSCT bei Schussverletzungen eine konstant hohe Nachweisrate der Knochen- und Projektilfragmente, welche zuvor in der klassischen Obduktion nicht beobachtet werden konnte.

Um die komplementären Hinweise der Schnittbildgebung auf die Schussverletzungsmorphologien zu prüfen und quantifizieren, wurde ein experimenteller Ansatz konzipiert. Hierfür entstand ein Verbundmodell, welches als Kopfsimulanz in Schussversuchen eingesetzt wurde. Das Modell stellte sich als geeignet heraus um Haut, Schädel und Hirnmasse darzustellen. Darüber hinaus war es einfach zu konstruieren, reproduzierbar und nicht kostspielig. Nach vorgängiger Materialprüfung in Vorversuchen, wurde die Schweineschwarte mit Subkutis als Hautsimulanz, eine Aluminium-Epoxidharzplatte als Knochensimulanz und zehnpromtente ballistische Gelatine als Hirnsimulanz gewählt, welche in dieser Reihenfolge miteinander verbunden und

beschossen wurden. Es wurden die in der retrospektiven Datenanalyse am häufigsten verwendeten 9 mm Geschosse beprobt und als absolute Nahschüsse abgefeuert, da dies auch der häufigsten Distanz beim suizidalen Kopfschuss entspricht. Zum Einsatz kamen das 9 mm Luger, das Action 4 Polizeigeschoss, .38 Special und .357 Magnum Geschoss.

Die Substanzdefekte der Haut, sowie das Auffinden von Pulverresten in den realen und experimentellen Fällen ließen sich aufgrund stark divergierender Messmethoden nicht vergleichen. In den Versuchen zeigten sich jedoch bei allen Geschossen stets unterkalibergroße Substanzdefekte und in 50 % der Fälle Pulverreste an Haut und Schwarteninnenseite. Die Beschmauchung konnte in jeglichen Realfällen sowie Versuchsfällen beobachtet werden. Eine sog. Wergartner'sche Stanzmarke kam zwar in den Realfällen sowie Schussversuchen in einem Viertel aller Fälle vor, ließ jedoch keine Rückschlüsse auf die Munitionsart zu. Somit konnten anhand der Nahschusszeichen an der Haut keine spezifischen Charakteristika der einzelnen Munitionsarten herausgearbeitet werden.

In den Schussversuchen wie auch in den Realfällen konnte gezeigt werden, dass 9 mm-Luger-Geschosse unterkalibrige Schussbruchlücken erzeugen. Bei .357 Magnum Geschossen traten in den Versuchen ausschließlich exakt kalibergroße Schussbruchlücken auf, welche auch in den Realfällen als gleichgroß oder größer dokumentiert wurden. Das langsamere .38 Special Geschoss erzeugte bei gleichem Geschossgewicht jeweils 2 mm größere Schussbruchlücken als das .357 Magnum Geschoss. Das Action 4 Geschoss konnte durch sein Aufpilzungsverhalten mit einer Vergrößerung des Geschossdurchmessers um durchschnittlich 14,1 %, die größten Schussbruchlücken (im Durchschnitt 13,17 mm) provozieren. Es ließ sich somit ableiten, dass bei einer exakt kalibergroßen Schussbruchlücke ein .38 Special und Action 4 Geschoss, bei Unterkalibrigkeit sogar das .357 Magnum Geschoss ausgeschlossen werden können. Es kommt somit das 9 mm Luger oder kleinere Geschosse in Frage. Darüber hinaus konnten anhand der trichterförmigen Erweiterungen des Knochens in Schussrichtung oder der entstandenen Berstungsbruchlinien keine individuellen Geschossmerkmale analysiert werden.

Um die Verteilung der Knochen- und Projektilfragmente der Versuchsfälle miteinander zu vergleichen, wurde nach Anfertigung der computertomographischen Aufnahmen im Querschnitt der Gelatineblöcke, die sich um den Einschuss verteilten Partikel in der maximalen Intensitätsprojektion abgebildet. Anschließend wurde die Durchschnittsfläche der Partikelverteilung ermittelt. Unterschiedliche Flächen stellten

sich vor allem zwischen dem 9 mm-Luger-Vollmantelgeschoss sowie den beiden Teilmantelgeschossen (.38 Special und .357 Magnum) heraus, wobei das Vollmantelgeschoss eine nur halb so große Verteilungsfläche aufwies. Die Verteilung der Partikel im Horizontalschnitt des Gelatineblockes zeigt eine Verdichtung im Einschussbereich und eine Abnahme in Richtung des Ausschusses. Dies lässt keine Unterscheidung der Munitionsarten zu und wird auch so in den Realfällen gleichermaßen beobachtet. Ein Rückschluss auf die Schussrichtung ist dagegen anhand der Partikelverteilung möglich. Projektilfragmente konnten bei der 9 mm-Luger-Vollmantelmunition in keinem der Schussversuche gesehen werden, in den Realfällen jedoch zu 44,4 %. Bei den Teilmantelgeschossen wurden jeweils zu 100 % Projektilpartikel in den Real- sowie Versuchsfällen Projektilfragmente aufgefunden.

Die Action 4 Munition wies den durchschnittlich größten Masseverlust auf. Darüber hinaus war sie anhand der gelben Plastikkappe, welche in der Regel in der Gelatine oder im menschlichen Gewebe aufzufinden war, sowie an den abgesprengten Mantelpartikeln eindeutig zu identifizieren.

6 Anhang

Anhang 1) Anleitung zur Herstellung von Beschussgelatine - BKA

Anleitung zur Herstellung von 8 l Beschussgelatine (10,2 %)

Benötigtes Material:

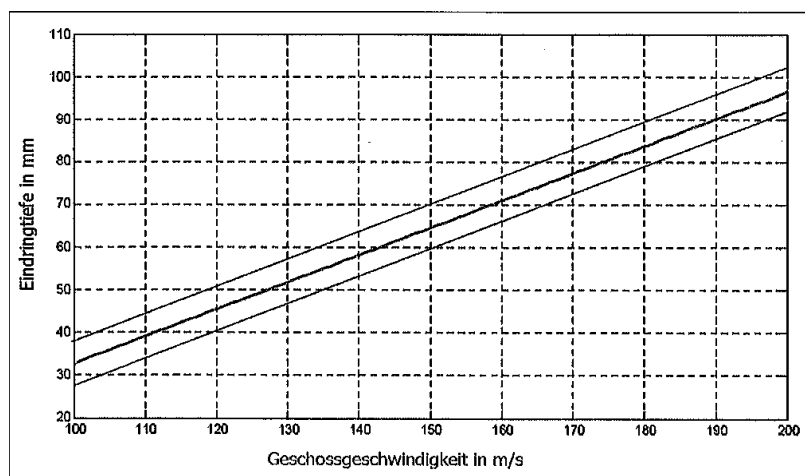
- Speisegelatinegranulat 280 Bloom
- Wasser (ca. 60°C)
- Thermometer (Messbereich mind. 20 - 90 °C, Genauigkeit ± 1 °C)
- Waage (bis ca. 5000 g, Genauigkeit ± 1 g)
- Rührreiner (mind. 12 l)
- Bohrmaschine mit Rührvorrichtung
- Gelatineformen
- Styroporplatten
- Etiketten
- Geschwindigkeitsmessanlage
- Messschieber
- Druckluftwaffe
- Stahlkugeln (Durchmesser 4,4 mm, Gewicht 0,35 g)

Ablauf:

1. 815 g Gelatine abwiegen
2. 7185 ml heißes Wasser aus dem Wasserhahn (ca. 60 °C) in den Rührreiner füllen.
3. Gelatine ohne Rühren hinzugeben
4. Gemisch mit der Rührvorrichtung der Bohrmaschine (linksdrehend) verrühren, bis sich das Gelatinegranulat im Wasser gelöst hat.
5. Heiße Lösung in eine Gelatineform gießen, mit einem Deckel verschließen und auf eine Styroporplatte stellen.
6. Etikett auf die Form kleben und darauf den Herstellungszeitpunkt sowie die Gelatinekonzentration dokumentieren.
7. Gelatine für 24 Std. bei Raumtemperatur abkühlen lassen.
8. Gelatine für 24 Std. im Kühlschrank bei ca. 3,5 °C abkühlen (Zeitpunkt auf Etikett dokumentieren)

Überprüfung der Festigkeit:

1. Geschwindigkeitsmessung starten
 2. Stahlkugel mit der Druckluftwaffe auf den bereits verwendeten Gelatineblock schießen.
 3. Eindringtiefe der Kugel mit Hilfe des Messschiebers ermitteln
- Prüfen, ob sich die Eindringtiefe im Toleranzbereich befindet. Ansonsten müssen die Ergebnisse verworfen werden.



Anhang 2) Gesamtauswertung Schussversuche 1 – 6

	Beschuss-Nummer	1	2	3	4	5	6
Munition	Fabrikat	GECO	GECO	GECO	RUAG	RUAG	RUAG
	Modell	9 mm	9 mm	9 mm	Action 4	Action 4	Action 4
	v3 [m/s] Mittelwert	330,86	330,86	330,86	394,33	394,33	394,33
	Ummantelung	Vollmantel	Vollmantel	Vollmantel	Vollgeschoss	Vollgeschoss	Vollgeschoss
	Geschosspitze	Rundkopf (ogival)	Rundkopf (ogival)	Rundkopf (ogival)	Hohlspitze	Hohlspitze	Hohlspitze
	Geschossmasse (in g)	8	8	8	6,1	6,1	6,1
Waffe	Fabrikat	SigSauer	SigSauer	SigSauer	SigSauer	SigSauer	SigSauer
	Modell	P6	P6	P6	P6	P6	P6
	Laufprofil	Züge/Felder	Züge/Felder	Züge/Felder	Züge/Felder	Züge/Felder	Züge/Felder
Prüfbedingungen	Schussentfernung	aufgesetzt	aufgesetzt	2 mm	aufgesetzt	2 mm	2 mm
Geschoss	Deformation	nein	nein	Heck gedellt	Aufpilzung, Rand komplett abgerissen	Geschoss nicht aufgefunden	Aufpilzung, Rand komplett abgerissen
	Zerlegung Action 4 – Spitze	nein /	nein /	nein /	Randfragmente eingedrückt und abgebrochen		Randfragmente komplett raus
	Geschossmasse (in g)	7,94	7,95	7,94	5,60 ohne Randfragment (5,71 mit Randfragment)		5,55
	Gewichtsverlust in g	0,06	0,05	0,06	0,5/0,39		0,55
	Gewichtsverlust in %	0,75	0,63	0,75	8,2		9,02
	Gewichtsverlust Mittelwert		0,056 g / 0,75 %			0,53 g / 8,61 %	
	Länge des Schusskanals (in cm)	25,9	26,4	26,3	26,3	26,1	27,1
Projektilfragmente	erstes Drittel	nein	nein	nein	+++	+++	++
	zweites Drittel	nein	nein	nein	+	++	+
	drittes Drittel	nein	nein	nein	-	+	+
Knochenfragmente	erstes Drittel	+++	+++	++	+++	++	+++
	zweites Drittel	++	++	+	++	-	++
	drittes Drittel	+	+	+	+	-	++
	Vordingen der Partikel (in cm)			21,3		23,5	
	Fläche der Partikelverteilung (cm ²)	18,15	16,21	9,81	17,16	6,31	24,35
	Mittelwert Fläche		14,72			15,94	
Schweineschwarte	Pulverreste	ja	nein	nein	Ja	ja	nein
	Schmauch	ja	ja	ja	Ja	ja	ja
	Größe der Schusslücke (in mm)	5	5	6	7,5	6	6,5
	Form der Schusslücke	rund	rund	rund	Rund	rund	rund
	sternförmiges Aufplatzen	ja (3,3 cm x 1,2 cm)	ja (5,5 cm x 7 cm)	nein	ja (1,3 cm x 0,9 cm)	nein	ja (3,5 cm x 5 cm)
	Dicke der Schwarte (in mm)	3,5	5,2	4,5	4,5	3,5	4
	Sonstiges	Waffengesicht	Waffengesicht, Knochenfragmente	Knochenfragmente	Knochenfragmente	Knochenfragmente	Knochenfragmente
Knochenplatte	Größe der Schusslücke	8	7	7,5	13	13,5	13
	Form der Schusslücke	rund	rund	rund	Rund	rund	rund
	Trichterförmige Erweiterung	ja	ja	ja	Ja	ja	ja
	Brüche	ja	ja	ja	Ja	ja	ja
	Knochenplatte	rekonstruiert	rekonstruiert	/	/	rekonstruiert	rekonstruiert

Anhang 3) Gesamtauswertung Schussversuche 7 – 12

	Beschuss-Nummer	7	8	9	10	11	12
Munition	Fabrikat	Hirtenberger	Hirtenberger	Hirtenberger	GEKO	GEKO	GEKO
	Modell	.38 Spl	.38 Spl	.38 Spl	.357 Mag	.357 Mag	.357 Mag
	v3 [m/s] Mittelwert	325,44	325,44	325,44	374,17	374,17	374,17
	Ummantelung	Teilmantel	Teilmantel	Teilmantel	Teilmantel	Teilmantel	Teilmantel
	Geschosspitze	Flachkopf	Flachkopf	Flachkopf	Flachkopf	Flachkopf	Flachkopf
	Geschossmasse (in g)	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
Waffe	Fabrikat	S & W	S & W	S & W	S & W	S & W	S & W
	Modell	686 Kal.357 Mag	686 Kal.357 Mag	686 Kal.357 Mag	686 Kal.357 Mag	686 Kal.357 Mag	686 Kal.357 Mag
	Laufprofil	Züge/Felder	Züge/Felder	Züge/Felder	Züge/Felder	Züge/Felder	Züge/Felder
Prüfbedingungen	Schussentfernung	aufgesetzt	2 mm	2 mm	aufgesetzt	2 mm	2 mm
Geschoss	Deformation	Aufpilzung	Aufpilzung	Aufpilzung (leicht)	Aufpilzung und Abrollen des Mantels	Aufpilzung und Abrollen des Mantels	Aufpilzung
	Zerlegung	nein	nein	Nein	nein	mgI	Trennung Mantel und Kern
	Action 4 – Spitze	/	/	/	/	/	/
	Geschossmasse (in g)	9,8	9,95	9,72	10,08	10,14	10,00 (alles; Mantel 1,32 g; Kern 8,68 g)
	Gewichtsverlust in g	0,4	0,25	0,48	0,12	0,06	0,2
	Gewichtsverlust in %	3,92	2,45	4,71	1,18	0,59	1,96
	Gewichtsverlust Mittelwert						
Länge des Schusskanals (in cm)	29,9	0,38 g / 3,69 % 26,8	26,8	26,6	0,13 g / 1,24 % 26,9	26,7	
Projektilfragmente	erstes Drittel	+++	+++	+++	+++	+++	++
	zweites Drittel	++	++	+	+	+++	++
	drittes Drittel	++	+++	+	+	++	++
Knochenfragmente	erstes Drittel	+++	+++	+++	+++	++	++
	zweites Drittel	++	++	++	++	++	++
	drittes Drittel	++	+++	++	++	++	++
	Vordingen der Partikel (in cm)						
	Fläche der Partikelverteilung (cm ²)	30,70	24,99	34,84	28,69	26,72	22,81
	Mittelwert Fläche		30,18			26,07	
Schweineschwarte	Pulverreste	nein	nein	Nein	ja	ja	ja
	Schmauch	ja	ja	Ja	ja	ja	ja
	Größe der Schusslücke (in mm)	8	5	6	6,5	5	4,5
	Form der Schusslücke	rund	rund	Rund	rund	rund	rund
	sternförmiges Aufplatzen	ja (4 cm x 2,8 cm)	nein	Nein	nein	nein	nein
	Dicke der Schwarte (in mm)	5	3,5	5	4,5	4	5
	Sonstiges	Knochenfragmente	Waffengesicht, Knochenfragmente	Knochenfragmente	Knochenfragmente	Knochenfragmente	Knochenfragmente
Knochenplatte	Größe der Schusslücke	11,5	11	11	9	9	9
	Form der Schusslücke	rund	rund	Rund	rund	rund	rund
	Trichterförmige Erweiterung	ja	ja	Ja	ja	ja	ja
	Brüche	ja	ja	Ja	ja	ja	ja
	Sonstiges	rekonstruiert	rekonstruiert	Rekonstruiert	/	rekonstruiert	/

7 Literaturverzeichnis

- [1] Kneubuehl BP (Hrsg.), Coupland RM, Rothschild MA, Thali MJ (2008) Wundballistik - Grundlagen und Anwendungen. 3. vollst. überarb. und erw. Aufl. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
- [2] Waffengesetz (WaffG) vom 11. Oktober 2002 (BGBl. I S. 3970, 4592; 2003 I S. 1957), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 30. Juni 2017 (BGBl. I S. 2133) geändert worden ist" Anlage 1 (zu § 1 Abs. 4) Abschn. 2.1
- [3] Waffengesetz (WaffG) vom 11. Oktober 2002 (BGBl. I S. 3970, 4592; 2003 I S. 1957), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 30. Juni 2017 (BGBl. I S. 2133) geändert worden ist" Anlage 1 (zu § 1 Abs. 4) Abschn. 2.5
- [4] Heintges W (2011) Sicher durch die Jägerprüfung - Waffen und Munition. 31. Aufl. Franckh Kosmos Verlag, Stuttgart S.83-93
- [5] Pollak S (2003) Schussverletzungen. In: Madea B (Hrsg.) Praxis Rechtsmedizin. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
- [6] C.I.P. Protokoll der 9 x19 mm Para(bellum) vom 23.09.08
- [7] 1982 Standardization Agreement (STANAG No. 4090) NATO MAS Small Arms Ammunition (9 mm Parabellum), Aufl. 2
- [8] Langer G (2002) Neue Polizeimunition. Polizeitechnisches Institut bei der Polizeiführungsakademie, Münster
- [9] Technische Richtlinie "9 mm x 19, schadstoffreduziert" (2009), Polizeitechnisches Institut der Deutschen Hochschule der Polizei, Münster.
https://www.dhpol.de/microsite/pti/medien/downloads/wug/technische-richtlinien/TR-Munition-9x19_09-2009.pdf (zugegriffen am 22.06.2019)
- [10] Stappen M (2015) Polizeigeschosse und andere Deformationsgeschosse. 1. Aufl. Verlag Sascha Ulderup, Kappeln
- [11] Martini KH (2016) Das Waffensachkundebuch. 19. bearbeitete Auflage, dwj Verlag, Blaufelden
- [12] Thali MJ, Kneubuehl BP, Zollinger U, Dirnhofer R (2002) The „Skin-skull-brain-model“: a new instrument for the study of gunshot effects. Forensic Sci Int 125:178-189
- [13] Schantz B (1979) Aspects on the choice of experimental animals when reproducing missile trauma. Acta Chir Scand Suppl 489:121-130

- [14] Seymour RB, Kauffman GB (1992) Polyurethanes: A class of modern versatile materials. *J Chem Educ* 69:909-910
- [15] Dei Poli G, Baima Bollone PL (1978) An interpretation of the discrepancy between the entry and exit holes made by bullets in the skull. *Panminerva Med* 20:181-189
- [16] Kijewski H (1979) Möglichkeiten zur Bestimmung von Kaliber, Geschossart und – geschwindigkeit aus der Morphologie des Schusskanals am Schädelknochen. *Arch Kriminol* 164:91-104
- [17] Elvers B (Hrsg.) Alleavitch J, Turner WA (1989) Gelatin. In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Vol. A 12, 5. Aufl. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim
- [18] Kneubuehl B (2004) Serie: Zwischen Wirksamkeit und Gefährlichkeit. Teil 5, *Deutsches – Waffenjournal* 4:88-89
- [19] Breeze J, Hunt N, James G, Clasper J (2013) Experimental penetration of fragment simulation projectile into porcine tissues compared with simulants. *J Forensic Leg Med* 20:296-299
- [20] Cronin DS, Falzon C (2011) Characterization of 10 % Ballistic Gelatin to Evaluate Temperature, Aging and Strain Rate Effects. *Exp Mech* 51:1197-1206
- [21] Fackler ML, Malinowski JA (1988) Ordnance gelatin for ballistic studies. *Am J Forensic Med Pathol* 9:218-219
- [22] Jussila J (2004) Preparing ballistic gelatine – review and proposal for a standard method. *Forensic Sci Int* 14:191-198
- [23] <https://de.wikipedia.org/wiki/Seife> (zugegriffen am 15.01.2019)
- [24] Madea B (2003) *Praxis Rechtsmedizin; Befunderhebung, Rekonstruktion, Begutachtung*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
- [25] Tipler PA (2004) *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure*. 2. deutsche Aufl. Spektrum Akademischer Verlag, München
- [26] Neitzel C (Hrsg.), Ladehof K (2011), *Taktische Medizin: Notfallmedizin und Einsatzmedizin*. 1. Aufl. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
- [27] Sellier K, Kneubuehl BP (2001) *Wundballistik und ihre ballistischen Grundlagen*. 2.Aufl. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
- [28] Sigrist Th (1984) Über die Entstehung der Oberhautverletzung am Einschluß beim Schuß mit aufgesetzter Waffe. *Int J Legal Med* 93(3):199-210
- [29] Sellier K (1969) Einschussstudien an der Haut. *Beitr Gerichtl Med* 25:265-270
- [30] Wirth I, Strauch H (2006) *Rechtsmedizin – Grundwissen für die Ermittlungspraxis*. 2. Aufl. Kriminalistik Verlag Heidelberg S. 161

- [31] Paltauf A (1890) Über die Einwirkung von Pulvergasen auf das Blut und einen neuen Befund beim Nahschuss. Wien Klin Wochenschr. 3:984-991, 1015-1017
- [32] Werkgartner A (1924) Eigenartige Hautverletzungen durch Schüsse aus angesetzten Selbstladepistolen. Beitr Gerichtl Med 6:148-166
- [33] Karger B, Banaschak S, Brinkmann B (1997) Erhaltene Handlungsfähigkeit bei Gehirnschußverletzung. Arch Kriminol 199:159-166
- [34] Pankratz H, Fischer H (1985) Zur Wundballistik des Krönlein-Schusses. Z Rechtsmed 95:213-215
- [35] Risse M, Weiler G (1988) Beitrag zur hydrodynamischen Geschoßwirkung bei Schädel-Sprengschüssen. Arch Kriminol 182:75-82
- [36] Hofmann E (1881) Lehrbuch der Gerichtlichen Medicin. 2. Aufl. Urban & Schwarzenberg, Wien Leipzig, S.279-290
- [37] Madea B, Henßge C, Staak M (1987) Möglichkeiten der Prioritätsdiagnostik bei Schädelchüssen. Arch Kriminol 180:41-46
- [38] König HG, Schmidt V (1989) Beobachtungen zur Ausbreitungsgeschwindigkeit und Entstehungsursache von Berstungsfrakturen beim Schuß. Beitr Gerichtl Med 47:247-255
- [39] Knappe, M (2016) Weiterentwicklung eines biofidelen Fußgänger-Dummys zur realistischen Schadenerzeugung an Fahrzeugen bei experimentellen Simulationen von PKW/Fußgängerkollisionen. Masterarbeit, TU Berlin
- [40] Hartnik AE (2006) Illustrierte Pistolen und Revolver Enzyklopädie. Dörfler Verlag, Eggolsheim
- [41] Ropohl D, Koberne F (1990) Tödlicher Schusswaffengebrauch in Friedenszeiten. Beitr Gerichtl Med 48:339-348.
- [42] Buschmann CT, Fricke A, Tsokos M, Hartwig S (2015) Schusstodesfälle im Land Berlin von 2000 bis 2009. Rechtsmedizin 25:130-138
- [43] Rübenach SP Todesursache Suizid. Statistisches Bundesamt 2007, Auszug aus Wirtschaft und Statistik 10/2007
<https://www.destatis.de/DE/Publikationen/WirtschaftStatistik/Gesundheitswesen/Aktuell/Suizid.html>. (zugegriffen am 20.03.2018)
- [44] Mergl R, Koburger N, Heinrichs K, Székely A, Tóth MD, Coyne J, Quintão S, Arensman E, Coffey C, Maxwell M, Várnik A, Audenhove C, Mcdaid D, Sarchiapone M, Schmidtke A, Genz A, Gusmão R, Hegerl U (2015) What are reasons for the large gender differences in the lethality of suicidal acts? An epidemiological analysis in four

- European countries. PLoS ONE <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129062>
(zugegriffen am 03.02.2019)
- [45] Denning DG, Conwell Y, King D, Cox C (2000) Method choice, intent, and gender in completed suicide. *Suicide Life Threat Behav* 30:282-288
- [46] Kunz SN, Meyer HJ, Kraus S (2013) Gerichtsmedizinische Aspekte suizidaler Schussverletzungen – eine Übersichtsarbeit am Beispiel Deutschlands. *Wien Med Wochenschr* 163:541-548
- [47] Nikolić S, Zivković V, Babić D, Juković F (2012) Suicidal single gunshot injury to the head: differences in site of entrance wound and direction of the bullet path between right- and left-handed- -an autopsy study. *Am J Forensic Med Pathol* 33:43-46
- [48] Eisele JW, Reay DT, Cook A (1981) Sites of suicidal gunshot wounds. *J Forensic Sci* 26:480-485
- [49] Betz P, Peschel O, Eisenmenger W (1994) Suicidal gunshot wounds: site and characteristics. *Arch Kriminol* 193:65-71
- [50] Blumenthal R (2007) Suicidal gunshot wounds to the head: a retrospective review of 406 cases. *Am J Forensic Med Pathol* 28(4):288-291
- [51] Thali MJ, Yen K, Vock P, Ozdoba C, Kneubuehl BP, Sonnenschein M, Dirnhofer R (2003) Image-guided virtual autopsy findings of gunshot victims performed with multi-slice computed tomography and magnetic resonance imaging and subsequent correlation between radiology and autopsy findings. *Forensic Sci Int* 138:8-16
- [52] Jeffery AJ, Ruttly GN, Robinson C, Morgan B (2008) Computed tomography of projectile injuries. *Clini Radiol* 63:1160-1166
- [53] Bornik A, Heinze S, Campana L, Rost T, Wittig H, Labudde D, Genet P, Grabherr S (2019) Theoretische Grundlagen der forensischen Bildgebung. *Rechtsmedizin* 29:1-12
- [54] Oehmichen M, Meissner C, König HG, Gehl HB (2004) Gunshot injuries to the head and brain caused by low-velocity handguns and rifles. *Forensic Sci Int* 146:111-120
- [55] Makhlouf F, Scolan V, Ferretti G, Stahl C, Paysant F (2013) Gunshot fatalities: correlation between post-mortem multi-slice computed tomography and autopsy findings: a 30-months retrospective study. *Leg Med* 15:145-148
- [56] Boas F, Fleischmann D (2012) CT artifacts: Causes and reduction techniques. *Imaging in Medi* 4:229-240
- [57] Giffen MA Jr, Powell JA, McLemore J (2017) Forensic Radiology Pitfalls: CT Imaging in Gunshot Wounds of the Head. *J Forensic Sci* 63:631-634

- [58] Kettner M, Ramsthaler F, Grabherr S, Heinemann A, Birngruber CG, Verhoff MA (2017) Forensische Bildgebung im deutschsprachigen Raum – eine Bestandsaufnahme. *Rechtsmedizin* 27:407-413
- [59] Fischer H, Heinemann A (2016) Arbeitsgemeinschaft für Forensische Bildgebung der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin: Grundlagen der postmortalen Computertomographie (PMCT) für forensisch-radiologische Anwendung – Empfehlungen und Indikationskatalog. *Rechtsmedizin* 26: 284-290
- [60] Faller-Marquardt M, Bohnert M, Pollak S (2004) Detachment of the periosteum and soot staining of its underside in contact shots to the cerebral cranium. *Int J Legal Med* 118:343-347
- [61] Klages U, Weithoener D (1973) Untersuchungen zur Perforationsgrösse bei Schussverletzungen der Schädelkalotte durch Kleinkaliberwaffen. *Z Rechtsmed* 73:35-44
- [62] Berrymann HE, Smith OC, Symes SA (1995) Diameter of cranial gunshot wounds as a function of bullet caliber. *J Forensic Sci* 40:751-754
- [63] Berg S (1955) Zur Frage der Bestimmung des Geschosskalibers aus den Maßen der Knochenschusslücke bei Schädelchüssen. *Dtsch Z Gesamte Gerichtl Med* 43: 575-579
- [64] Tamáska L (1964) Kritische Bemerkungen zur Frage der Geschosskaliberbestimmung aus dem Durchmesser der Einschussöffnungen der Knochen. *Zacchia* 39:158-170
- [65] Kuhl J, Janssen W (1977) Vergleichende Untersuchungen zur Perforationsgrösse durch grosskalibrige Handfeuerwaffen am menschlichen Schädel. *Arch Kriminol* 160:91-104
- [66] Sellier K, Knüpling H (1969) Über die Eindringtiefe von Geschossen in Knochen. *Arch Kriminol* 144:155-160
- [67] Andenmatten MA, Thali MJ, Kneubuehl BP, Oesterhelweg L, Ross S, Spendlove D, Bolliger SA (2008). Gunshot injuries detected by post-mortem multislice computed tomography (MSCT): a feasibility study. *Leg Med* 10:287-292
- [68] Knappworst J (1976) Untersuchung der Geschosswirkung durch quantitative Energieabgabemessungen im Zielmedium Gelatine. In: «Munition», Hrsg. Bundeskriminalamt, Wiesbaden

[69] Pollak S, Ritt F (1992) Vergleichende Untersuchungen an Einschusslücken in Rumpf- und Extremitätenknochen mit vorwiegend spongiöser Struktur. Beitr Gerichtl Med 50:363-372

[70] Schröder J, Gehl A, Kulle K-J, Helmke K, Püschel K (2002) Geschossveränderungen der Action 4 Munition. Rechtsmedizin 12:353-355

8 Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Ruth Elisabeth Zaag, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: Zur Morphologie von tödlichen Schussverletzungen bei Verwendung von Munition des Kalibers 9 mm – unter besonderer Berücksichtigung der postmortalen Computertomographie, selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass mir die Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis bekannt ist und ich mich zur Einhaltung dieser Satzung verpflichte.

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

Datum

Unterschrift

9 Lebenslauf

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

10 Danksagung

Mein Dank gilt Prof. Dr. med. Michael Tsokos, Leiter des Institutes für Rechtsmedizin der Charité, für die Möglichkeit die vorliegende Dissertation am Institut durchzuführen.

Ich bedanke mich bei meinem Doktorvater Herrn PD Dr. med. Sven Hartwig für die herzliche und kompetente Betreuung sowie die fortwährende Unterstützung und umfassenden Hilfestellung während jeder Phase der Entstehung der Dissertationsschrift.

Des Weiteren gilt mein Dank Herrn Martin Gneiße vom LKA Berlin, der den Aufbau und die Durchführung der experimentellen Versuche in den Räumlichkeiten des LKA mit großer Sorgfalt und Expertise möglich machte.

Für das Korrekturlesen und alle Hinweise und Vorschläge möchte ich mich herzlich bei Christian Schell, Johanna Altvater, Patrice Zaag, Tom Liebehenschel und Thomas Schell bedanken.

Mein ganz besonderer Dank gilt meiner Familie und meinem Ehemann, die mir in der Zeit des Verfassens der Dissertationsschrift stets Mut zugesprochen, Freiräume zum Arbeiten gegeben und mich uneingeschränkt unterstützt haben.