

Institut für Rechtsmedizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität des Saarlandes
Homburg/Saar

Institutsleiter: Univ.-Prof. Dr. med. Peter Schmidt

**Validierung der Software HemoSpat™ bei
Schlag-Spritzen-Blutspurenmustern**

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2018

Vorgelegt von: Aline Bever, geborene Schmidt; geboren am 09.01.1988 in Saarbrücken

Für meine Familie

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	V
Symbolverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis	XI
1. Zusammenfassung	1
1.1 Zusammenfassung	1
1.2 Abstract	2
2. Einleitung	3
2.1 Geschichte der Blutspurenanalyse	3
2.2 Elemente der Blutspurenanalyse	6
2.2.1 Eigenschaften von Blut außerhalb des Körpers	6
2.2.2 Klassifizierung von Blutspuren	10
2.2.3 „Area of Origin“	15
2.2.4 Digitale softwaregestützte Kalkulation der „Area of Origin“	20
2.3 Hypothesen	23
3. Material und Methoden	25
3.1 Versuchsraum	25
3.2 Blutproben	30
3.3 Experimente	31

3.3.1 Musteranalyse	31
3.3.2 „Area of Origin“-Experimente.....	32
3.4 Digimizer, SPSS und Tests der konfirmatorischen/explorativen Statistik	36
3.5 HemoSpat™	37
4. Ergebnisse.....	43
4.1 Ergebnisse der Musteranalyse	43
4.2 Ergebnisse der 15 Hauptexperimente mit deskriptiver und explorativer Statistik.....	45
4.2.1 Stammdaten der Blutspritzer	46
4.2.2 Exkludierte Blutspritzer	51
4.2.3 Aufsteigende/Absteigende Blutspritzer	52
4.2.4 Länge, Breite und α -Winkel der Blutspritzer	54
4.2.5 Verteilungsmuster der ausgewählten Blutspritzer.....	58
4.2.6 Überprüfung der Hypothesen.....	60
4.2.6.1 Signifikanztests	60
4.2.6.2 Visuelle Auswertung der „Areas of Origin“	66
5. Diskussion.....	69
5.1 Einflussfaktor Material-/Oberflächenbeschaffenheit der mit Blutspuren bespritzten Objekte.....	70
5.2 Exkludierte Blutspritzer	70
5.3 Fallende Blutspritzer: „downward moving stains“	70
5.4 Einflussfaktor Länge, Breite, α -Winkel	72

5.5 Bidirektionale Auswahl der Blutspritzer	76
5.6 Einfluss der Blutspritzeranzahl auf die Genauigkeit der Ergebnisse bei erfahrenen Analysten	77
5.7 „Area of Origin“	78
5.8 Performance von HemoSpat™ bei mehreren Impacts.....	80
6. Fazit	82
7. Ausblick.....	83
Literaturverzeichnis.....	84
Danksagung	88
Lebenslauf	Fehler! Textmarke nicht definiert.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AG	Aktiengesellschaft
AoO	Area of Origin
BPA	Bloodstain Pattern Analysis
Bvba	Besloten vennootschap met beperkte aansprake lijkheid (= geschlossene Gesellschaft mit beschränkter Haftung)
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
Calc	Calculator (= Rechner)
CI	Confidence Intervall
cm	Zentimeter
Co	Company (= Gesellschaft)
Corp.	Corporation (= eine Form der Aktiengesellschaft in Amerika)
CSI	Crime scene investigation
D (2D, 3D)	dimensional
DGRM	Deutsche Gesellschaft für Rechtsmedizin
d. h.	das heißt
DiffAoO	Difference Area of Origin (= Abweichung Ursprungsort)
ed.	edition (= Auflage)
engl.	englisch
exp.	experienced (= erfahren)
fps	frames per second (= Bilder pro Sekunde)
ft	feet (= Fuß = 30 cm)
g	Gramm
Hg.	Herausgeber
IABPA	International Association of Bloodstain Pattern Analysts
IBM Corp.	International Business Machines Corporation
ID	Identification (= Identifikationsnummer)
IDT	Integrated device technology
Inc.	Incorporated (= amtlich als AG eingetragen)
kg	Kilogramm
LEAA	Law enforcement assistance administration
m	Meter
m³	Kubikmeter
med.	medical (= medizinisch)
ml	Milliliter
mm	Millimeter
µl	Mikroliter
N, n oder No.	number (= Nummer)
NY	New York

qm	Quadratmeter
s	Sekunde
S.	Seite
S.	siehe
sog.	sogenannt
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SWGSTAIN	Scientific Working Group on Bloodstain Pattern Analysis
TM	Trademark (= unregistrierte Warenmarke)
u. a.	unter anderem
unexp.	unexperienced (= unerfahren)
USA	United States of America
usw.	und so weiter
vs.	versus (= im Vergleich zu)
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel

Symbolverzeichnis

arcsin	Arkussinus
arctan	Arkustangens
sin	Sinus
tan	Tangens
α	Alpha
β	Beta
γ	Gamma
Δ	Delta
=	gleich
\circ	Grad
>	größer
\geq	größer gleich
<	kleiner
\leq	kleiner gleich
%	Prozent
&	und

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Effekt einer unterschiedlich großen Oberfläche der Ursprungsquelle auf das resultierende Tropfenvolumen	8
Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Fallhöhe (in cm) und Durchmesser (in cm) einzelner losgelöster Blutstropfen (Tropfversuch mit 50 µl).....	9
Abbildung 3: Ebene 1 und 2 der Blutspurenklassifizierung nach Bevel und Gardner	11
Abbildung 4: Darstellung von „Spatter Stains“	12
Abbildung 5: Klassifizierungsmodell nach Bevel und Gardner: „Spatter Stains“	13
Abbildung 6: Klassifizierungsmodell nach Bevel und Gardner: „Non-Spatter Stains“.....	14
Abbildung 7: Ursprungsort/-bereich	16
Abbildung 8: Länge-Breite-Verhältnis eines Blutstropfens verglichen mit einem rechtwinkligen Dreieck	17
Abbildung 9: Länge-Breite-Verhältnis eines Blutstropfens in Korrelation zum Auftreffwinkel	18
Abbildung 10: Blutstropfenumriss in Abhängigkeit vom Auftreffwinkel.....	19
Abbildung 11: Parabelförmige Flugbahnen von Blutstropfen	19
Abbildung 12: Beispiel für ein Koordinatensystem im Tatortraum	20
Abbildung 13: Richtungswinkel γ	21
Abbildung 14: Effekte der Oberflächenbeschaffenheit der Auftreffebene auf die Blutspureneigenschaften.....	25
Abbildung 15: Original Raumkonstruktion Wand F	27
Abbildung 16: Original Raumkonstruktion Wand R	27

Abbildung 17: 3D-Raumkonstruktion: A=Schellen, B=Führungsschacht aus Metall, C=Hammerkopf, D=Metallstange, E=Petrischale, F=Möbelbauplatte auf Tisch, G=Möbelbauplatten	28
Abbildung 18: Versuchsvorrichtung	29
Abbildung 19: Blutwerte Proband A und B	30
Abbildung 20: Beispiel differierender "Area of Origin"-Positionen	32
Abbildung 21: Berechnung von x, y und z mittels Digimizer.....	34
Abbildung 22: Beispiel für von der Analyse ausgeschlossene Blutspritzer.....	35
Abbildung 23: Beispiel für die Eingabe eines Blutspurenmusters bei HemoSpat™	38
Abbildung 24: Werkzeuge bei HemoSpat™.....	39
Abbildung 25: 2D-Top-View Versuch B U1b (Experte).....	40
Abbildung 26: 2D-Side-View Versuch B U1b (Experte)	41
Abbildung 27: 2D-Front-View Versuch B U1b (Experte)	41
Abbildung 28: Export nach Collada: Top-View Versuch B.....	42
Abbildung 29: Export nach Microsoft Excel: Versuch B U1b (Experte).....	42
Abbildung 30: Sich "kronenformähnlich" von der Blutquelle entfernende Blutstropfen nach Auftreffen eines Hammerkopfes in eine Blutlache	44
Abbildung 31: Boxplot: Blutspritzeranzahl in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten	50
Abbildung 32: Boxplot: Blutspritzeranzahl in Abhängigkeit vom jeweiligen Analysten	50
Abbildung 33: Boxplot: Blutspritzerlänge in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten	55

Abbildung 34: Boxplot: Blutspritzerbreite in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten	56
Abbildung 35: Boxplot: α -Winkel in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten.....	57
Abbildung 36: Versuch O U2a (Nichtexperte).....	67
Abbildung 37: Versuch O U2b (Nichtexperte).....	67
Abbildung 38: Versuch O U1a (Experte).....	68
Abbildung 39: Versuch O U1b (Experte)	68
Abbildung 40: Unterschied zwischen realer und errechneter Flugbahn	71
Abbildung 41: Boxplot: Blutspritzerlänge ≤ 10 mm in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten.....	74
Abbildung 42: Boxplot: Blutspritzerlänge ohne Eingrenzung in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten.....	74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Versuche A - F, 1 Impact	45
Tabelle 2: Versuche G - K, 2 Impacts	45
Tabelle 3: Versuche L - O, 3 Impacts	46
Tabelle 4: Ausschnitt aus dem Stammdatenverzeichnis der Blutspritzer.....	47
Tabelle 5: Abweichung des realen Ursprungsortes vom errechneten Ursprungsort	49
Tabelle 6: Ein- und ausgeschlossene Blutspritzer in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten.....	51
Tabelle 7: Ein- und ausgeschlossene Blutspritzer in Abhängigkeit vom jeweiligen Analysten	52
Tabelle 8: Auf- und absteigende Blutspritzer in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten	53
Tabelle 9: Auf- und absteigende Blutspritzer in Abhängigkeit vom jeweiligen Analysten	53
Tabelle 10: Blutspritzerlänge in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten	55
Tabelle 11: Blutspritzerbreite in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten	56
Tabelle 12: α -Winkel in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten	57
Tabelle 13: Gesamtzahl der Blutspritzer (vor Exklusion) bezogen auf Analyst und Wand F bzw. R.....	59
Tabelle 14: Deskriptive Statistik über die Abweichung der realen x-Koordinaten von den errechneten x-Koordinaten.....	61
Tabelle 15: Deskriptive Statistik über die Abweichung der realen y-Koordinaten von den errechneten y-Koordinaten.....	62

Tabelle 16: Deskriptive Statistik über die Abweichung der realen z-Koordinaten von den errechneten z-Koordinaten	62
Tabelle 17: Abweichung des realen Ursprungsortes vom errechneten Ursprungsort	63
Tabelle 18: Statistische Auswertung: unerfahrene vs. erfahrene Analysten.....	64
Tabelle 19: Statistische Auswertung der einzelnen Analysten	65
Tabelle 20: Blutspritzerlänge ≤ 10 mm in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten	75
Tabelle 21: Blutspritzerlänge ohne Eingrenzung in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten	75

1. Zusammenfassung

1.1 Zusammenfassung

Im Mittelpunkt der vorliegenden Dissertation steht die Frage nach der Validität und Objektivität von digitalen, softwaregestützten Blutspurenanalysen unter Verwendung der speziell hierfür entwickelten Software HemoSpat™.

HemoSpat™ ermöglicht es mittels importierter digitaler Fotoaufnahmen von Blutspuren eines Tatorts virtuell die „stringing method“ anzuwenden und somit den Ursprungsort eines Tatgeschehens (= „Area of Origin“) zu ermitteln.

Im Zuge der Doktorarbeit wird untersucht, ob durch die Anwendung von HemoSpat™ eine für forensische Zwecke hinreichend genaue „Area of Origin“-Bestimmung möglich ist und ob sich ein signifikanter Unterschied in der „Area of Origin“-Berechnung zwischen Experten und Nichtexperten in der Blutspurenanalyse ergibt.

Um die bestmögliche Vergleichbarkeit der einzelnen Untersuchungsschritte zu erzielen und materialbedingte Artefakte bei der Blutspurenentstehung zu minimieren, wird für die Durchführung der Experimente ein Modellraum mit vordefinierten Wänden und Oberflächen erbaut.

Es werden 15 Experimente durchgeführt, bei denen durch das Fallenlassen eines Hammerkopfes über eine Metallrohrvorrichtung in eine vordefinierte Blatlache mehrfach Schlag-Spritz-Muster erzeugt werden. Aus diesen Blutspurenmustern wählen jeweils zwei Experten und zwei Nichtexperten eine beliebige Anzahl (jedoch ≥ 10 und ≤ 50) Blutspuren aus, die anschließend mit HemoSpat™ ausgewertet werden.

Als Ergebnis zeigt sich, dass mit HemoSpat™ zwar eine hinreichend genaue Bestimmung der „Area of Origin“ möglich ist, Voraussetzung hierfür jedoch eine Auswahl der Blutspuren durch erfahrene Blutspurenanalysten ist. Die Validität des Programmes steht somit in Zusammenhang mit dem Blutspurenanalysten. Die errechneten „Areas of Origin“ weisen bei den Experten eine signifikant geringere Differenz zu den tatsächlichen „Areas of Origin“ auf als bei den Nichtexperten. Diese Abweichung in der Zuverlässigkeit der „Area of Origin“-Schätzung ist teilweise so ausgeprägt, dass eine Spezifizierung der Opferposition bei einem Tathergang (z. B. Liegen versus Sitzen versus Stehen) unerfahrenen Analysten nicht mehr zuverlässig möglich ist.

1.2 Abstract

The present dissertation aims at testing validity and objectivity of digital, software-supported bloodstain pattern analysis (BPA) using the BPA analysis software program HemoSpat™.

HemoSpat™ was developed to apply virtual “stringing” to digital data of crime scene bloodstain patterns and thus to facilitate “area of origin” analysis.

Besides an investigation of overall area of origin determination quality to obtain data on adequacy of the procedure for forensic purposes, the influence of professional BPA experience is tested, comparing the degree of consistency of HemoSpat™ “area of origin” analysis of BPA experts with unexperienced analysts with the actual “area of origin”.

In order to ensure best comparability between the individual steps during experimenting and to avoid material-dependent artefacts while creating the bloodstain patterns, it is necessary to build a room with predefined walls and surfaces.

Subsequently, 15 experiments are conducted producing multiple impact-spatter-patterns by dropping a hammerhead through a metal tube into a standardised pool of blood. Out of these blood patterns two experts and two unexperienced analysts select an optional number of bloodstains (but ≥ 10 and ≤ 50) which are analysed with HemoSpat™.

The analysis reveals that it is possible to determine a sufficiently exact “area of origin” using HemoSpat™, but only if the selection of the bloodstains is done by experts. The calculated “areas of origin” by the experts show a significantly higher degree of consistency from the actual “areas of origin” than the ones selected by the unexperienced analysts. This difference in performance is partly so distinctive that the exact determination of a victim’s position (for example lying vs. sitting vs. standing) at a crime scene is impossible for unexperienced analysts.

2. Einleitung

2.1 Geschichte der Blutspurenanalyse

Unter dem Terminus der Blutspurenanalyse wird die Untersuchung von Blutspuren(mustern), ihre Verteilung und Kategorisierung verstanden. Sie dient der Herleitung und Rekonstruktion von Ereignisabläufen an Tatorten. [7, 11, 18, 32, 39]

Eine der ersten systematischen Untersuchungen in der Blutspurenanalyse geht auf Piotrowski (Mitarbeiter des Instituts für forensische Medizin in Krakau, Polen) im Jahr 1895 zurück [11, 15, 32]. Seine Experimente, welche er laut eigener Darstellung u. a. mit lebenden Tieren wie Hasen durchgeführt hat, befassen sich mit der Entstehung von Blutspuren, verursacht durch Schläge mit Hämtern, Steinen oder Äxten [25, 34]. Sein Werk „Über Entstehung, Form, Richtung und Ausbreitung der Blutspuren nach Hiebwunden des Kopfes“ wird 1895 in Wien publiziert [1, 11, 15, 34]. Im Ergebnis stellt Piotrowski - als einer der Ersten - einen Zusammenhang zwischen der Ausrichtung einer Blutspur und ihrer Flugrichtung her. Zudem arbeitet er den parabelförmigen Flugweg von Blutstropfen heraus [1].

In den darauffolgenden Jahren werden mehrere Arbeiten zur Blutspurenanalyse veröffentlicht: Gross (Österreich) zeigt 1904 die häufig anzutreffende Zerstörung von Blutspuren durch Umherstehende und deren Vermeidung und erstellt 1908 eine systematische Methode zum Aufsuchen, Beschreiben, Abtragen und Aufbewahren von Blutspritzen [24, 34]. Schmidtmann (Deutschland) diskutiert 1905 die Möglichkeit einer Rekonstruktion des Tatgeschehens mithilfe der morphologischen Eigenschaften von Blutspuren [32]. Ziemke (Deutschland) beobachtet 1914 u. a. die Formeigenschaften von Blutspurenmustern in Abhängigkeit von der Fallhöhe [26, 32]. Balthazard (Frankreich) und Kollegen veröffentlichen 1939 erste Erkenntnisse über die Rekonstruktion des Ausgangspunktes eines Spritzmusters und den trigonometrisch definierbaren Zusammenhang zwischen dem Länge-Breite-Verhältnis eines Blutspritzers und dessen Auftreffwinkel [1, 32, 34].

Ein weiterer Meilenstein in der Geschichte der Blutspurenanalyse ist Paul Kirk (ehemaliger Mitarbeiter an der Universität von Kalifornien in Berkeley) zu verdanken. Als er 1955 im Rechtsstreit „State of Ohio vs. Samuel Sheppard“ (Tatbestand: Ermordung von Ehefrau Marylin Sheppard) die ungefähre Position von Angreifer und Opfer am Tatort nachweisen

kann, wird die wissenschaftliche Blutspurenanalyse erstmals von einem Rechtssystem als Beweismittel anerkannt. [1, 14, 15, 17]

Die zunehmende Nutzung der Blutspurenanalyse als Beweisstück in Ermittlungsverfahren ist das Ergebnis der wissenschaftlichen Erforschung und praktischen Anwendung der Blutspurenanalyse u. a. durch Herbert Leon MacDonell (ehemalig „Director of the Laboratory of Forensic Science in Corning, New York“) [14]. Mit finanzieller Unterstützung der Strafverfolgungsbehörde LEAA ist es ihm möglich, zahlreiche Experimente zur Reproduktion an Tatorten gefundener Blutspurenmuster durchzuführen [15]. MacDonell veröffentlicht die Ergebnisse seiner Untersuchungen in verschiedenen Publikationen; z. B. 1971 in „Flight Characteristics and Stain Patterns of Human Blood“ [15, 22, 34]. Wenig später erscheinen Monographien unter dem Titel „Laboratory Manual on the Geometric Interpretation of Human Bloodstain Evidence“ [15, 23] und „Bloodstain Pattern Interpretation“ [15, 21]. MacDonell entwickelt zudem 1973 ein Ausbildungsprogramm zum Erwerb der Grundlagen der Blutspurenanalyse und leitet in den darauffolgenden Jahren die erste Gesellschaft für Blutspurenanalyse, deren Mitglieder 1983 die „International Association of Bloodstain Pattern Analysts“ gründen [15, 43].

Weitere bedeutende Vertreter der wissenschaftlichen Blutspurenanalyse sind Ross M. Gardner (USA, Gründungsmitglied von SWGSTAIN¹) [1, 12], Tom Bevel (Mitglied der IABPA und Gründungsmitglied von SWGSTAIN) [1] und Stuart H. James (Mitglied der IABPA und von SWGSTAIN) [15].

In Bezug auf die institutionelle Verortung des Einsatzes von Blutspurenanalysen existiert ein bedeutender praktischer Unterschied im Vergleich USA - Deutschland bzw. Europa. In den USA wird die Blutspurenanalyse ausschließlich durch Polizeibeamte durchgeführt, während in Europa die Blutspurenanalyse in der Regel als Aufgabengebiet in den Instituten für Rechtsmedizin verortet ist [41].

Eine Gemeinsamkeit besteht allerdings darin, dass standardisierte Arbeitsrichtlinien existieren und Kursprogramme zur Aus- und Fortbildung in forensischer Blutspurenanalyse angeboten werden [32].

¹ Scientific Working Group on Bloodstain Pattern Analysis. 2002 gegründet, um eine standardisierte Arbeitsrichtlinie und Terminologie in der Blutspurenanalyse zu entwerfen [12, 38].

Die forensische Blutspurenanalytik unterliegt dem technischen Fortschritt und nutzt zunehmend auch digitale Hilfsmittel. Gleichzeitig verlangt jede Anwendung neuer Technologien eine gewissenhafte und unvoreingenommene wissenschaftliche Evaluation. Thema der vorliegenden Dissertation ist daher die Prüfung der Validität und Objektivität von digitalen, softwaregestützten Blutspurenanalysen unter Verwendung der speziell hierfür entwickelten Software HemoSpat™.

2.2 Elemente der Blutspurenanalyse

2.2.1 Eigenschaften von Blut außerhalb des Körpers

Blut besteht aus Zellen und proteinreichem Plasma. Es besitzt neben den für seine biologischen Funktionen notwendigen biochemischen Eigenschaften auch physikalische Merkmale, die in spezieller Weise nach Austritt aus dem Körper zum Tragen kommen können. Der folgende Überblick der physikalischen Eigenschaften extrakorporalen Blutes soll die Auswirkung auf die Gestalt von Blutspurenmustern erläutern. Diese Eigenschaften und Auswirkungen zu kennen ist von hoher Bedeutung für den Analysten bei der forensischen Blutspurenanalyse.

Tritt Blut aus dem Körper, so werden die Gesetze von Bewegung und Schwerkraft durch Eigenschaften wie Adhäsionskräfte, Komprimier- und Verformbarkeit, aber auch durch Trocknungseigenschaften oder Separationsphänomene beeinflusst. Neben den bereits genannten sind zahlreiche weitere Eigenschaften von Blut und Kontaktgegenständen bei der forensischen Blutspurenanalyse zu berücksichtigen:

- Dichte,
- Viskosität,
- Temperatur,
- Oberflächenspannung,
- Tropfengröße,
- Fallhöhe,
- Auftreffgeschwindigkeit,
- Oberflächenbeschaffenheit der Auftreffebene. [11, 19, 34, 36]

Nachfolgend soll näher auf diese Basiseigenschaften eingegangen werden:

Die Dichte von Blut beträgt ca. 1055 kg/m^3 [19 ,34]. Sie ist somit 1,055mal größer als die von Wasser [34].

Die Viskosität quantifiziert die Zähflüssigkeit eines Fluids. Sie ist bei Blut abhängig von Temperatur, Hämatokrit, Aggregationsmaß und Zelldispersion. [34]

Nach dem Austritt von Blut aus dem Körper ist dieses neben fluidimmanenten Gerinnungsvorgängen auch externen physikalischen Phänomenen wie z. B. Trocknungs- oder Separationsvorgängen ausgesetzt [11, 33, 34, 35].

So hat u. a. die Umgebungstemperatur Einfluss auf die Trocknungszeit eines Blutstropfens. Ein durch Gravitation entstandener Blutstropfen (beispielsweise nach Abtropfen von einem Gegenstand) trocknet bei einer Umgebungstemperatur von 20°C in ca. 60 Minuten. Liegt die Umgebungstemperatur bei 24°C, verringert sich die Trocknungszeit auf ca. 30 Minuten. Umgekehrt verlängert sich die Trocknungszeit bei kälteren Temperaturen. Aus diesen Gesetzmäßigkeiten lassen sich z. B. relevante Rückschlüsse auf einen Tatzeitraum ziehen. [34, 35]

Die Oberflächenspannung hat einerseits Auswirkungen auf die Tropfenform im Flug und andererseits auf die Größe eines Blutstropfens. Flüssigkeiten nehmen im Flug nahezu immer eine Kugelform an, da diese versuchen die stabilste, energieärmste Konfiguration zu erlangen, indem sie die Oberfläche (hier sind die Kohäsionskräfte², die zur Oberflächenspannung führen, am größten) minimieren [1, 10, 15, 39]. Abweichungen von der idealen Kugelform durch Oszillation sind möglich [1, 34]. Da die Blutmenge, die benötigt wird, um die Oberflächenspannung zu durchbrechen, das Volumen des Tropfens bestimmt und die Oberflächenspannung mit zunehmender Oberfläche ansteigt, resultiert von einer größeren Oberfläche auch ein voluminöserer Tropfen. Das bedeutet, dass zum Beispiel durch den breiten Kopf eines Baseballschlägers größere Tropfen erzeugt werden, als durch die schmale Spitze eines Messers (**Abbildung 1**). Größere Tropfen verursachen größere Blutspuren und im Fall sog. Tropfen-in-Tropfenspuren mehr Satellitenspuren. [15, 32]³

² Kohäsion = die Anziehungskraft zwischen zwei gleichen Molekülen

³ Dies betrachtend publiziert MacDonell 1990 Daten, die zeigen, dass der Durchmesser einer Blutspur durch das Tropfenvolumen beeinflusst wird [15].

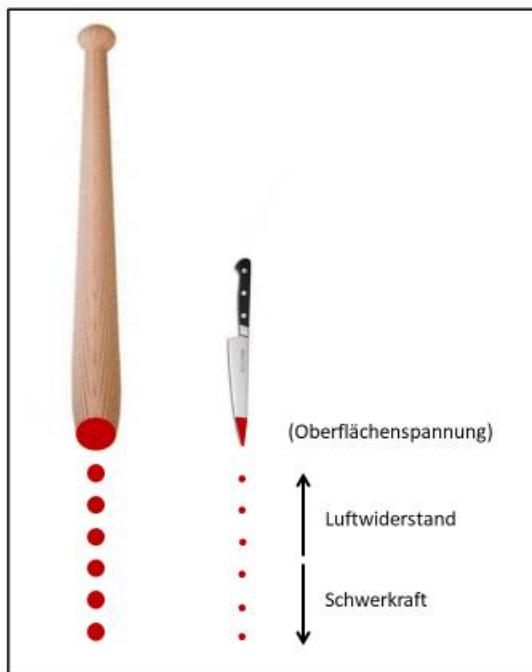


Abbildung 1: Effekt einer unterschiedlich großen Oberfläche der Ursprungsquelle auf das resultierende Tropfenvolumen⁴

Weitere Variablen betrachtend zeigt sich, dass ein Blutstropfen mit zunehmender Fallhöhe sowohl eine höhere Geschwindigkeit erreicht (kleinere Tropfen schneller als größere), als auch einen größeren Durchmesser beim Auftreffen hinterlässt. **Abbildung 2** demonstriert den Zusammenhang zwischen Fallhöhe und Durchmesser einzelner losgelöster Blutstropfen mit einem Blutstropfenvolumen von 50 µl. Sie zeigt, dass der Zuwachs an Tropfengröße aber limitiert bleibt und dass eine ca. 10-fache Zunahme an Fallhöhe nur eine etwa 1,5-fache Vergrößerung des Blutstropfens beim Auftreffen zur Folge hat. Die Geschwindigkeit wird durch den Luftwiderstand begrenzt. Das heißt, dass diese nur bis zu dem Niveau ansteigen wird, bei dem die Schwerkraft und die Luftwiderstandskraft im Gleichgewicht sind. Diese Terminalgeschwindigkeit hängt zusätzlich von der Tropfengröße ab: größere Blutstropfen erreichen eine höhere Terminalgeschwindigkeit. [15, 34, 40]

⁴ In Anlehnung an James S H, Kish P E, Sutton T P (2005) Principles of Bloodstain Pattern Analysis, Theory and Practice. CRC Press Taylor & Francis Group, Florida, S. 64.

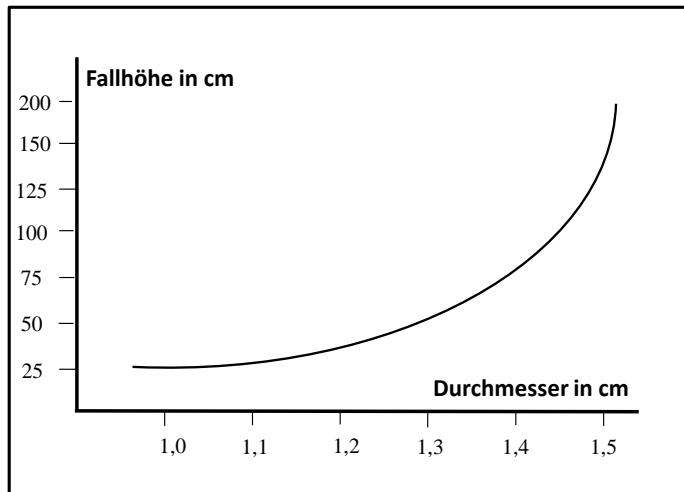


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Fallhöhe (in cm) und Durchmesser (in cm) einzelner losgelöster Blutstropfen (Tropfversuch mit 50 µl)⁵

Im Unterschied zur zunehmenden Fallhöhe führt ein Zuwachs an Geschwindigkeit bis zu einer bestimmten Höhe zu einem kleineren Durchmesser der entstehenden Blutspuren. Bei Überschreitung gewisser Geschwindigkeiten übersteigt der Druck durch den Luftwiderstand den Druck im Inneren des Tropfens und der Blutstropfen kann sich in mehrere kleine Tropfen spalten. [2] Das bedeutet, dass sich die Größe der Blutspuren umgekehrt proportional zur Geschwindigkeit der auf die Blutquelle einwirkenden Kraft verhält. [15]

Neben der Geschwindigkeit spielt vor allem auch die Masse der einwirkenden Kraft eine Rolle bei der Musterbildung der Blutspuren.

Eine weitere zu berücksichtigende Eigenschaft ist die Oberflächenbeschaffenheit der Auftreffebene. Trifft ein Blutstropfen auf eine glatte, harte, nichtporöse Oberfläche (z. B. bei Glas, Fliesen oder Porzellan) verhindert die Oberflächenspannung des Tropfens eine Ruptur, wodurch glattrandige, beim freien Fall runde Blutstropfen entstehen. Ist die Oberfläche hingegen rau oder porös (z. B. bei Holz, Stoff oder Papier), reicht die Oberflächenspannung des Blutstropfens nicht mehr aus und wird beim Kontakt mit der Kollisionsoberfläche durchbrochen. Die resultierende Blutspur wird irregulär mit oft stacheligem Rand und regelhaft entstehen zusätzliche Satellitenspuren (**Abbildung 14**, S. 25). [15, 32]

Dieser kurze Überblick soll verdeutlichen, dass die physikalischen Eigenschaften extrakorporalen Blutes die Gestalt von Blutspurenmustern bestimmen und vom Analysten bei der Interpretation dringend berücksichtigt werden müssen.

⁵ In Anlehnung an Ramsthaler F, Peschel O, Rothschild M (2015) Forensische Blutspurenmusteranalyse. Lehmanns media, Berlin, S. 195.

2.2.2 Klassifizierung von Blutspuren

Das Ziel einer Blutspurenanalyse ist es, aus den Formeigenschaften der einzelnen Blutspuren wie auch der Gruppenmuster, ihrer Dichte und Anordnung rekonstruktive Rückschlüsse auf die in Betracht kommenden Geschehensabläufe zu ziehen, durch die die Blutspuren letztendlich entstanden sind.

Bei der Blutspurenanalyse lassen sich verschiedene gebräuchliche Klassifikationssysteme unterscheiden. Nachfolgende Ausführungen basieren auf dem im amerikanischen Fachsprachgebrauch üblichen und im Vergleich zu anderen Systemen deutlich komplexeren Klassifizierungsmodell.

Abhängig von der Art der Gewalteinwirkung, der eine Blutquelle ausgesetzt ist (folglich dem Entstehungsmechanismus eines Blutspurenmusters), gibt es drei zu differenzierende Kategorien:

1) *Spuren durch Einwirkungen niedriger Geschwindigkeit (Low-Velocity Impact Spatter)*

Blutspuren, die entstehen, wenn eine so große Kraft einwirkt, dass sich lösende Blutstropfen einen Bewegungsimpuls von ca. 2 m/s erhalten und durchschnittliche Tropfenspuren von ca. 4 mm entstehen (z. B. fallende Tropfen). [1, 11, 14, 15, 32]

2) *Spuren durch Einwirkungen mittlerer Geschwindigkeit (Medium-Velocity Impact Spatter)*

Blutstropfen, die entstehen, wenn eine so große Kraft einwirkt, dass sich lösende Blutstropfen einen Bewegungsimpuls von ca. 8-9 m/s erhalten und durchschnittliche Tropfenspuren von ca. 1-3 mm entstehen (z. B. ein Schlag oder ein Messerstich). Auch kleinere oder größere Tropfen werden jedoch beobachtet. [1, 11, 14, 15, 32]

3) *Spuren durch Einwirkungen hoher Geschwindigkeit (High-Velocity Impact Spatter)*

Blutspuren, die entstehen, wenn eine so große Kraft einwirkt, dass sich lösende Blutstropfen einen Bewegungsimpuls von mehr als 35 m/s erhalten und durchschnittliche Tropfenspuren von kleiner 1 mm entstehen (z. B. Schusswaffe). Auch kleinere oder größere Tropfen werden jedoch beobachtet. In dieser Kategorie ist häufig ein feiner Nebel aus Blutspuren zu beobachten. [1, 11, 14, 15, 32]⁶

⁶ Die Einteilung in „Low-, Medium- und High-Velocity“ wird erstmals 1971 durch Herbert MacDonell und Lorraine Bialousz vorgestellt [1].

Hier wird deutlich, dass die Kategorien nicht scharf voneinander getrennt werden können und sich teilweise überschneiden.

Als weitere Klassifizierungsmerkmale der Blutspritzer und Spurenmuster dienen neben der Größe äußere Eigenschaften wie Form, Lage, Dichte und Verteilung [15].

Morphologisch werden die Blutspuren/-spritzer in zwei große Gruppen - „Spatter Stains“ und „Non-Spatter Stains“ - unterteilt (**Abbildung 3**). Beide Gruppen lassen sich in weitere Unterkategorien einteilen (siehe dazu die **Abbildungen 5 und 6** auf S. 13 und 14). [1]

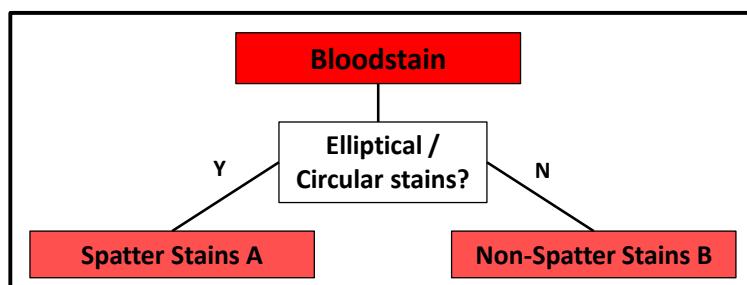


Abbildung 3: Ebene 1 und 2 der Blutspurenklassifizierung nach Bevel und Gardner⁷

1) „Spatter Stains“

Diese sind kreisförmig oder elliptisch geformt, können muschel- oder schweifartige Ausläufer haben und Satellitenspuren aufweisen (**Abbildung 4**) [1].

Sie entstehen durch aktive Beschleunigung oder durch passive Krafteinwirkung (Gravitation = „Passive Bloodstains“) [1, 15, 32]. Sie weisen eine Flugrichtung und Größenunterschiede auf und zeigen eine bestimmte Verteilung, je nachdem welcher Mechanismus ursächlich für ihre Entstehung ist [15].

Ein Blutspurenmuster ist zudem durch die Größenverteilung der Blutspuren innerhalb des Musters gekennzeichnet. Im Allgemeinen können aktiv beschleunigte größere Tropfen weitere Distanzen vom Entstehungsort zurücklegen als die kleineren, da die kleineren Tropfen relativ stärker durch den Luftwiderstand beeinflusst werden. [15]

⁷

In Anlehnung an Bevel T, Gardner R M (2008) Bloodstain Pattern Analysis, With an Introduction to Crime Scene Reconstruction. 3rd ed CRC Press Taylor & Francis Group, Florida, S. 65.

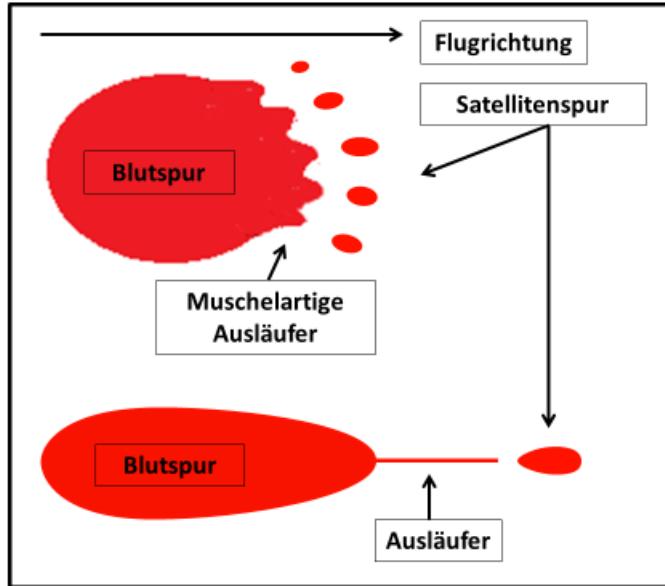


Abbildung 4: Darstellung von „Spatter Stains“⁸

Aus der Formgebung der einzelnen Blutspuren lassen sich Rückschlüsse auf den Ursprungsort (= „Area of Origin“⁹) ziehen [15]. Die einzelnen Spuren formen als Gruppe Spurenmuster mit eigenständigen Formvarianten und unterschiedlichen Typen der Anordnung, die zu weiteren Möglichkeiten der Klassifikation führen.

⁸ In Anlehnung an Bevel T, Gardner R M (2008) Bloodstain Pattern Analysis, With an Introduction to Crime Scene Reconstruction. 3rd ed CRC Press Taylor & Francis Group, Florida, S. 42.

⁹ Zur Definition der „Area of Origin“ siehe Abschnitt 2.2.3.

Abbildung 5 skizziert diese Klassifizierung am Beispiel der „Spatter Stains“.

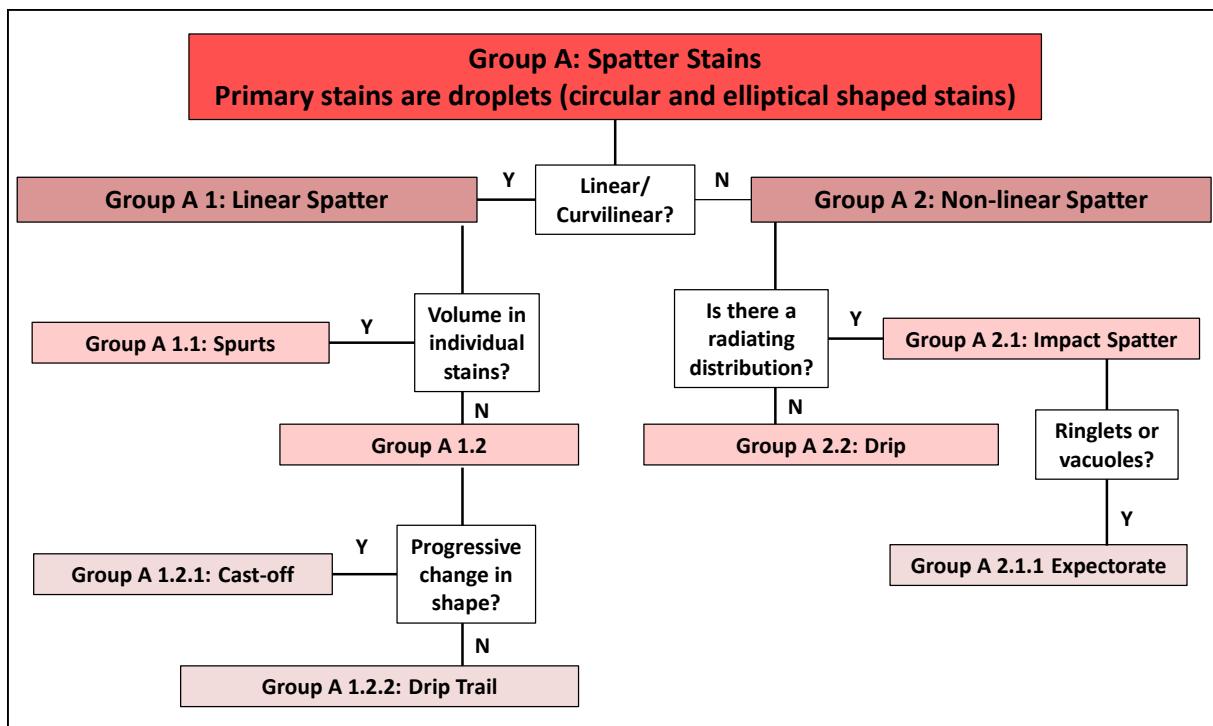


Abbildung 5: Klassifizierungsmodell nach Bevel und Gardner: „Spatter Stains“¹⁰

¹⁰

In Anlehnung an Bevel T, Gardner R M (2008) Bloodstain Pattern Analysis, With an Introduction to Crime Scene Reconstruction. 3rd ed CRC Press Taylor & Francis Group, Florida, S. 66.

2) „Non-Spatter Stains“

Diese sind definiert als diejenigen Blutspuren, die nicht der ersten Kategorie angehören
(Abbildung 6) [1].

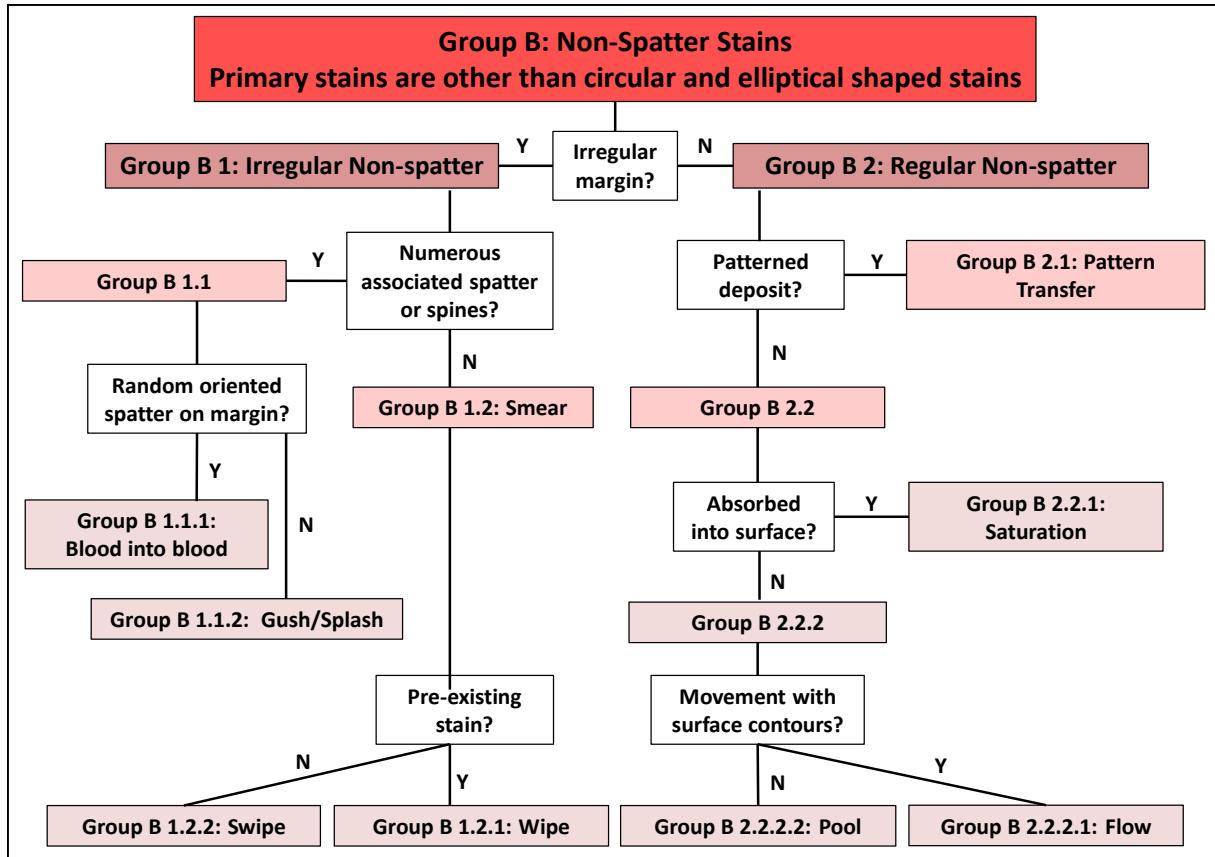


Abbildung 6: Klassifizierungsmodell nach Bevel und Gardner: „Non-Spatter Stains“¹¹

¹¹ In Anlehnung an Bevel T, Gardner R M (2008) Bloodstain Pattern Analysis, With an Introduction to Crime Scene Reconstruction. 3rd ed CRC Press Taylor & Francis Group, Florida, S. 70.

2.2.3 „Area of Origin“

Nach Betrachtung der Formeigenschaften der Blutspuren wie auch der Gruppenmuster ist eine Analyse des Ursprungsortes der Blut(-ungs)quelle von großer Bedeutung, weshalb der Bestimmung der sogenannten „Area of Origin“ (= Ursprungsort) große Aufmerksamkeit gewidmet wird.

In der Literatur findet sich neben dem Begriff der „Area of Origin“ zusätzlich der Begriff des „Point of Origin“. Im Allgemeinen wird von einer „Area of Origin“ anstatt von einem „Point of Origin“ gesprochen, da durch die Rekonstruktion, je nach Gewaltart und -dynamik, lediglich ein Ursprungsgebiet eingegrenzt werden kann [1]. Angaben reichen von der Größe eines Tennisballs (ca. 6,5 cm Durchmesser) bis zu einem Durchmesser von maximal ca. 30,5 cm [1, 8, 27, 28]. Dabei muss bedacht werden, dass der reale „Point of Origin“ (wie z. B. eine Wunde nach einem Hammerschlag) in der Regel auch eine „Area of Origin“ darstellt [1]. Nachfolgend wird daher nur noch der Begriff „Area of Origin“ verwendet.

Zur Berechnung der „Area of Origin“ können folgende Methoden genutzt werden:

- *Stringing method* (= Strickfaden-Methode)
- *Virtual stringing method* (= virtuelle Strickfaden-Methode)
- *Tangent method* (= Tangenten-Methode). [1, 2, 20, 30]

In der vorliegenden Arbeit wird jedoch nur auf die Strickfaden-Methode und die virtuelle Strickfaden-Methode eingegangen. Bei der Strickfadenmethode, als deren Begründer MacDonell gilt, werden die Flugbahnen der einzelnen Blutstropfen vereinfacht mittels gerader Linien dargestellt [10]. Hierzu werden entlang der Längsachse der jeweils ausgewählten Blutspuren farbige Stricke/Seile in Entstehungsrichtung gespannt [10, 20, 29, 39]. Der Bereich, in dem sich die Seile kreuzen, ist der Ursprungsbereich der Blutstropfen, auch „Area of Convergence“¹² genannt (**Abbildung 7**) [15].

Um aus der „Area of Convergence“ die „Area of Origin“ bestimmen zu können, muss zusätzlich der Auftreffwinkel (= angle of impact, alpha, α) vieler Blutspuren berücksichtigt werden. Hierdurch wird die dritte Dimension ergänzt und es können z. B. Aussagen darüber getroffen werden, ob das Opfer während des Tatgeschehens stand, saß oder lag. [15]

¹² = Der Bereich, der die Überschneidungen enthält, die entstehen, wenn reale/virtuelle Seile entlang der Längsachse der einzelnen Blutspuren gezogen werden. Er stellt den zweidimensionalen Bereich der Blutquelle dar.

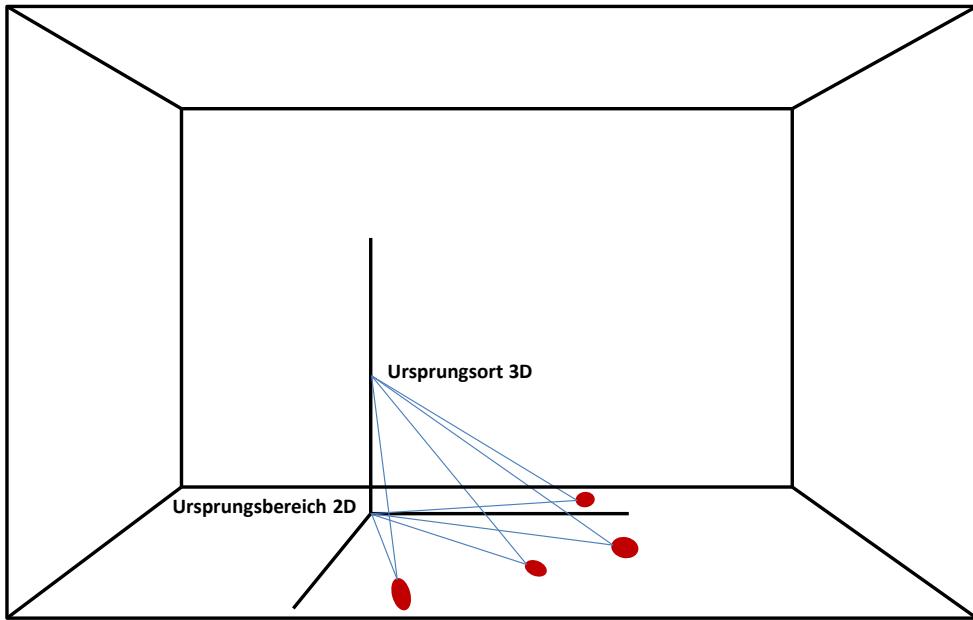


Abbildung 7: Ursprungsort/-bereich¹³

Der Auftreffwinkel α eines Blutstropfens bezeichnet den Innenwinkel, der sich zwischen der Flugbahn des Blutstropfens und der Zieloberfläche ausbildet [15, 39]. Die möglichen Werte für α reichen von nahezu 0° (schräges Auftreffen, längliche Blutspur) bis 90° (senkreiches Auftreffen, nahezu runde Blutspur) [1, 3]. Es besteht folglich eine Korrelation zwischen dem Auftreffwinkel und dem Länge-Breite-Verhältnis der Blutspur (siehe nächster Abschnitt)¹⁴ [1, 10].

Die Berechnung des Auftreffwinkels mit der Formel:

$$\text{Auftreffwinkel } \alpha = \arcsin \frac{\text{Breite}}{\text{Länge}}$$

wird in **Abbildung 8** erläutert [3, 4, 10, 15, 20].

¹³ In Anlehnung an James S H, Kish P E, Sutton T P (2005) Principles of Bloodstain Pattern Analysis, Theory and Practice. CRC Press Taylor & Francis Group, Florida, S. 218, 219.

¹⁴ 1971 u. a. durch MacDonell und Bialousz nachgewiesen [1, 10].

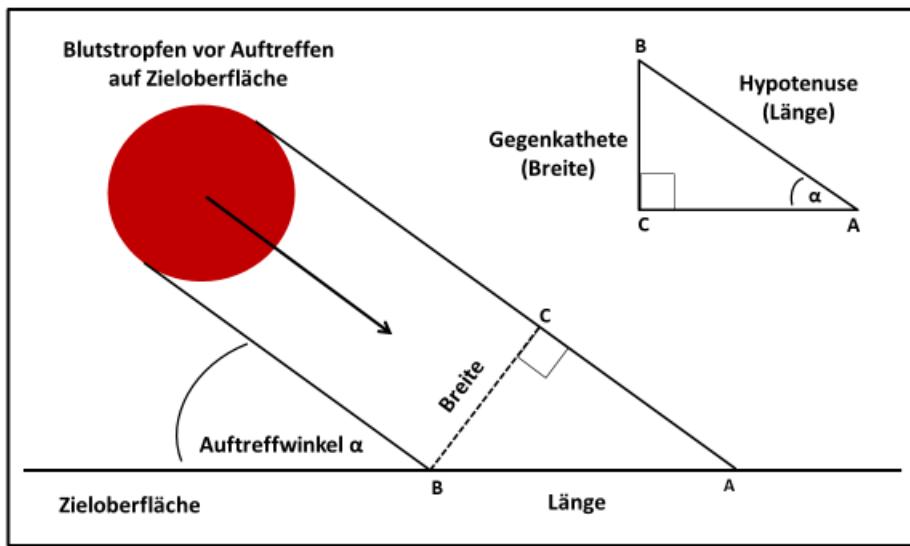


Abbildung 8: Länge-Breite-Verhältnis eines Blutstropfens verglichen mit einem rechtwinkligen Dreieck¹⁵

Während das Breitenmaß (= Width, Minor axis) der Blutspur identisch ist mit dem des Blutstropfens während des Fluges (die Kohäsionskräfte wirken einer Dehnung in Seitrichtung entgegen), nimmt das Längenmaß (= Length, Major axis) der Blutspur mit schräger/kleiner werdendem Auftreffwinkel zu (**Abbildung 9**). Dies ist unter anderem auf das Gleiten entlang der Zieloberfläche zurückzuführen. [3, 15]

¹⁵ In Anlehnung an James S H, Kish P E, Sutton T P (2005) Principles of Bloodstain Pattern Analysis, Theory and Practice. CRC Press Taylor & Francis Group, Florida, S. 222.

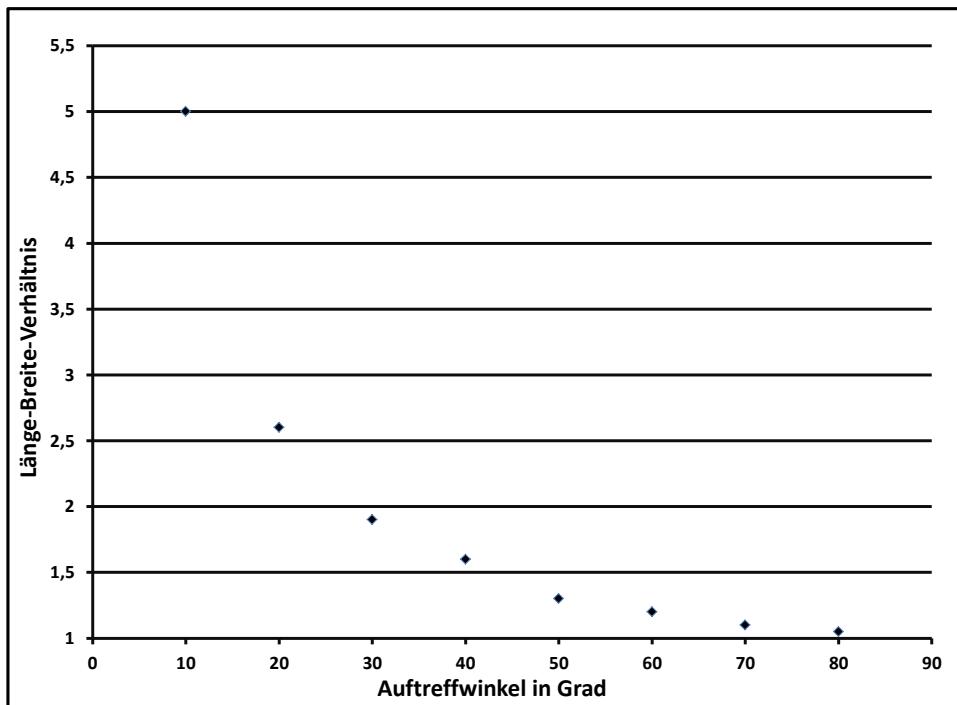


Abbildung 9: Länge-Breite-Verhältnis eines Blutstropfens in Korrelation zum Auftreffwinkel¹⁶

Bei kleiner werdendem Auftreffwinkel mit folglich länglich werdender Blutspur treten i. d. R. Unterschiede in der Darstellung der beiden Pole der Blutspur auf: Ein Pol ist schmäler als der andere. Der zugespitzte Pol zeigt in den meisten Fällen in Flugrichtung und somit in Gegenrichtung zur Blutquelle. [15, 29]

Je nach Auftreffoberfläche können am schmalen Pol der Blutspur muschel- oder schweifförmige Ausläufer entstehen (**Abbildung 4**, S.12) oder Sekundärblutspuren (= wave cast-off): vom ursprünglichen Tropfen losgelöste Blutstropfen, deren schmale Enden zum Ursprungstropfen (= Parent stain) hinzeigen (**Abbildung 10**) [1, 10, 15].

¹⁶ In Anlehnung an Bevel T, Gardner R M (2008) Bloodstain Pattern Analysis, With an Introduction to Crime Scene Reconstruction. 3rd ed CRC Press Taylor & Francis Group, Florida, S. 173.

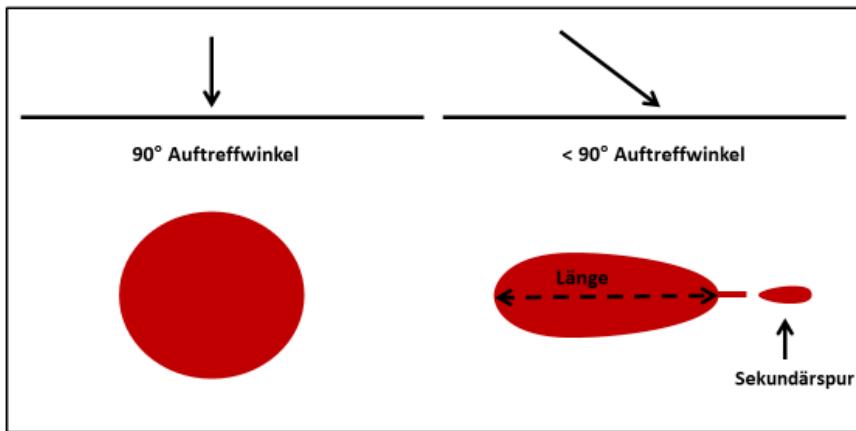


Abbildung 10: Blutstropfenumriss in Abhängigkeit vom Auftreffwinkel

Bedingt durch Gravitationskraft und Luftwiderstand schlagen Blutstropfen auf dem Weg zu ihrer Zielloberfläche eine parabelförmige Flugbahn ein [3, 5, 18, 29].

Das Spannen gerader Seile von den Blutspuren weg hin zum Ursprungsort führt - zumindest bei längeren Flugwegen - zu einer räumlichen Überschätzung der z-Koordinate des Ursprungsgebietes. Somit befindet sich der eigentliche Ursprungsort des Geschehens an oder unterhalb der mit der „stringing method“ oder per Computer (= „virtual stringing method“; siehe Abschnitt 2.2.4) gemessenen Stelle (die Höhenangabe (z-Koordinate) ist folglich nur eine obere Grenze). Da das Ausmaß dieses Schätzfehlers mit der Entfernung zur „Area of Origin“ ansteigt, ist es sinnvoll, eher nahe Blutspuren zu verwenden als weiter entfernte und somit auch eher kleinere als große (Abbildung 11). [1, 3, 5, 6, 15]

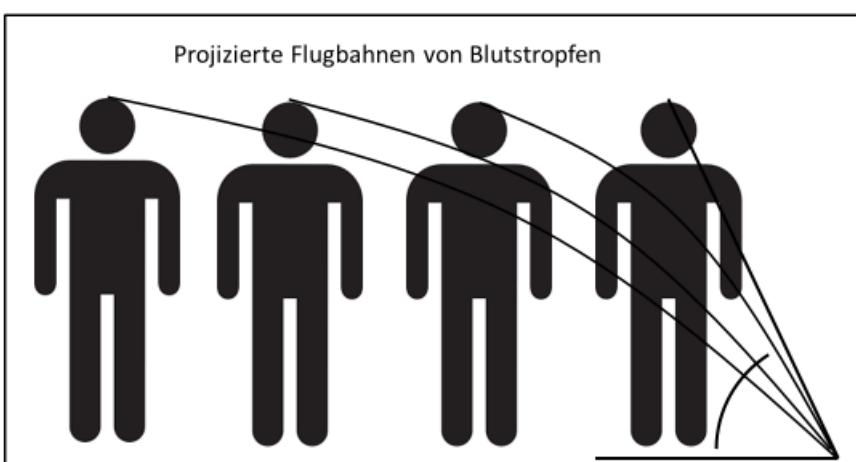


Abbildung 11: Parabelförmige Flugbahnen von Blutstropfen¹⁷

¹⁷ In Anlehnung an James S H, Kish P E, Sutton T P (2005) Principles of Bloodstain Pattern Analysis, Theory and Practice. CRC Press Taylor & Francis Group, Florida, S. 225.

2.2.4 Digitale softwaregestützte Kalkulation der „Area of Origin“

Ausgehend von der Strickfaden-Methode ist es möglich, die „Area of Origin“ per Computerprogramm berechnen zu lassen. Für die vorliegende Dissertation wird das Softwareprogramm Hemospat™ verwendet (Erläuterung hierzu in Abschnitt 3.5).

Für die Analyse mit HemoSpat™ werden exakte Messdaten über die räumliche Anordnung der digitalfotografisch eingelesenen Spuren (dreidimensionale Koordinaten) benötigt. Die Software bietet hierzu Werkzeuge an, mit deren Hilfe eine maßstabsgenaue Erfassung der Tropfen-Silhouette, des senkrechten Lots und der Lage des Blutstropfens im Raum anwenderfreundlich möglich ist. [1, 4]

Zur Berechnung des Ursprungsortes wird zunächst ein Referenzpunkt am Tatort benötigt. Hierzu wird in der Regel eine untere Ecke im Raum verwendet. Von dem Referenzpunkt aus wird ein Koordinatensystem mit einer x-, y- und z-Achse für die Wände definiert (**Abbildung 12**). Die z-Achse steht hierbei senkrecht zur Fußbodenebene. Am Referenzpunkt überschneiden sich die drei Achsen, die Werte für x, y und z betragen an dieser Stelle Null. Die Blutspuren, die auf dem Boden lokalisiert sind, haben einen z-Wert von Null. Die Blutspuren, die an Wand R lokalisiert sind, haben einen x-Wert von Null und die an Wand F einen y-Wert von Null. [3, 10]

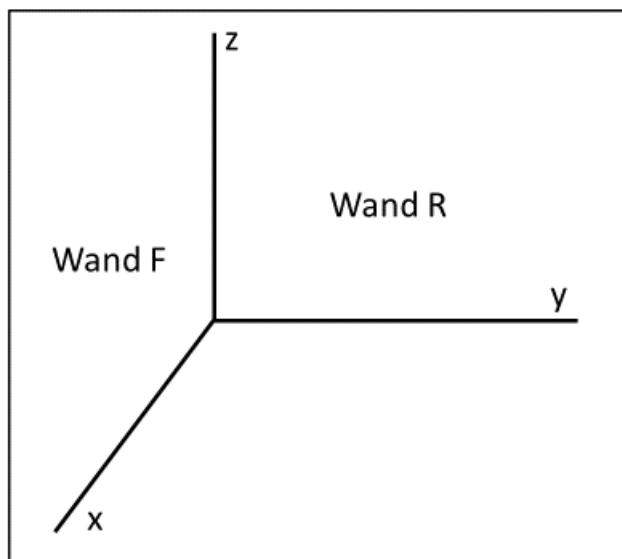


Abbildung 12: Beispiel für ein Koordinatensystem im Tatortraum

Mithilfe des Softwareprogramms wird eine virtuelle Flugbahn jedes ausgewählten Blutstropfens trigonometrisch kalkuliert. Die Berechnung erfolgt mittels α -, β - und γ -Winkel ausgehend von dem Punkt, der durch die Koordinaten x, y und z der Blutspur definiert ist. Der γ -Winkel bezeichnet den Richtungswinkel. Er zeigt die Richtung anhand der Hauptachse der Blutspur an (Winkel zwischen dem Lot¹⁸ bzw. der Nordrichtung¹⁹ und der Längsachse der Blutspur; von 0° bis 360° reichend; positiv rechts der Blutquelle und negativ links der Blutquelle) (**Abbildung 13**). [1, 3, 4, 5, 27]

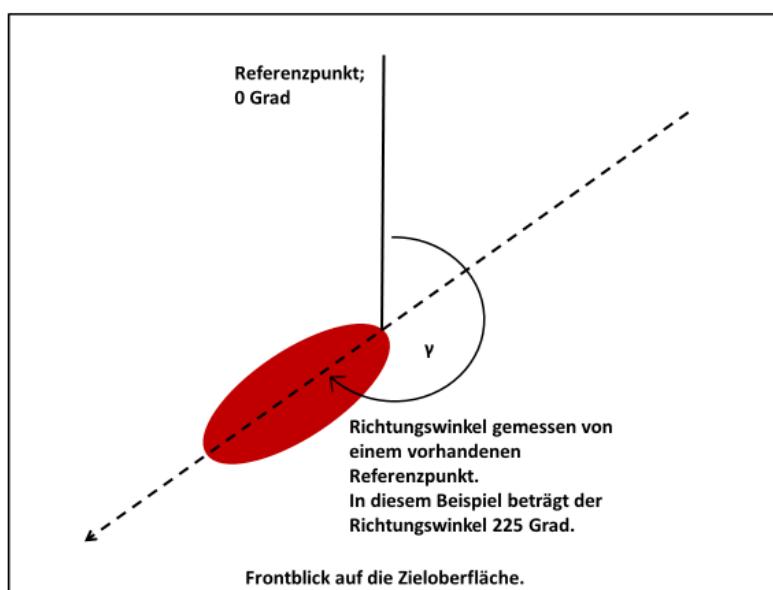


Abbildung 13: Richtungswinkel γ ²⁰

Der β -Winkel ist der Winkel zwischen dem Flugweg und der Wand, wenn sie im „top view“ (siehe nächster Abschnitt) betrachtet wird ($\beta = \arctan(\tan(\alpha)/\sin(\gamma))$) [3, 4, 5].

Das Programm ermöglicht es, beliebig viele „virtuelle Seile“ zu spannen. Das Ergebnis kann abschließend in verschiedenen Projektionsebenen von unterschiedlichen Blickwinkeln aus betrachtet werden. Unter anderem ist eine Ansicht von oben: „Draufsicht“, „bird's eye view“ oder „top view“ genannt, möglich.

¹⁸ bei Blutspuren auf vertikaler Oberfläche

¹⁹ bei Blutspuren auf horizontaler Oberfläche

²⁰ In Anlehnung an Bevel T, Gardner R M (2008) Bloodstain Pattern Analysis, With an Introduction to Crime Scene Reconstruction. 3rd ed CRC Press Taylor & Francis Group, Florida, S. 25.

Im Vergleich zu real gespannten Seilen/Fäden bieten die virtuell gespannten Seile folgende Vorteile:

- nachträgliche Analyse, unabhängig vom Ereignisort (dieser kann nach Abschluss der erkennungsdienstlichen Spurenarbeiten früher wieder freigegeben werden),
- nahezu fehlerfreies, zeitsparendes Platzieren virtueller „Seile“ ohne praktische Grenzen der Anzahl der einbezogenen Spuren,
- Vermeidung der Zerstörung von Blutspuren durch den Analysten bei Anbringen der Seile/Fäden,
- erhaltene freie Begehbarkeit/Zugänglichkeit des Tatortes,
- mathematische Definition virtueller Seile,
- Sichtung des Ursprungsortes im „bird's eye view“,
- Dokumentation und Speicherung der Blutspurendaten für nachrangige Analysen und zu Präsentationszwecken (z. B. vor Gericht). [1, 3, 34]

Zudem ist es möglich, die erhobenen zweidimensionalen Daten in ein 3D-Modell zu integrieren (z. B. mittels SketchUp[®]) und den Tathergang so bei Gericht visuell zu verdeutlichen [37]. Hier ergibt sich der Vorteil der besseren Darstellbarkeit des Tatgeschehens.

Die genannten Vorteile einer softwaregestützten Blutspurenanalyse haben zu ihrer Verbreitung in der forensischen Fallarbeit beigetragen. Dabei kann nach wie vor ein eher zurückhaltender Einsatz im deutschsprachigen Raum beobachtet werden, wobei der hohe Anschaffungspreis bei gleichzeitig im Vergleich zu Nordamerika geringerer Anzahl von Blutspurentatorten eine Rolle spielen dürfte [44].

Unabhängig dieser Aspekte stellt sich die zentrale Frage, wie korrekt und nachvollziehbar die softwareseitig berechneten Ergebnisse sind und von welchen Einflussfaktoren die Ergebnisqualität abhängt. Ziel der Arbeit ist es daher, die Resultate der Blutspurenanalysesoftware HemoSpat™ (eines der derzeit am weitesten verbreiteten Blutspurenanalyseprogramme [34]) hinsichtlich ihrer Validität und Objektivität zu untersuchen.

2.3 Hypothesen

Ziel dieser Arbeit ist es, die Validität und Objektivität der oben beschriebenen Software HemoSpat™ unter standardisierten und reproduzierbaren Bedingungen für den konkreten Fall mehrfach erzeugter Schlag-Spritz-Muster zu prüfen. Dies beinhaltet in erster Linie eine Testung, ob die Software bei Spritzmustern eine zuverlässige Eingrenzung eines Ursprungsortes unter rekonstruktiven Gesichtspunkten gestattet. Die praktische Bedeutung ergibt sich aus der häufigen Notwendigkeit, bei durch stumpfe Gewalt verursachten Blutspritzmustern die Entstehungshöhe, d. h. die Position des Opfers (und seiner Wunden) zu rekonstruieren. Die Begrenzung nachfolgender Experimente auf Schlag-Spritz-Muster erfolgt vor dem Hintergrund der Erfahrung, dass cast-off Spuren bzw. Schleuderspuren bei der Schätzung der „Area of Origin“ nicht die Opferposition, sondern ein Gebiet zwischen dem Opfer und vor dem Täter anzeigen.

Des Weiteren ergibt sich aus den Erfahrungen der Rechtsmediziner der Universitätsklinik des Saarlandes beim Einsatz digitaltechnischer Analyseverfahren die Annahme, dass auch der Anwender und sein Erfahrungshorizont einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Ergebnisse der Rekonstruktion nehmen können. Aus diesen Annahmen werden folgende **Hypothesen** aufgestellt:

- 1) Die mit HemoSpat™ berechnete „Area of Origin“ stimmt mit vertretbarer Abweichung (maximal 30,5 cm²¹ (siehe 2.2.3)) mit der „Area of Origin“ der Realität überein.
- 2) Es besteht ein signifikanter Unterschied in der Abweichung der berechneten „Area of Origin“ von der realen „Area of Origin“ in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten.
- 3) Unerfahrene Blutspurenanalysten (Gruppe U2) wählen im Vergleich durchschnittlich mehr Blutspritzer für eine nachfolgende Softwareanalyse aus als erfahrene Blutspurenanalysten (Gruppe U1).
- 4) Die Treffsicherheit der Software HemoSpat™ ist bei erfahrenen Blutspurenanalysten (Gruppe U1) höher, auch wenn diese weniger Blutspritzer auswählen als unerfahrene Analysten (Gruppe U2).

²¹ 30,5 cm sind die Obergrenze der Abweichung der „Area of Origin“ in der Literatur. Daher wird diese Grenze als die in der Dissertation vertretbare Obergrenze festgelegt.

- 5) Erfahrene Blutspurenanalysten (Gruppe U1) erreichen mithilfe von HemoSpat™ durch Auswahl einer größeren Zahl von Blutspuren bessere Ergebnisse.
- 6) Die Anzahl der Impacts (Schläge mit dem Hammerkopf) wird durch HemoSpat™ mit einer Zuverlässigkeit von > 90 % erkannt.

3. Material und Methoden

3.1 Versuchsraum

Die Experimente werden im Institut für Rechtsmedizin der Universität des Saarlandes in Homburg in einem neun qm großen Modellraum mit glattoberflächigen Seitenwänden durchgeführt.

Damit die optimale Oberflächenbeschaffenheit für die Wandverkleidungen ausgewählt werden kann, werden zunächst Materialtests durchgeführt. Ziel dieser Tests ist es, klar abgrenzbare und eindeutig identifizierbare Blutspuren zu erzeugen. Hierzu werden Sperrholzplatten mit vier unterschiedlichen weißen Lackierungen gestrichen. Nach der Trocknung werden alle vier Platten mit frischem Blut betropft: einmal in horizontaler Lage, einmal in angewinkelte Lage. Die Fallhöhe der Blutstropfen beträgt bei allen vier Platten 100 cm. Hierbei stellt sich heraus, dass die lackierten Sperrholzplatten aufgrund der rauen Oberfläche nicht optimal für diese Experimente geeignet sind, da unabhängig vom verwendeten Lack aufgrund der Oberflächentextur irreguläre Blutspuren mit stacheligem Rand und zusätzlichen kleinen Blutspuren in der Peripherie (= Satellitenspuren) entstehen (**Abbildung 14**).

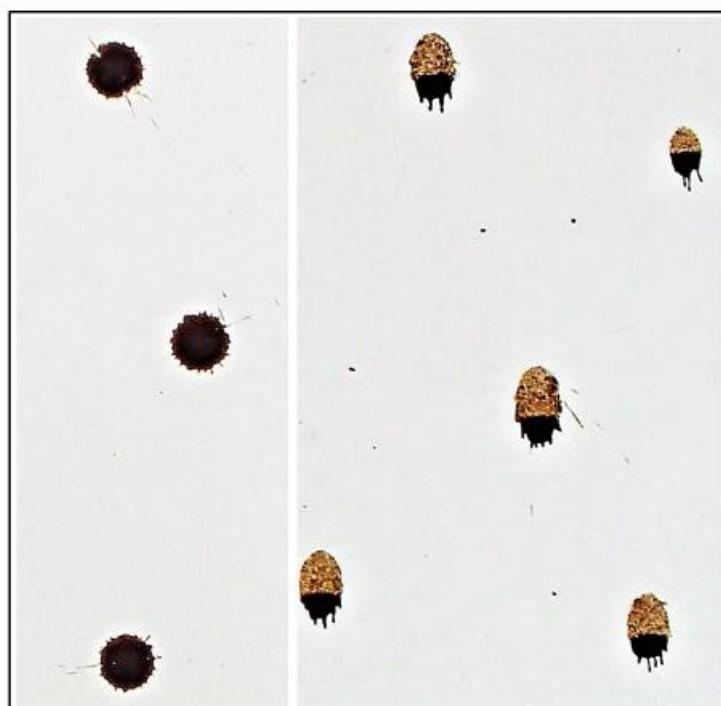


Abbildung 14: Effekte der Oberflächenbeschaffenheit der Auftreffebene auf die Blutspureneigenschaften

Bei abwaschbaren, mit weißem Glattlack bestrichenen Möbelbauplatten aus dem Baumarkt entstehen hingegen kreisrunde Blutspuren, sodass diese sich für die Versuchsreihe als optimal erweisen und für den Versuchsaufbau ausgewählt werden.

Die Grundfläche des Versuchsräumes beträgt 300 cm x 300 cm, die Höhe 240 cm. Jede Wand wird mit fünf Platten verkleidet, die je 240 cm hoch und 60 cm breit sind. Zur optimalen digitalen Dokumentation der jeweiligen Wände mit der Kamera wird der Versuchsräume so gestaltet, dass die Platten individuell abnehmbar sind. Um eine hinreichende Beleuchtung zu ermöglichen, wird der Raum zur Decke hin offen belassen.

Der Zielbereich der Experimente beschränkt sich auf vier Platten der frontalen Seite (Wand F) und vier Platten der rechten Seite (Wand R). Die Breitenmaße betragen für Wand F 238,8 cm und für Wand R 240,4 cm. Hier zeigt sich durch die Verarbeitung der Platten eine geringe Abweichung von der ursprünglichen Breite 240 cm (4 x 60 cm). Die Höhe beträgt für beide Wände jeweils 240 cm.

Die einzelnen Platten werden in jeweils zwei Teile - einen oberen und einen unteren Teil - untergliedert. Somit entstehen insgesamt 16 Felder, die zur Auswertung genutzt werden. Die einzelnen Platten werden von F1-F8 und von R1-R8 nummeriert und mit aufgeklebten Maßbändern versehen: Dabei wird in horizontaler Richtung ein Maßband in 120 cm Höhe und in vertikaler Richtung jeweils ein Maßband nach jeder einzelnen Platte angebracht. In vertikaler Höhe werden zudem bei 50 cm, 100 cm, 150 cm und 200 cm grüne Markierungen zur besseren Orientierung befestigt.

Die **Abbildungen 15 und 16** zeigen eine Originalabbildung des Raumes mit Wand F und Wand R, **Abbildung 17** eine 3D-Darstellung.

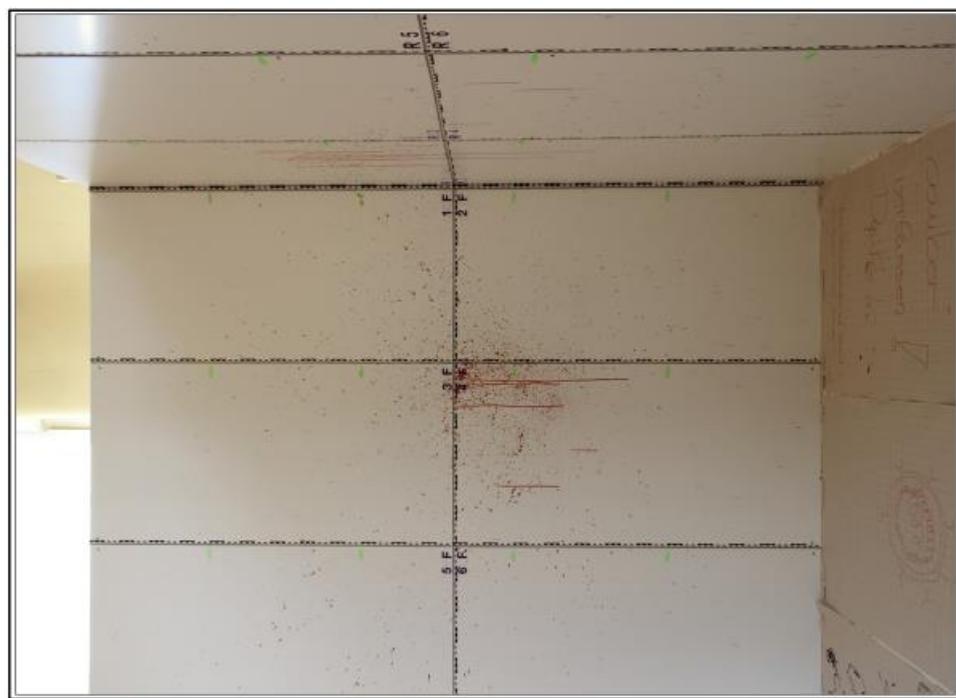


Abbildung 15: Original Raumkonstruktion Wand F

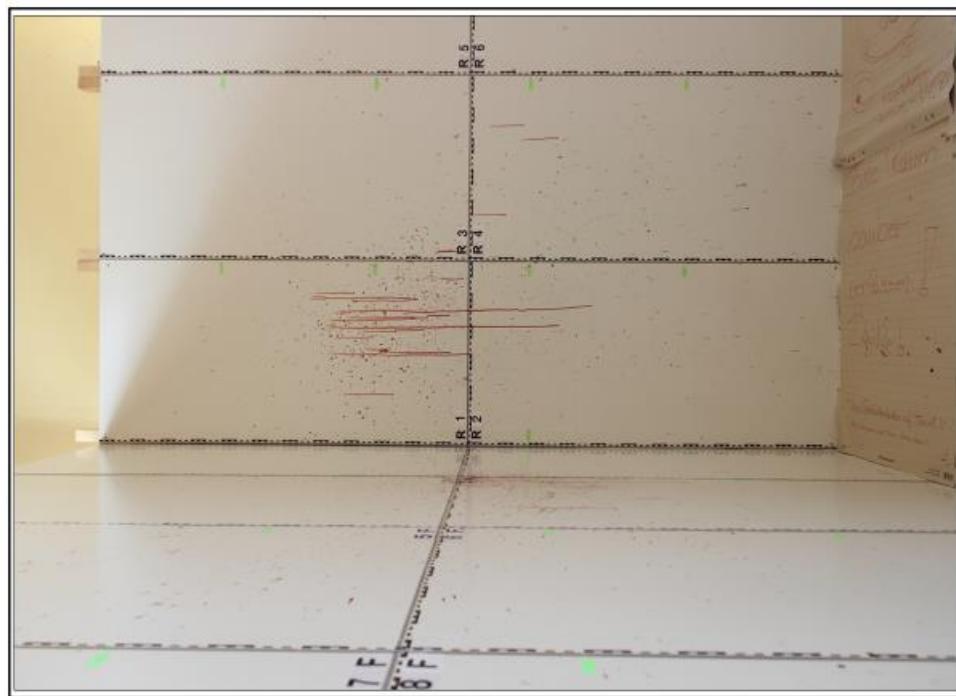


Abbildung 16: Original Raumkonstruktion Wand R

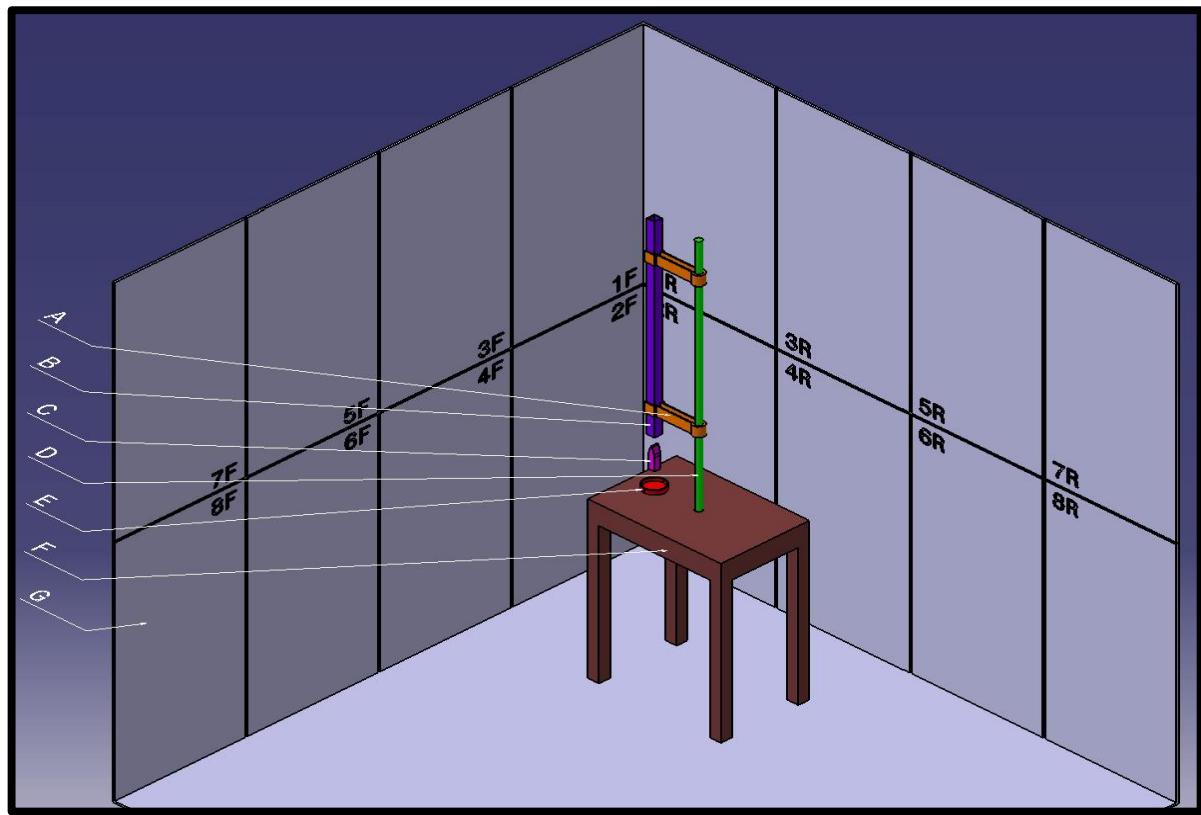


Abbildung 17: 3D-Raumkonstruktion: A=Schellen, B=Führungsschacht aus Metall, C=Hammerkopf, D=Metallstange, E=Petrischale, F=Möbelbauplatte auf Tisch, G=Möbelbauplatten

Ferner wird eine Vorrichtung konstruiert, mit der es möglich ist, einen Hammerkopf mit einer maximalen Kantenlänge von 3,0 cm mal 3,5 cm in beliebig vielen wiederholbaren Einzelversuchen in reproduzierbarer Weise auf dieselbe Stelle einer Platte fallen zu lassen. Der verwendete rechteckige Hammerkopf (C) der Marke Locksmith hat eine Kantenlänge von 2,8 cm x 2,8 cm an seinem breiten Ende und ein Gewicht von 500 g. Die Anlage selbst besteht aus den folgenden Einheiten (**Abbildungen 17 und 18**):

- einer 60 cm x 40 cm großen Möbelbauplatte (F), die auf einem Tisch platziert und genau wie die Wände des Raumes mit weißem Glattlack bestrichen ist,
- einer in der Mitte des Tisches befestigten Metallstange (D) mit einer regulierbaren Schelle (A) zum Umschließen und Befestigen des Führungsschachtes,
- einem quadratischen Metallrohr (Führungsschacht, B) von 100 cm Länge und mit einer Innenkantenlänge von 3,0 cm x 3,5 cm, dessen oberes Ende sich 125 cm über der Möbelbauplatte befindet,
- einer 10 cm durchmessenden Petrischale (E), die mit Blut gefüllt werden kann.

Sowohl an der Möbelbauplatte, als auch an dem Metallrohr werden Maßstäbe in Millimetereinheit befestigt. Die Vorrichtung wird auf einem Tisch im Raum platziert. Die Höhe der Auftreffebene liegt bei 83 cm über Bodengrund. Diese Höhe kann durch definierte Unterlagen beliebig geändert werden. Die Installation ist in dem Modellraum frei verschiebbar, sodass vorab definierte Abstände zu den „Spritzwänden“ eingestellt werden können.

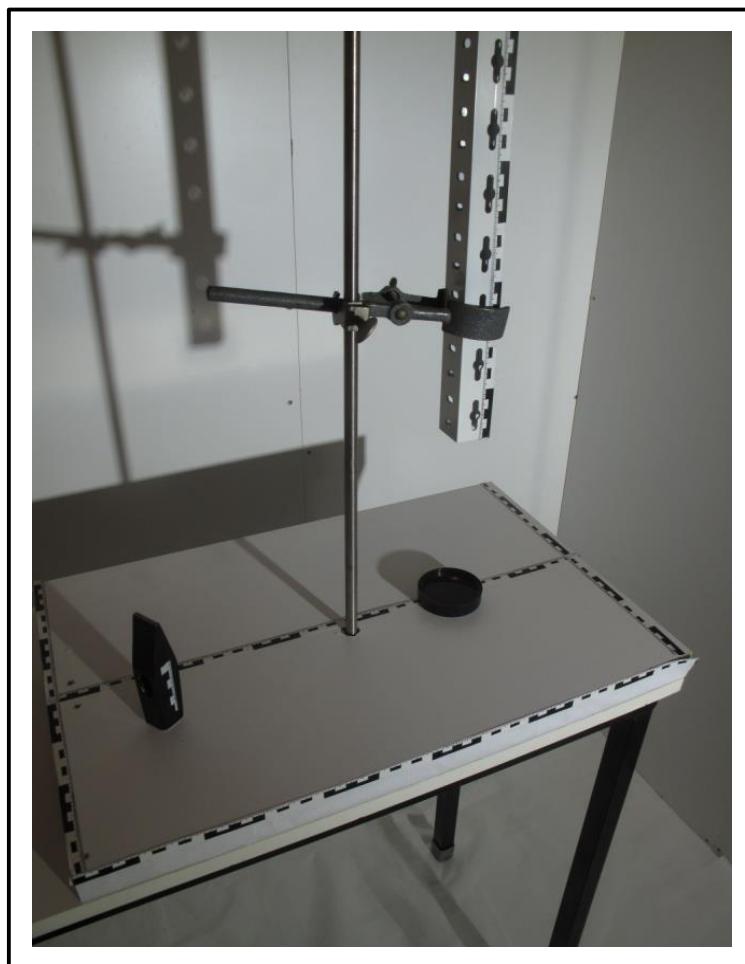


Abbildung 18: Versuchsvorrichtung

3.2 Blutproben

Für diese Studie werden, um eine realitätsnahe Darstellung der Experimente zu ermöglichen, frisch entnommene nicht koagulierte Venenblutproben von zwei freiwilligen Probanden ohne Zusatz gerinnungshemmender Mittel wie z. B. Citrat verwendet. An den Blutproben werden die Gerinnung betreffende Abweichungen ausgeschlossen. Zur Blutentnahme werden das System Safety-Multifly-Set 21G (Sarstedt AG & Co, Nümbrecht, Deutschland) und sterile Spritzen (Braun, Injekt 20 ml Luer Solo, B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Deutschland) verwendet. Pro Versuchseinheit werden den Probanden jeweils 30 ml Blut entnommen, die innerhalb einer Minute für die Versuche verwendet werden.

Proband A	Proband B
Hämoglobin 16,3 g/dl	Hämoglobin 15,1 g/dl
Leukozyten 6,1 /nl	Leukozyten 4,9 /nl
Erythrozyten 5,1 /pl	Erythrozyten 5,1 /pl
Thrombozyten 251 /nl	Thrombozyten 178 /nl
INR 1,0	INR 0,95
PTT 28 s	PTT 32 s

Abbildung 19: Blutwerte Proband A und B

3.3 Experimente

3.3.1 Musteranalyse

Das Ziel der Vorversuche liegt darin zu prüfen, ob runde Blutspritzer, die in einem 90°-Winkel auf eine Oberfläche auftreffen, tatsächlich dazu beitragen können, die Höhe der „Area of Origin“ zuverlässig einzugrenzen.

Diese Vorversuche basieren auf folgenden Hypothesen:

- Ein einzelner Hammerschlag, der auf eine Blutlache mit vorgegebenem Volumen trifft, hinterlässt in der Vertikalen nicht ein, sondern zwei eindeutige, wenn auch teilweise überlappende Muster rundlicher Blutspuren.
- Die Distanz zwischen den beiden Blutspurenmusterzentren hängt von der Entfernung der Blutquelle zur Auftreffoberfläche der Blutspuren ab.
- Die Identifikation des Blutspurenmusters als oberes oder unteres Muster/Cluster basiert auf der Dichte, Verteilung und Größe der Blutspuren des jeweiligen (oberen oder unteren) Blutspurenmusters.
- Die eindeutige Unterscheidung zwischen dem oberen und unteren Blutspurenmuster einer Serie von Experimenten ist mittels hierarchischer Clusteranalyse der Blutspurenmuster möglich. [16]

Bei diesem Experiment wird bei jedem einzelnen Versuch ein Hammerkopf (Marke Locksmith, Kantenlänge 2,8 cm x 2,8 cm am breiten Ende, Gewicht 500 g) aus jeweils gleicher Höhe durch das Metallrohr der Vorrichtung fallen gelassen. Der Abstand vom oberen Ende des Metallzyinders bis zur Auftreffebene beträgt 125 cm. Die Auftreffebene liegt 83 cm über dem Bodengrund. Der Hammerkopf prallt auf der Plattenebene entweder in eine 10 ml große Blutlache oder eine mit 10 ml Blut gefüllte Petrischale mit einem Durchmesser von 10 cm. Die Petrischale wird mit doppelseitigem Klebeband an der Platte befestigt, um ein Wegschleudern oder Verrutschen während des Auftreffens des Hammerkopfes zu verhindern. [16]

Insgesamt werden 10 Versuche durchgeführt; die Abstände von der Auftreffebene des Hammerkopfes zu der front- und rechtsseitigen Wand betragen 30, 60, 90, 120 und 150 cm in beide Seitenrichtungen. Jede Variation wird einmal mit einer Blutlache und einmal mit einer blutgefüllten Petrischale durchgeführt. [16]

Dokumentiert werden die Versuche mit der Hochgeschwindigkeitskamera Motion Pro Y4 (IDT Inc., Lommel, Belgien; Bildfrequenz 2500 fps; Auflösung 1024 x 1024), die sich gegenüber der

Frontwand F befindet. Die entstehenden Blutspurenmuster werden anschließend mit einer Digitalkamera der Marke Canon EOS 600D (Canon Inc., Tokyo, Japan) fotografiert und mit der Software Digimizer (Digimizer 4, Med. Calc. Software bvba, Ostende, Belgien) analysiert (siehe Punkt 3.4). [16]

Die anschließende deskriptive statistische Auswertung und hierarchische Clusteranalyse erfolgen mit SPSS 21 (IBM Corp., Armonk, NY, USA; siehe Punkt 3.4). [16]

3.3.2 „Area of Origin“-Experimente

Es werden insgesamt 15 Experimente durchgeführt. Die Distanz der Blutquelle zu den Wänden F und R und die Höhe der Blutquelle werden ebenso variiert wie die Anzahl der Impacts. Das heißt, dass die einzelnen Experimente mit einer unterschiedlichen Anzahl an Hammereinschlägen (engl. sog. N° of Impacts; N° = 1, 2 oder 3) durchgeführt werden und die Koordinaten der „Area of Origin“ der einzelnen durch den Hammerkopf verursachten Impacts dabei differieren können. Die Anzahl der Impacts sowie die Koordinaten der „Areas of Origin“ werden zufällig gewählt. **Abbildung 20** gibt ein Beispiel differierender „Areas of Origin“ wider.

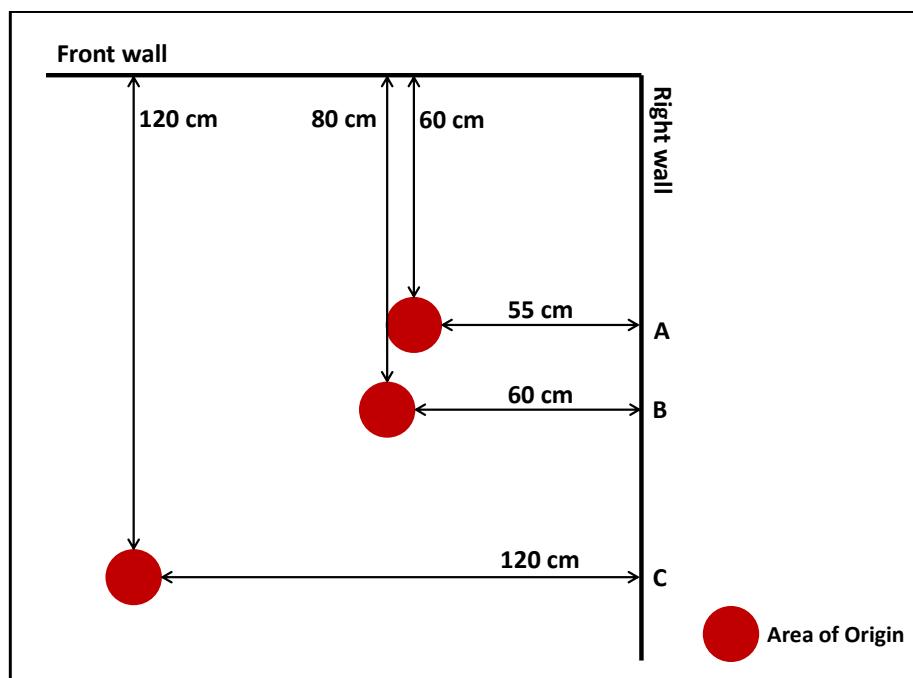


Abbildung 20: Beispiel differierender "Area of Origin"-Positionen²²

²² In Anlehnung an De Bruin K G, Stoel R D, Limborgh J C M (2011) Improving the Point of Origin Determination in Bloodstain Pattern Analysis. J Forensic Sci 56(6), S. 1477.

Bei jedem Experiment werden jeweils zwei erfahrene (U1a und U1b = Observer 3 und 4) und zwei unerfahrene (U2a und U2b = Observer 1 und 2) Blutspurenanalysten dazu aufgefordert, einzelne Blutspritzer auszuwählen und mit fortlaufend nummerierten Pfeilen zu markieren. Jedem Probanden ist es selbst überlassen, welche und wie viele Blutspritzer er innerhalb einer Spanne von $n \geq 10$ und ≤ 50 auswählt.

Im Anschluss werden von den einzelnen Wandfeldern (F1-F8 und R1-R8) Übersichtsaufnahmen gefertigt. Die Aufnahmen erfolgen mit der Kamera Canon EOS 600D. Die Kamera wird für die Aufnahmen der unteren Felder (F2, F4, F6, F8, R2, R4, R6, R8) auf eine Höhe von 60 cm eingestellt (mittlere Höhe der unteren Felder) und für die Aufnahmen der oberen Felder (F1, F3, F5, F7, R1, R3, R5, R7) auf eine Höhe von 180 cm (mittlere Höhe der oberen Felder). Zur Fixierung und Nivellierung der Kamerahöhe für die oberen Aufnahmen wird extra ein Standtisch angefertigt. Die Fotos werden als JPG- und CR2-Dateien gespeichert. Nach jedem Versuch erfolgt eine Säuberung der Vorrichtung, des Hammerkopfes und der Wände mit handelsüblichen Reinigungsmitteln und Wasser unter Beachtung hygienischer Standards.

Nach Durchführung der 15 Experimente erfolgt durch die Promovierende selbst die jeweilige Auswertung der von den Probanden ausgewählten Blutspuren mit der Software HemoSpat™ (siehe Abschnitt 3.5).

Zur korrekten Erfassung der Koordinaten der Blutspuren werden folgende drei Bedingungen festgelegt:

1. eine fotografisch eindeutig abgrenzbare Blutspur,
2. die Markierung des Lots,
3. ein im Bildausschnitt befindlicher metrischer Maßstab.

Das Lot ergibt sich durch die senkrecht an den Wänden befestigten Maßstäbe, anhand derer mittels der Software Digimizer im weiteren Verlauf auch die Koordinaten x, y und z berechnet werden können. Zunächst wird dem Programm mithilfe des Maßstabes eine Größe vorgegeben, anschließend können Abstände gemessen und somit die Koordinaten berechnet werden.

Exemplarisch ist in **Abbildung 21** ein Foto der Platte F3 abgebildet. Hierauf sind drei Blutspritzer mit orangefarbenen Pfeilen markiert. Von diesen Blutspritzern ziehen Linien horizontal nach rechts und senkrecht nach unten. Nachdem Digimizer vorgegeben ist, wie viele Pixel 50 cm entsprechen, können Abstände ausgemessen werden. Wird der unterste

Blutspritzer betrachtet, so ergibt sich für die Horizontale ein Abstand von 30,8 cm und für die Vertikale ein Abstand von 18 cm. Hierzu müssen bei der Horizontalen noch 58,5 cm zuaddiert werden für die Platte F1 und bei der Vertikalen 120 cm für die Platte F4. Somit ergeben sich für den Blutspritzer die Koordinaten x/y/z gleich 89,3 cm/0 cm/138 cm.

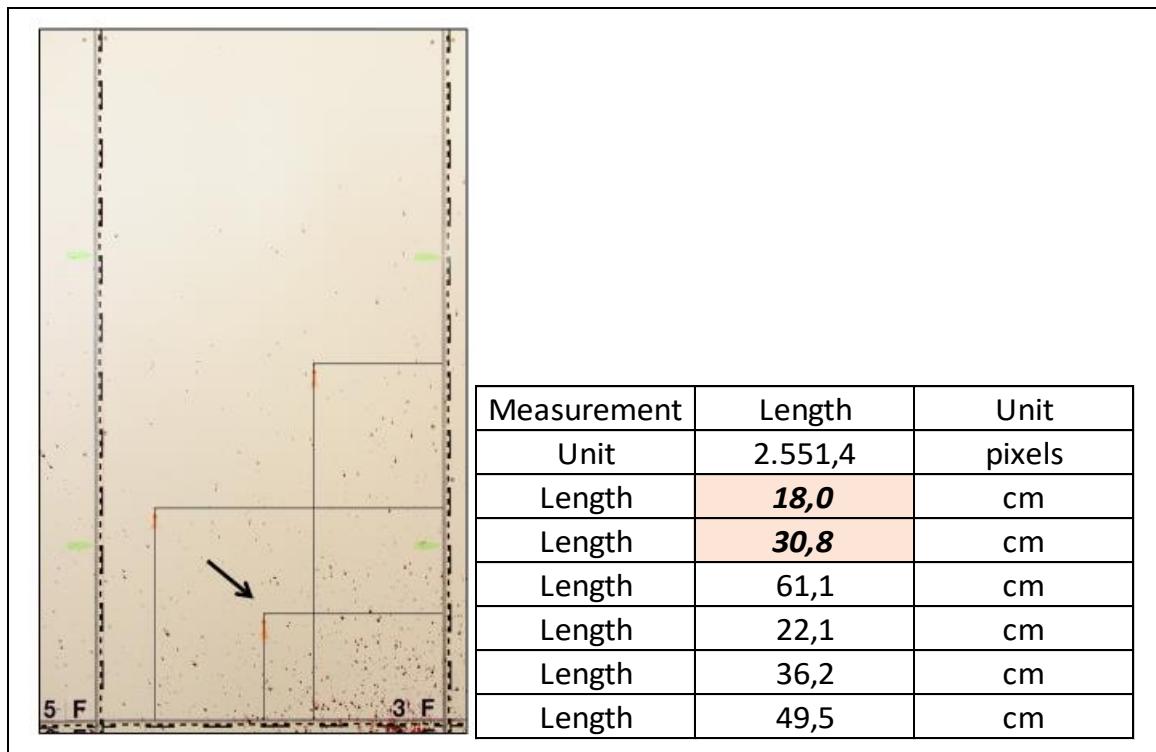


Abbildung 21: Berechnung von x, y und z mittels Digimizer

Ausschlusskriterien für die Analyse sind fotografisch nicht klar abgrenzbare, zu kleine oder unscharfe Blutspritzer, bei denen es nicht möglich ist, mittels HemoSpat™ eine Ellipse um den Blutspritzer zu generieren. Ein Beispiel exkludierter Blutspritzer findet sich in **Abbildung 22**.

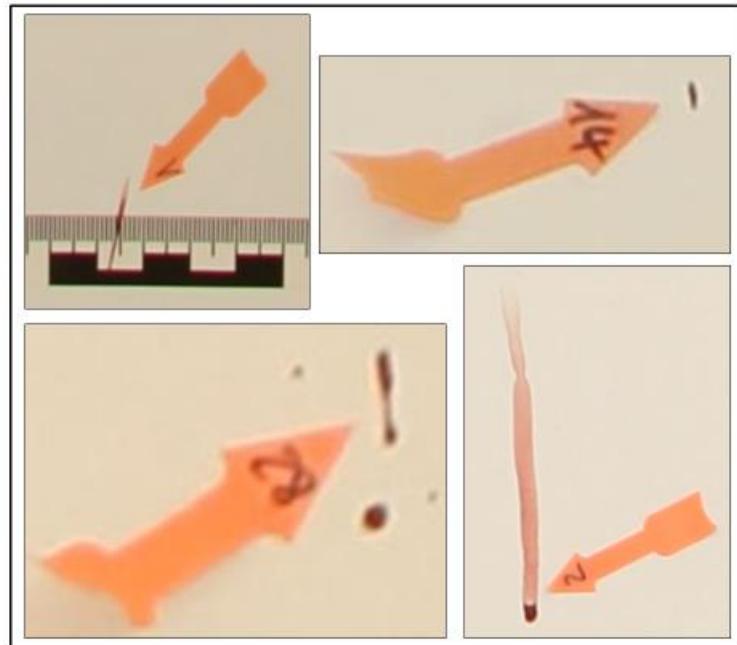


Abbildung 22: Beispiel für von der Analyse ausgeschlossene Blutspritzer

3.4 Digimizer, SPSS und Tests der konfirmatorischen/explorativen Statistik

Die Software Digimizer® ist ein „Image Analysis System“, mit welchem an ausgewählten Bildobjekten metrische und geometrische Messungen vorgenommen werden können. Diese können anschließend in einer Datenbank für nachfolgende statistische Analysen gespeichert werden. Die Software wird vornehmlich in der Histomorphometrie eingesetzt, kann aber nach Kalibrierung durch einen ausgewählten Maßstab auch in der Makrofotografie verwendet werden. [42]

In der vorliegenden Dissertation werden zunächst durch die Promovierende mit Hilfe der Software alle klar abgrenzbaren Blutspritzer markiert. Anschließend erfolgt die Berechnung der jeweiligen Durchmesser der ausgewählten Spritzspuren und die Vermessung der Blutspritzerhöhe (siehe auch Punkt 3.3.2 und **Abbildung 21**).

SPSS ist eine Marke des Softwareentwicklers IBM. Es ist eine kostenpflichtige Statistiksoftware für MacOS und Windows, für die an vielen Hochschulen eine Campuslizenz vorhanden ist. Das Basismodul von SPSS ermöglicht eine Datenverwaltung sowie umfangreiche statistische und grafische Analysen. [45, 46]

Neben der deskriptiv statistischen Auswertung der Daten und ihrer grafischen Darstellung werden Verfahren der konfirmativen Statistik angewendet. Bei dieser teils explorativen Statistik kommen der Mann-Whitney-U-Test, der Chi-Quadrat-Test und der T-Test zum Einsatz.

3.5 HemoSpat™

HemoSpat™ ist ein Softwareprogramm zur Blutspurenanalyse. Es wird 2006 von K. Maloney und A. Maloney in Ottawa/Canada entwickelt und ermöglicht mittels importierter digitaler Fotoaufnahmen vom Tatort virtuell die „stringing method“ anzuwenden. Das Programm dient der Berechnung der „Area of Origin“ einschließlich der Standardabweichung. [9, 13]

Der Vorteil von HemoSpat™ liegt in der Entbehrlichkeit aufwendiger „stringing“-Methoden am Tatort, in der Möglichkeit einer nachträglichen off-scene-Analyse und den digitalen Archivierungsmöglichkeiten der Datensätze für spätere Untersuchungen [34] (vgl. 2.2.4).

Zu Beginn eines neuen Einzelversuchs werden zunächst Details wie der Name des Analysten, Angaben zu Ort, vermutetem Tathergang, usw. erfasst. Im Anschluss muss entschieden werden, ob der Experimentmodus aktiviert werden soll oder nicht. Der Experimentmodus ermöglicht bei Experimenten mit bekanntem Ursprungsort diesen im Programm einzugeben. [13]

Danach wird das Koordinatensystem mit den Raumkoordinaten festgelegt [13]:

- Länge = x im Koordinatensystem und Wand F in den Experimenten (238,8 cm)
- Breite = y im Koordinatensystem und Wand R in den Experimenten (240,4 cm)
- Höhe = z im Koordinatensystem und Höhe in den Experimenten (240 cm).

Zusätzlich können verschiedene Oberflächen wie z. B. eine Tischplatte oder Gegenstände wie ein Stuhl im dreidimensionalen Raum als virtuelle Oberflächen eingefügt werden [13].

Ist der virtuelle Raum fertiggestellt, können die einzelnen ausgewählten Blutspuren importiert und ihre Koordinaten eingetragen werden. Hierzu werden die Digitalbilder von dem geöffneten Ordner in die Spalte Blutspurenmuster (Pattern) gezogen und benannt (z. B. 1/F1 für Blutspur Nummer 1 auf Platte F1). Somit sind die Digitalbilder diesem Blutspurenmuster, das man nun umbenennen kann (z. B. Pattern 1 in Versuch A U2a), zugeordnet. Unterhalb dieses Musters kann in derselben Spalte ein weiteres Blutspurenmuster angelegt werden (z. B. Versuch A U2b (= Pattern 2)). Das bedeutet, dass innerhalb eines Projektes verschiedene Blutspurenmuster eingebracht und später auch miteinander verglichen werden können. [13]

Wird bei Anlegen des Projektes der Experimentmodus gewählt, können durch Anklicken des jeweiligen Versuchsnamens (z. B. Versuch A U2a) die Koordinaten des Ursprungspunktes eingegeben werden (z. B. x = 55 cm, y = 60 cm und z = 167 cm). Dadurch wird es der Software während der Dateneingabe ermöglicht, die aktuell bestehende Differenz (= Delta, Δ) zwischen

dem angegebenen Ursprungsort und dem vom Programm errechneten Ursprungsort sowie die jeweilige Standardabweichung zu bestimmen (**Abbildung 23**). [13] In der vorliegenden Dissertation wird der Experimentmodus gewählt.

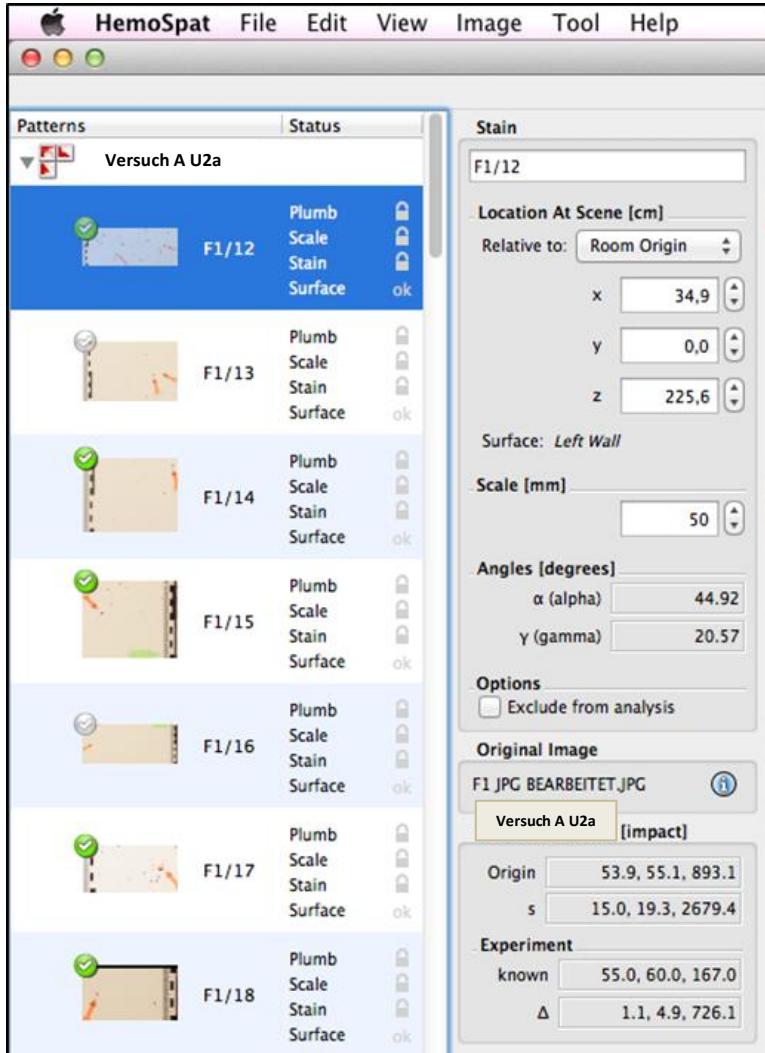


Abbildung 23: Beispiel für die Eingabe eines Blutspurenmusters bei HemoSpat™

Bei allen Blutspritzen besteht die Möglichkeit, diese entweder in der Analyse zu berücksichtigen oder sie auszuschließen (z. B. bei Unschärfe): „Exclude from analysis“. Fallende Blutspritzer („downward moving stains“) können optional von der softwareunterstützten Höhenkalkulation aus- oder eingeschlossen werden: „Include downward in height“. Bei Ausschluss von der Höhenberechnung werden die Blutspritzer vom Programm aus nur zur Berechnung des 2D-Überschneidungspunktes (x- und y-Position) herangezogen, nicht zur Berechnung von z. [13]

Um mit HemoSpat™ anschließend die „Area of Origin“ berechnen zu können, müssen die Blutspritzer markiert und bearbeitet werden. Hierzu stehen vier Werkzeuge (= Tools) zur Verfügung (**Abbildung 24**):

1. „Crop tool“

Hiermit kann das Bild - insofern notwendig - zugeschnitten werden.

2. „Stain tool“

Mit Hilfe dieses Werkzeugs legt HemoSpat™ automatisch die bestmögliche Ellipse um einen Blutspritzer. Im Anschluss kann der Nutzer diese noch anpassen.

3. „Scale tool“

Durch den Maßstab des Softwareprogramms, der an einen Maßstab im Foto angelegt wird, berechnet HemoSpat™ die Längen- und Breitenachse der Ellipse. Die Angabe der Zentimeterzahl erfolgt durch den Analysten.

4. „Plumb line tool“

Mit Hilfe des gesetzten Lots ermittelt HemoSpat™ verschiedene Größen wie beispielsweise den Winkel γ . [13]

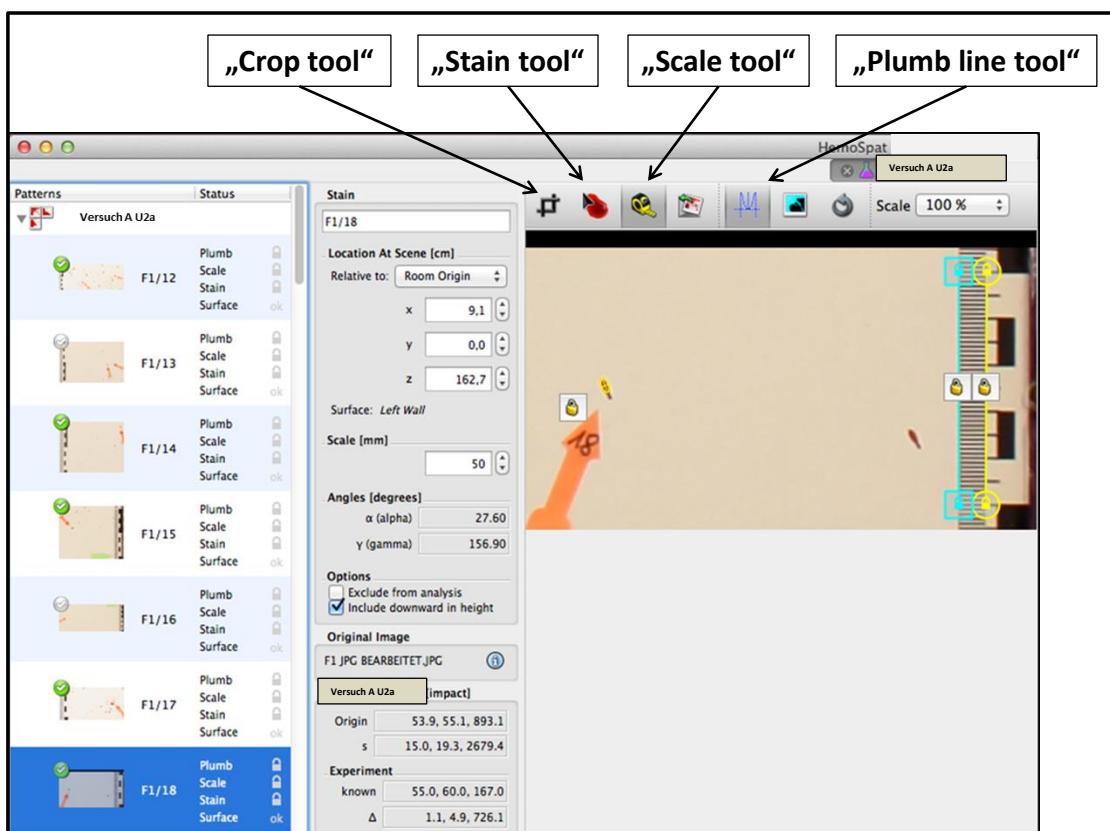


Abbildung 24: Werkzeuge bei HemoSpat™

Nach Aufnahme und Erfassung aller Daten kann der errechnete Ursprungsort virtuell angesehen und mit dem realen (vorgegebenen) Ursprungsort verglichen werden - sowohl in 2D- als auch in 3D-Ansicht [13].

In der 2D-Ansicht kann zwischen drei Blickwinkeln gewechselt werden: der Draufsicht („top view“), der Seitansicht („side view“) und der Frontansicht („front view“). Die reale „Area of Origin“ wird in Form einer Eishockeyscheibe angezeigt (**Abbildungen 25 bis 27**). [13]

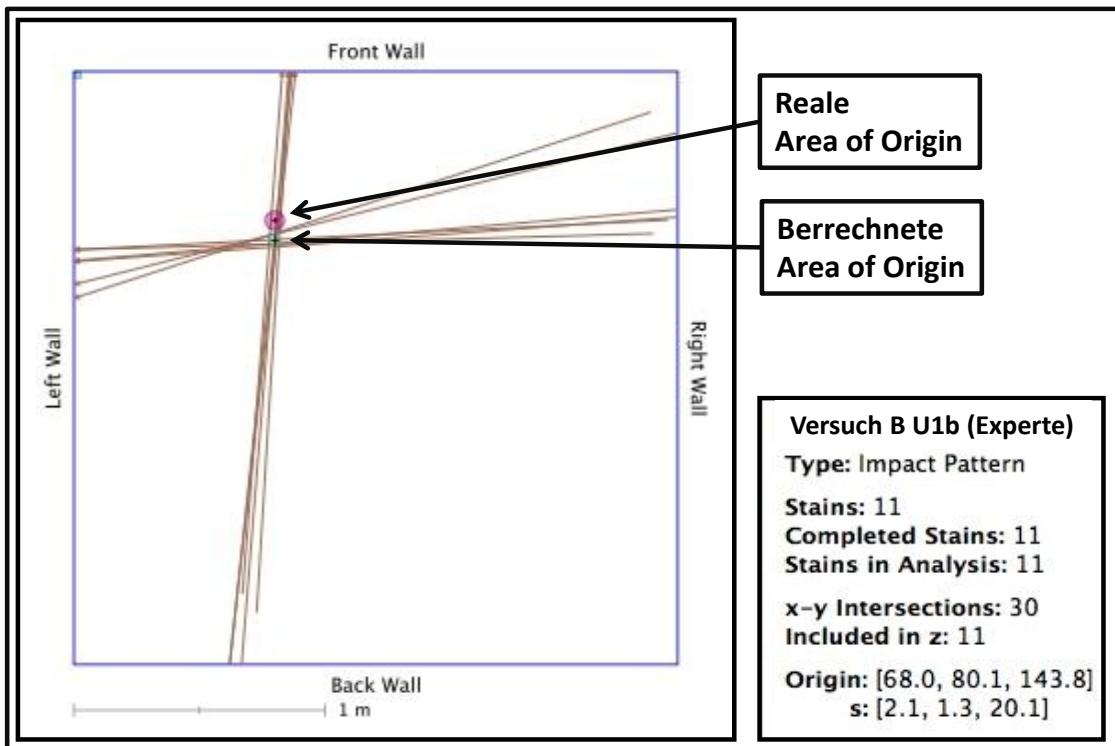


Abbildung 25: 2D-Top-View Versuch B U1b (Experte)

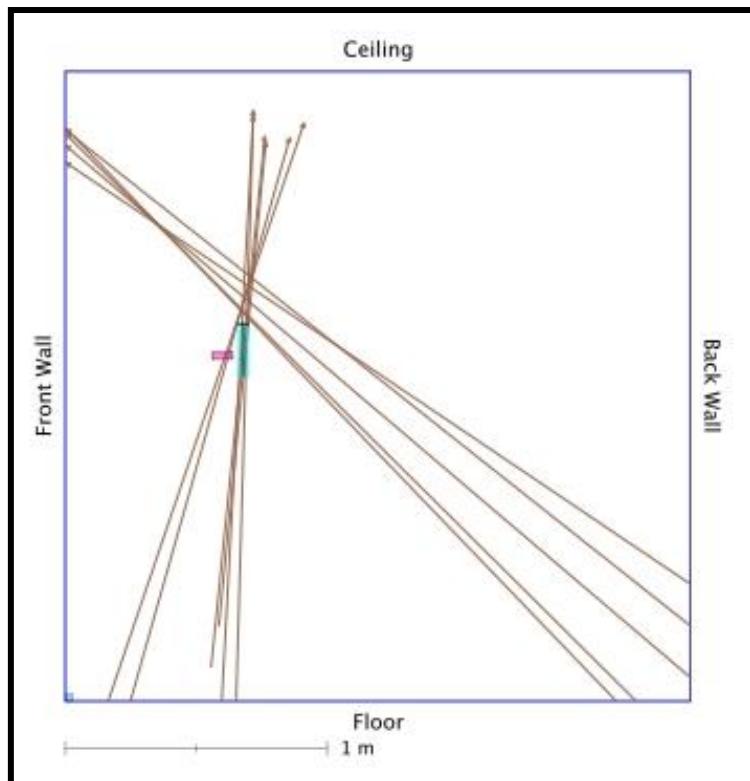


Abbildung 26: 2D-Side-View Versuch B U1b (Experte)

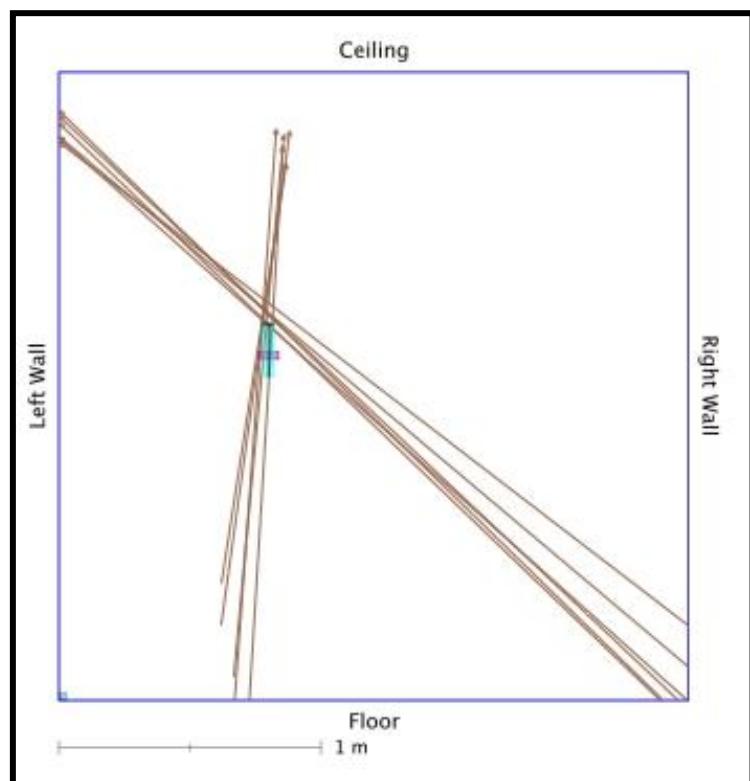


Abbildung 27: 2D-Front-View Versuch B U1b (Experte)

Für die 3D-Ansicht wird ein externes Betrachtungsprogramm benötigt. HemoSpat™ greift standardmäßig auf „Collada exporter“ zu (**Abbildung 28**) [13].

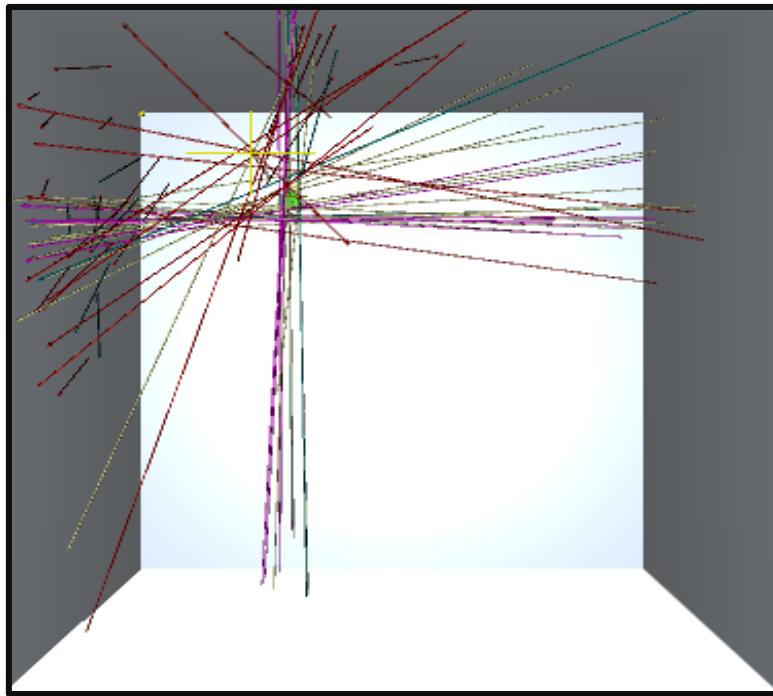


Abbildung 28: Export nach Collada: Top-View Versuch B

Die Daten können zudem exportiert und in andere Formate wie unter anderem Microsoft Excel integriert werden (**Abbildung 29**) [13].

Versuch B U1b									
Name	Location	Surface	M axis	m axis	alpha	beta	gamma	Notes	
F3/5	71.8, 0.0, 223.3	Left Wall	12.7	9.2	46.60	-87.09	-3.08		
F3/6	76.6, 0.0, 213.3	Left Wall	8.8	7.0	52.31	-85.73	-5.54		
F3/7	91.3, 0.0, 220.6	Left Wall	5.0	3.5	44.59	-71.93	-18.76		
F3/8	71.8, 0.0, 225.4	Left Wall	10.8	7.7	45.65	-88.38	-1.66		
F3/9	76.2, 0.0, 215.5	Left Wall	7.6	5.8	49.71	-85.12	-5.78		
F3/11	85.8, 0.0, 214.9	Left Wall	5.6	4.1	47.04	-75.75	-15.83		
R3/1	0.0, 88.2, 217.7	Front Wall	7.3	5.7	51.36	83.72	7.91		
R3/2	0.0, 85.9, 216.3	Front Wall	12.9	9.2	45.17	86.54	3.48		
R3/3	0.0, 85.5, 211.9	Front Wall	9.9	7.6	49.52	85.51	5.28		
R3/4	0.0, 86.9, 205.4	Front Wall	7.6	6.2	55.73	84.06	8.79		
R3/10	0.0, 83.0, 218.5	Front Wall	11.0	7.6	43.85	85.68	4.16		
<hr/>									
Point of origin: 68.0, 80.1, 143.8									
Standard deviation: 2.1, 1.3, 20.1									
<hr/>									
Known origin: 60.0, 80.0, 133.0									
delta: 8.0, 0.1, 10.8									
<hr/>									
Origin Calculation:									
x-y intersections: 30									
stains included in z: 11									
<hr/>									
Notes									
<hr/>									
1. Downward moving stain. Included in height calculation.									
2. Stain's tangent falls short of calculated origin. Excluded from height calculation.									

Abbildung 29: Export nach Microsoft Excel: Versuch B U1b (Experte)

4. Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Musteranalyse

Bei der Auswertung der Experimente der Musteranalyse zeigt sich, dass ein einzelner Hammerschlag in eine Blutquelle bei gleichartigem Aufbau des Experiments (vgl. 3.3.1) hochähnliche typische Blutspurenspritzmuster ergibt. Es bilden sich durchweg zwei voneinander abgrenzbare Blutspurenmusterzentren in unterschiedlicher Höhe an den Wänden aus. Diese doppelte Blutspurenmusterbildung wird als Ergebnis sich im Luftstrom aufteilender Flugkorridore der verspritzenden Blutstropfen gedeutet, die sich zunächst basisnah „kronenformähnlich“ von der Blutquelle entfernen und dann zunehmend zentrifugale Flugrichtungen einnehmen (**Abbildung 30**). Ursache dafür ist die Herausbildung von Tropfen unterschiedlicher Masse und Volumina. [16]

Die hierarchische Clusteranalyse zeigt folgendes: Befindet sich das Tatgeschehen näher an der auszuwertenden Wand (z. B. 30 cm entfernt), so weist das tiefer liegende, der Ausprägung nach intensivere Muster durchschnittlich kleinere und rundlichere Blutspritzer knapp oberhalb des Impacts auf, während das zweite, an der Wand regelhaft höher gelegene und insgesamt weniger dichte Muster größere und verstärkt oval geformte Blutspritzer aufzeigt. [16]

Je größer der Abstand des Tatgeschehens zur Wand wird, desto mehr divergieren beide Muster voneinander und desto mehr verschieben sich die beiden Blutspurenmustergruppen an der Wand vertikal nach oben. Das bedeutet, dass runde Blutspritzer nicht immer die exakte Höhe des Ursprungsortes widerspiegeln. Zudem erhöhen sich die durchschnittlichen Durchmesser der Blutspritzer von 1,38 mm (Cluster 1) und 3,1 mm (Cluster 2) bei einem Abstand von 30 cm auf 3,81 (Cluster 1) und 5,82 mm (Cluster 2) bei einem Abstand von 150 cm. [16]

Weiterhin wird deutlich, dass mit zunehmendem Abstand des Tatgeschehens zur Wand eine geringere Anzahl der sehr kleinen (und leichten) Blutspritzer die Wand erreicht. Die sehr kleinen - oft < 2 mm durchmessenden - Blutspritzer finden sich überwiegend näher zum Ort des Impacts gelegen, weil ihr geringes Gewicht nur kurze Flugwege erlaubt. Entsprechend diffuser verteilt und weiter entfernt bzw. auseinander gedriftet lassen sich größere Blutspritzer - ca. > 4 mm - nachweisen. [16]

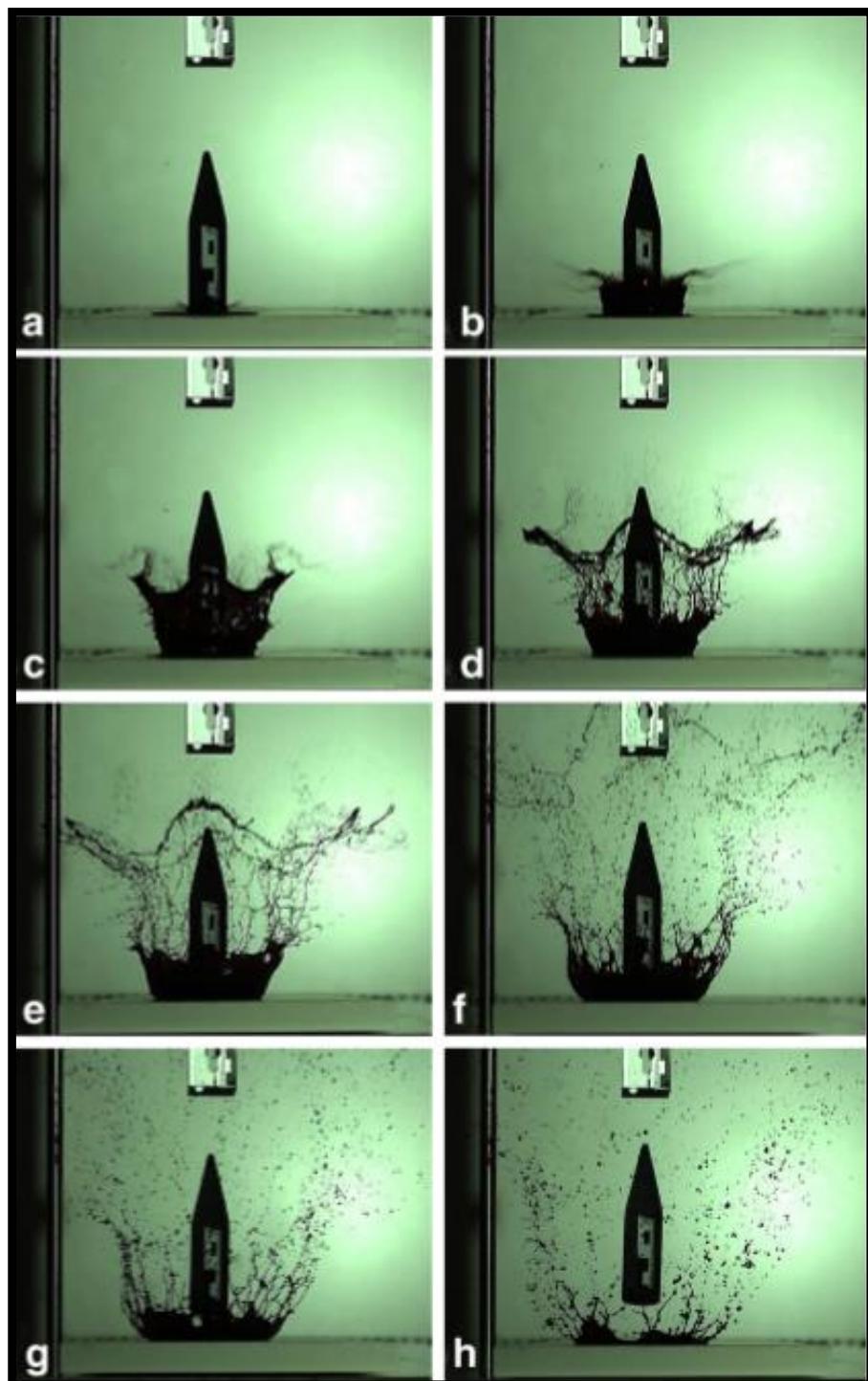


Abbildung 30: Sich "kronenformähnlich" von der Blutquelle entfernde Blutstropfen nach Auftreffen eines Hammerkopfes in eine Blutlache²³

²³ In Anlehnung an Kettner M, Schmidt A, Windgassen M, Schmidt P, Wagner C, Ramsthaler F (2014) Impact height and wall distance in bloodstain pattern analysis – what patterns of round bloodstains can tell us. Int J Legal Med 129(1):136.

4.2 Ergebnisse der 15 Hauptexperimente mit deskriptiver und explorativer Statistik

In den Tabellen 1, 2 und 3 sind die 15 Experimente mit der jeweiligen Anzahl der Impacts, den jeweiligen Koordinaten der „Area of Origin“, den Probanden und der ausgewählten Blutspritzeranzahl aufgelistet.

Von den 15 durchgeführten Experimenten werden sechs mit jeweils einem Hammerschlag, fünf mit zwei Hammerschlägen und vier mit drei Hammerschlägen durchgeführt.

	Test A	Test B	Test C	Test D	Test E	Test F
Impacts	1	1	1	1	1	1
x-Coordinate Impact 1	55 cm	60 cm	120 cm	40 cm	84,5 cm	41 cm
y-Coordinate Impact 1	60 cm	80 cm	120 cm	120 cm	93,5 cm	46,5 cm
z-Coordinate Impact 1	167 cm	133 cm	63,5 cm	43,5 cm	82,5 cm	43,5 cm
Bloodstain No Observer 1	36	29	37	44	34	49
Bloodstain No Observer 2	27	13	20	30	20	21
Bloodstain No Observer 3	14	17	34	31	29	32
Bloodstain No Observer 4	12	11	17	10	11	15

Tabelle 1: Versuche A - F, 1 Impact

	Test G	Test H	Test I	Test J	Test K
Impacts	2	2	2	2	2
x-Coordinate Impact 1	60 cm	125 cm	180 cm	70 cm	63 cm
y-Coordinate Impact 1	100 cm	175 cm	60 cm	101 cm	132 cm
z-Coordinate Impact 1	59 cm	155 cm	82,5 cm	123,5 cm	35,8 cm
x-Coordinate Impact 2	60 cm	100 cm	200 cm	70 cm	63 cm
y-Coordinate Impact 2	70 cm	100 cm	80 cm	101 cm	132 cm
z-Coordinate Impact 2	86 cm	18 cm	75,5 cm	123,5 cm	35,8 cm
Bloodstain No Observer 1	40	40	34	29	37
Bloodstain No Observer 2	31	27	22	21	26
Bloodstain No Observer 3	16	31	32	30	24
Bloodstain No Observer 4	20	14	19	17	17

Tabelle 2: Versuche G - K, 2 Impacts

	Test L	Test M	Test N	Test O
Impacts	3	3	3	3
x-Coordinate Impact 1	65 cm	95 cm	80 cm	150 cm
y-Coordinate Impact 1	35 cm	130 cm	55 cm	76 cm
z-Coordinate Impact 1	65,5 cm	124 cm	105 cm	123,5 cm
x-Coordinate Impact 2	65 cm	95 cm	80 cm	96 cm
y-Coordinate Impact 2	35 cm	115 cm	55 cm	64 cm
z-Coordinate Impact 2	65,5 cm	124 cm	105 cm	123,5 cm
x-Coordinate Impact 3	65 cm	110 cm	80 cm	42,5 cm
y-Coordinate Impact 3	35 cm	115 cm	55 cm	36 cm
z-Coordinate Impact 3	65,5 cm	124 cm	105 cm	35,8 cm
Bloodstain No Observer 1	38	41	35	48
Bloodstain No Observer 2	33	33	26	27
Bloodstain No Observer 3	28	21	24	41
Bloodstain No Observer 4	20	17	20	31

Tabelle 3: Versuche L - O, 3 Impacts

4.2.1 Stammdaten der Blutspritzer

Für die statistische Auswertung mit SPSS werden zwei Stammdatentabellen mit Excel erstellt (**Tabellen 4 und 5** (S. 47 und 49)), die ganz oder anteilig (je nach zu beantwortender Fragestellung) in SPSS exportiert und bearbeitet werden.

In **Tabelle 4** ist beispielhaft ein Ausschnitt aus dem Stammdatenverzeichnis der Blutspritzer dargestellt.

ID	Observer	TestNo	ImpactNo	Wall	Plate	Arrow	z	x	y	alpha	gamma	Width mm	Length mm	StainDirection	Excluded
1	1	A	1	1	12	225,6	34,9	0,0	44,92	20,57	6,8	9,6	0	0	
2	1	A	1	1	13	189,9	44,0	0,0	/	/	/	/	/	1	
3	1	A	1	1	14	189,5	45,2	0,0	68,02	168,49	2,8	3,0	1	0	
4	1	A	1	1	15	205,9	10,2	0,0	56,19	88,29	2,7	3,3	0	0	
5	1	A	1	1	16	195,1	22,3	0,0	/	/	/	/	/	1	
6	1	A	1	1	17	222,8	48,2	0,0	59,33	11,49	7,7	9,0	0	0	
7	1	A	1	1	18	162,7	9,1	0,0	27,60	156,90	1,4	3,0	1	0	
8	1	A	1	3	5	232,6	106,1	0,0	36,31	-34,50	3,6	6,1	0	0	
9	1	A	1	3	6	206,8	90,5	0,0	44,02	-35,26	1,5	2,2	0	0	
10	1	A	1	3	7	205,1	86,6	0,0	31,88	-152,55	1,5	2,8	1	0	
11	1	A	1	3	8	220,8	91,7	0,0	41,72	-36,28	3,2	4,8	0	0	
12	1	A	1	3	9	189,1	96,3	0,0	33,34	-160,82	1,1	1,9	1	0	
13	1	A	1	3	10	194,9	62,8	0,0	/	/	/	/	/	1	
14	1	A	1	3	11	227,4	61,0	0,0	41,90	0,04	4,5	6,7	0	0	
15	1	A	1	5	1	214,0	166,8	0,0	16,65	-144,94	2,4	8,4	1	0	
16	1	A	1	5	2	189,9	124,3	0,0	32,33	-136,19	2,8	5,3	1	0	
17	1	A	1	5	3	235,4	124,6	0,0	/	/	/	/	/	1	
18	1	A	1	5	4	192,8	119,5	0,0	8,53	-174,74	0,9	6,4	1	0	
19	1	A	1	2	9	233,6	0,0	28,0	39,56	-23,74	4,5	7,1	0	0	
20	1	A	1	2	9	215,1	0,0	58,7	11,83	-178,07	1,2	5,8	1	0	

Tabelle 4: Ausschnitt aus dem Stammdatenverzeichnis der Blutspritzer

Die ID ist eine fortlaufende Nummer und gibt die Anzahl aller ausgewählten Blutspritzer an. Sie reicht von 1 bis 1.597.

Der Observer [1-4] bezeichnet den jeweiligen Probanden, der diesen konkreten Blutspritzer ausgewählt hat. 1 steht für Observer 1 (= Analyst U2a), 2 für Observer 2 (= Analyst U2b), 3 für Observer 3 (= Analyst U1a) und 4 für Observer 4 (= Analyst U1b).

Die Test No. markiert den konkreten Versuch (1-15), der in chronologischer Abfolge mit den Buchstaben des Alphabets von A bis O gekennzeichnet wird.

Die Impact No. gibt die Anzahl der Hammerschläge pro Versuch an. Sie variiert zwischen 1, 2 und 3.

In der Spalte „Wall“ steht 1 für „Wand F“ und 2 für „Wand R“ (siehe Punkt 3.1 mit den Abbildungen 15, 16 und 17). Die Spalte „Plate“ unterteilt sich in die Zahlen 1 bis 16 als Äquivalent zu F1-F8 und R1-R8. 1 ist als Synonym für die „Platte F1“ zu sehen, 2 als Synonym für die „Platte F2“, usw.

Die Kategorien z, x und y geben die 3D-Koordinaten des jeweiligen Blutspritzers im Raum wider.

In den nachfolgenden Spalten sind die Auftreff- und Richtungswinkel (α und γ) sowie die Breite und Länge (Width und Length) der jeweiligen Blutspritzer aufgelistet.

Zum Schluss folgen die Rubriken „Stain Direction“ und „Excluded“. Die Ziffer 1 bildet einen abfallenden bzw. von der Analyse ausgeschlossenen Blutspritzer ab und die Ziffer 0 einen aufsteigenden bzw. in die Analyse eingeschlossenen Blutspritzer.

Tabelle 5 zeigt die mit Hilfe von HemoSpat™ errechneten Ursprungsorte der sechs Versuche mit jeweils einem Impact (Versuche A - F) sowie der vier Versuche mit jeweils zwei bzw. drei Impacts bei gleichzeitig identischer Position (Versuche J, K, L und N) und ihre Differenzen zu den realen Koordinaten in cm an. Die letzte Spalte gibt die Abweichung von der errechneten „Area of Origin“ zu der realen „Area of Origin“ an.

Für die Versuche G, H, I, M und O ist es nicht möglich mit HemoSpat™ eine einzelne „Area of Origin“ zu berechnen, da diese Versuche mit mehreren Impacts an unterschiedlichen Positionen im Raum durchgeführt werden.

Bei den Versuchen J, K, L und N liegen zwei oder drei Impacts vor. Da sich diese jedoch an derselben Position im Raum befinden, wird eine „Area of Origin“ durch die Software HemoSpat™ erkannt.

ID	TestNo	Obs	Experience	AoO x	AoO y	AoO z	Diff AoO x	Diff AoO y	Diff AoO z	Distance Real Estimated
1	Test A	1	Unexperienced	53,9	55,1	893,1	1,1	4,9	-726,1	726,12
2	Test B	1	Unexperienced	56,4	70,7	258,9	3,6	9,3	-125,9	126,29
3	Test C	1	Unexperienced	120,1	118,1	147,7	-0,1	1,9	-84,2	84,22
4	Test D	1	Unexperienced	40,1	118,5	111,3	-0,1	1,5	-67,8	67,82
5	Test E	1	Unexperienced	91,9	89,6	136,3	-7,4	3,9	-53,8	54,45
6	Test F	1	Unexperienced	41	46,8	92,9	0	-0,3	-49,4	49,4
7	Test J	1	Unexperienced	61	101,5	224,5	9	-0,5	-101	101,4
8	Test K	1	Unexperienced	61,7	128,4	106,7	1,3	3,6	-70,9	71
9	Test L	1	Unexperienced	61	35,7	142,7	4	-0,7	-77,2	77,31
10	Test N	1	Unexperienced	81,2	51,7	168,7	-1,2	3,3	-63,7	63,8
11	Test A	2	Unexperienced	56,4	55,3	179	-1,4	4,7	-12	12,96
12	Test B	2	Unexperienced	52,2	86,7	159	7,8	-6,7	-26	27,96
13	Test C	2	Unexperienced	132	121,8	97,2	-12	-1,8	-33,7	35,82
14	Test D	2	Unexperienced	38,6	122,6	86,4	1,4	-2,6	-42,9	43
15	Test E	2	Unexperienced	87,4	93,3	134,4	-2,9	0,2	-51,9	51,98
16	Test F	2	Unexperienced	39,4	53	64,3	1,6	-6,5	-20,8	21,85
17	Test J	2	Unexperienced	53,8	100,6	200	16,2	0,4	-76,5	78,2
18	Test K	2	Unexperienced	61,1	129,8	58,2	1,9	2,2	-22,4	22,59
19	Test L	2	Unexperienced	60,8	34	121,8	4,2	1	-56,3	56,47
20	Test N	2	Unexperienced	74,2	64,6	124	5,8	-9,6	-19	22,06
21	Test A	3	Experienced	57,7	56,1	164	-2,7	3,9	3	5,61
22	Test B	3	Experienced	63,3	79,2	127,6	-3,3	0,8	5,4	6,38
23	Test C	3	Experienced	122,8	121,9	114,5	-2,8	-1,9	-51	51,11
24	Test D	3	Experienced	37,9	122,7	68,7	2,1	-2,7	-25,2	25,43
25	Test E	3	Experienced	83,3	96,4	106,9	1,2	-2,9	-24,4	24,6
26	Test F	3	Experienced	42,8	49,6	46,9	-1,8	-3,1	-3,4	4,94
27	Test J	3	Experienced	73,3	99	136,9	-3,3	2	-13,4	13,94
28	Test K	3	Experienced	61,3	129	62,6	1,7	3	-26,8	27,02
29	Test L	3	Experienced	64,7	32,6	80,9	0,3	2,4	-15,4	15,59
30	Test N	3	Experienced	82,1	52,8	113,6	-2,1	2,2	-8,6	9,12
31	Test A	4	Experienced	58	58,5	158,3	-3	1,5	8,7	9,32
32	Test B	4	Experienced	68	80,1	143,8	-8	-0,1	-10,8	13,44
33	Test C	4	Experienced	124,2	124,1	88,5	-4,2	-4,1	-25	25,68
34	Test D	4	Experienced	39,7	119,1	69,2	0,3	0,9	-25,7	25,72
35	Test E	4	Experienced	85,5	93,1	95,4	-1	0,4	-12,9	12,94
36	Test F	4	Experienced	40,6	47,9	42,7	0,4	-1,4	0,8	1,66
37	Test J	4	Experienced	72	99,9	123,7	-2	1,1	-0,2	2,29
38	Test K	4	Experienced	64,6	131,6	47	-1,6	0,4	-11,2	11,32
39	Test L	4	Experienced	66,4	35,3	85,8	-1,4	-0,3	-20,3	20,35
40	Test N	4	Experienced	82,4	59,7	111	-2,4	-4,7	-6	7,99

Tabelle 5: Abweichung des realen Ursprungsortes vom errechneten Ursprungsort

Insgesamt werden 1.597 Blutspritzer zur Analyse herangezogen: 59,1 % aller ausgewählten Blutspritzer werden von den unerfahrenen Analysten (= 944 Blutspritzer) ausgewählt und 40,9 % aller Blutspritzer von den erfahrenen Analysten (= 653 Blutspritzer) (siehe auch Tabelle 6 S. 51). Bei den unerfahrenen Analysten werden pro Versuch durchschnittlich 32 Blutspritzer in die Auswertung einbezogen, wobei Analyst U2a im Durchschnitt 38 Blutspritzer berücksichtigt und Analyst U2b im Durchschnitt 25. Von den versierten Analysten werden im Mittel 22 Blutspritzer pro Versuch erfasst und vermessen, wobei Analyst U1a im Durchschnitt

27 Blutspritzer selektiert und Analyst U1b im Durchschnitt 17. Siehe hierzu die Abbildungen 31 und 32.

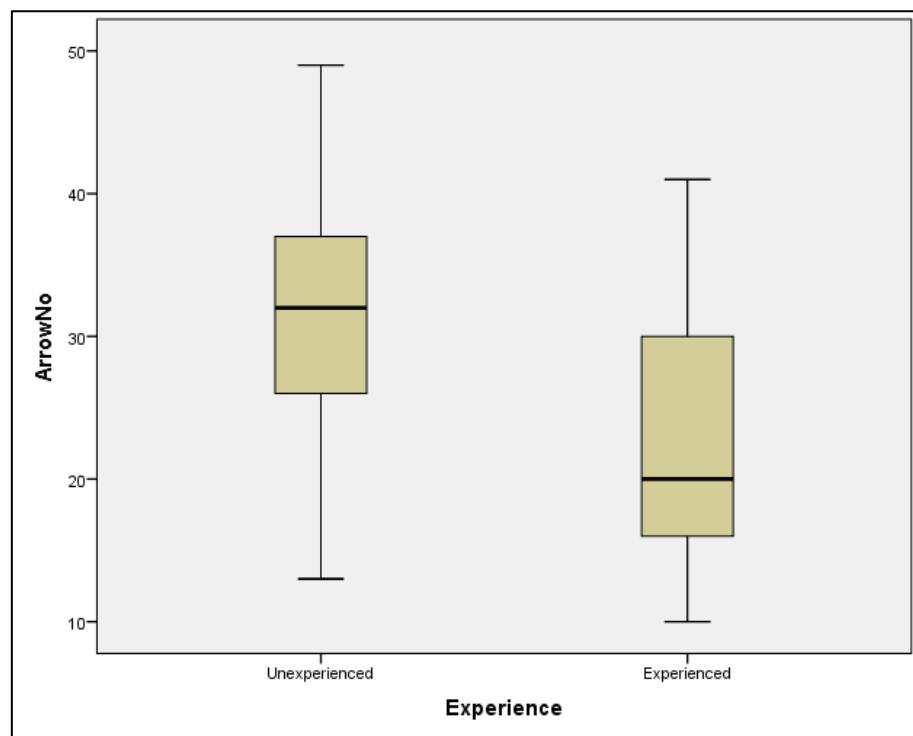


Abbildung 31: Boxplot: Blutspritzeranzahl in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten

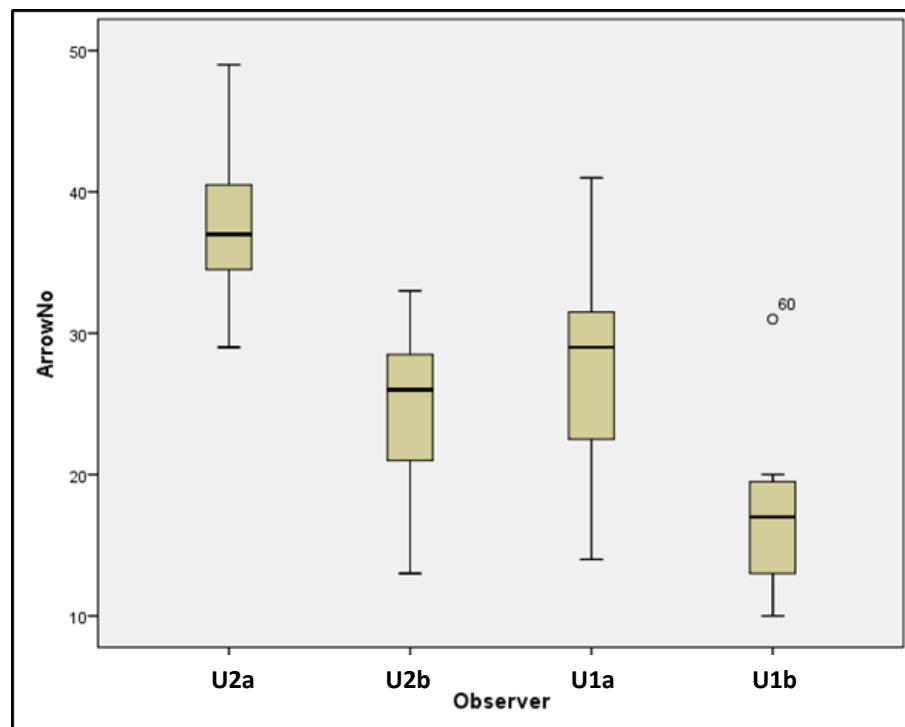


Abbildung 32: Boxplot: Blutspritzeranzahl in Abhängigkeit vom jeweiligen Analysten

4.2.2 Exkludierte Blutspritzer

10,1 % der 1.597 Blutspritzer (= 161 Blutspritzer) werden gemäß der Definitionskriterien (siehe Punkt 3.3.2) von der Analyse ausgeschlossen, sodass 89,9 % (= 1.436 Blutspritzer) zur Auswertung genutzt werden können.²⁴

Die exkludierten Blutspritzer entfallen zu 92,5 % auf die Gruppe U2 (unerfahren) (= 149 Blutspritzer) und zu 7,5 % auf die Gruppe U1 (erfahren) (= 12 Blutspritzer): Im Einzelnen entfallen 29,2 % auf Analyst U2a, 63,4 % auf Analyst U2b, 6,8 % auf Analyst U1a und 0,6 % auf Analyst U1b. Vergleiche dazu die **Tabellen 6 und 7**.

		Arrow No			Gesamt
Experience	Unexperienced		Included	Excluded	
	Anzahl	795	149	944	
	% innerhalb von Experience	84,20%	15,80%	100,00%	
	% innerhalb von Arrow No	55,40%	92,50%	59,10%	
	Experienced	% der Gesamtzahl	49,80%	9,30%	59,10%
		Anzahl	641	12	653
		% innerhalb von Experience	98,20%	1,80%	100,00%
		% innerhalb von Arrow No	44,60%	7,50%	40,90%
		% der Gesamtzahl	40,10%	0,80%	40,90%
Gesamt		Anzahl	1436	161	1597
		% innerhalb von Experience	89,90%	10,10%	100,00%
		% innerhalb von Arrow No	100,00%	100,00%	100,00%
		% der Gesamtzahl	89,90%	10,10%	100,00%

Tabelle 6: Ein- und ausgeschlossene Blutspritzer in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten

²⁴

Alle nachfolgenden Betrachtungen beziehen sich auf die Blutspritzer nach erfolgtem Exklusionsvorgang, da hierauf die Endergebnisse beruhen.

			Arrow No		Gesamt	
			Included	Excluded		
Observer	U2a	Anzahl	521	47	568	
		% innerhalb von Observer	91,70%	8,30%	100,00%	
		% innerhalb von Arrow No	36,30%	29,20%	35,60%	
		% der Gesamtzahl	32,60%	2,90%	35,60%	
	U2b	Anzahl	274	102	376	
		% innerhalb von Observer	72,90%	27,10%	100,00%	
		% innerhalb von Arrow No	19,10%	63,40%	23,50%	
		% der Gesamtzahl	17,20%	6,40%	23,50%	
	U1a	Anzahl	391	11	402	
		% innerhalb von Observer	97,30%	2,70%	100,00%	
		% innerhalb von Arrow No	27,20%	6,80%	25,20%	
		% der Gesamtzahl	24,50%	0,70%	25,20%	
	U1b	Anzahl	250	1	251	
		% innerhalb von Observer	99,60%	0,40%	100,00%	
		% innerhalb von Arrow No	17,40%	0,60%	15,70%	
		% der Gesamtzahl	15,70%	0,10%	15,70%	
Gesamt		Anzahl	1436	161	1597	
		% innerhalb von Observer	89,90%	10,10%	100,00%	
		% innerhalb von Arrow No	100,00%	100,00%	100,00%	
		% der Gesamtzahl	89,90%	10,10%	100,00%	

Tabelle 7: Ein- und ausgeschlossene Blutspritzer in Abhängigkeit vom jeweiligen Analysten

4.2.3 Aufsteigende/Absteigende Blutspritzer

Von den eingeschlossenen Blutspritzern sind 73,2 % aufsteigend (= 1.051 Blutspritzer) und 26,8 % absteigend (= 385 Blutspritzer).

96,9 % der abfallenden Blutspritzer (= 373 Blutspritzer) werden von den unerfahrenen und 3,1 % von den erfahrenen Analysten (= 12 Blutspritzer) ausgewählt. Im Einzelnen stammen 69,9 % aller absteigenden Blutspritzer von Analyst U2a, 27 % von Analyst U2b, 2,9 % von Analyst U1a und 0,3 % von Analyst U1b (**Tabellen 8 und 9**).

			StainDirection		Gesamt	
		Upward	Downward			
Experience	Unexperienced	Anzahl	422	373	795	
		% innerhalb von Experience	53,10%	46,90%	100,00%	
		% innerhalb von StainDirection	40,20%	96,90%	55,40%	
		% der Gesamtzahl	29,40%	26,00%	55,40%	
	Experienced	Anzahl	629	12	641	
		% innerhalb von Experience	98,10%	1,90%	100,00%	
		% innerhalb von StainDirection	59,80%	3,10%	44,60%	
		% der Gesamtzahl	43,80%	0,80%	44,60%	
Gesamt		Anzahl	1051	385	1436	
		% innerhalb von Experience	73,20%	26,80%	100,00%	
		% innerhalb von StainDirection	100,00%	100,00%	100,00%	
		% der Gesamtzahl	73,20%	26,80%	100,00%	

Tabelle 8: Auf- und absteigende Blutspritzer in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten

			StainDirection		Gesamt	
		Upward	Downward			
Analyst	U2a	Anzahl	252	269	521	
		% innerhalb von Observer	48,40%	51,60%	100,00%	
		% innerhalb von StainDirection	24,00%	69,90%	36,30%	
		% der Gesamtzahl	17,50%	18,70%	36,30%	
	U2b	Anzahl	170	104	274	
		% innerhalb von Observer	62,00%	38,00%	100,00%	
		% innerhalb von StainDirection	16,20%	27,00%	19,10%	
		% der Gesamtzahl	11,80%	7,20%	19,10%	
	U1a	Anzahl	380	11	391	
		% innerhalb von Observer	97,20%	2,80%	100,00%	
		% innerhalb von StainDirection	36,20%	2,90%	27,20%	
		% der Gesamtzahl	26,50%	0,80%	27,20%	
	U1b	Anzahl	249	1	250	
		% innerhalb von Observer	99,60%	0,40%	100,00%	
		% innerhalb von StainDirection	23,70%	0,30%	17,40%	
		% der Gesamtzahl	17,30%	0,10%	17,40%	
Gesamt		Anzahl	1051	385	1436	
		% innerhalb von Observer	73,20%	26,80%	100,00%	

Tabelle 9: Auf- und absteigende Blutspritzer in Abhängigkeit vom jeweiligen Analysten

4.2.4 Länge, Breite und α -Winkel der Blutspritzer

Bei Betrachtung von Breite und Länge der Blutspritzer zeigt sich, dass die erfahrenen Analysten im Vergleich zu den unerfahrenen breitere und kürzere Blutspritzer - folglich rundere Blutspritzer - auswählen. Gruppe U1 (erfahren) wählt Blutspritzer mit einer durchschnittlichen Länge von 5,71 mm und einer durchschnittlichen Breite von 3,50 mm, womit sich ein durchschnittliches Verhältnis von Länge zu Breite von 1,63:1 ergibt. Gruppe U2 (unerfahren) wählt Blutspritzer mit einer durchschnittlichen Länge von 6,64 mm und einer durchschnittlichen Breite von 3,13 mm, womit sich ein durchschnittliches Verhältnis von Länge zu Breite von 2,12:1 ergibt.

Dies spiegelt sich auch in der Auswertung der durchschnittlichen α -Winkel wider. Bei den versierten Analysten errechnet sich ein durchschnittlicher α -Winkel von 42,77 Grad, bei den nicht versierten von 32,03 Grad (vgl. zur Erläuterung des α -Winkels Punkt 2.2.3).

Siehe hierzu die **Tabellen 10 bis 12** sowie die dazugehörigen Boxplots (**Abbildungen 33 bis 35**).

	Experience		Statistik	Standardfehler
Length mm	Unexperienced	Mittelwert	6,6384	0,13695
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	6,3695
			Obergrenze	6,9072
		Median	5,6	
		Varianz	14,91	
		Standardabweichung	3,8614	
		Minimum	1	
		Maximum	31,3	
		Spannweite	30,3	
		Interquartilbereich	4,7	
	Experienced	Mittelwert	5,7119	0,10749
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	5,5008
			Obergrenze	5,9229
		Median	5,2	
		Varianz	7,406	
		Standardabweichung	2,7215	
		Minimum	0,3	
		Maximum	15,2	
		Spannweite	14,9	
		Interquartilbereich	3,9	

Tabelle 10: Blutspritzerlänge in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten

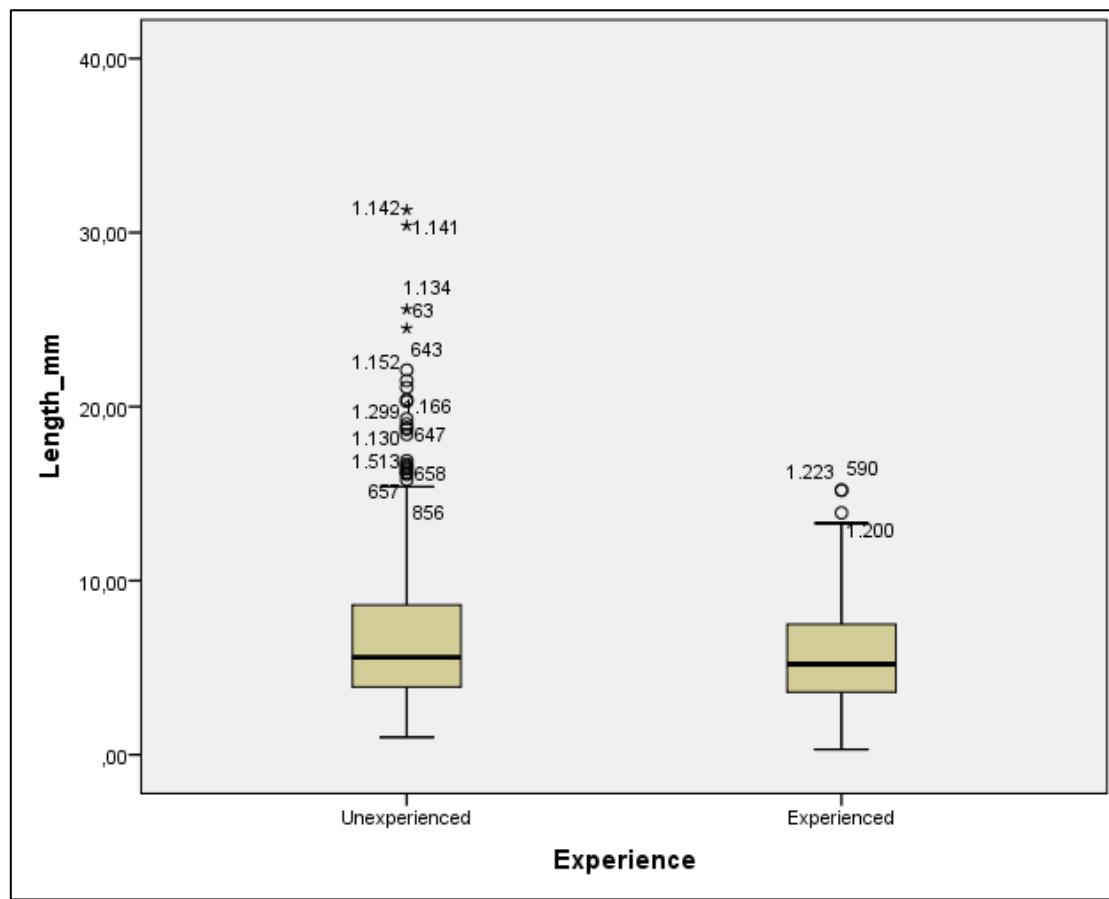


Abbildung 33: Boxplot: Blutspritzerlänge in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten

	Experience		Statistik	Standardfehler
Width mm	Unexperienced	Mittelwert	3,1321	0,07059
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	2,9935
			Obergrenze	3,2706
		Median	2,5	
		Varianz	3,961	
		Standardabweichung	1,9902	
		Minimum	0,4	
		Maximum	19,9	
		Spannweite	19,5	
		Interquartilbereich	2,3	
Width mm	Experienced	Mittelwert	3,5036	0,05778
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	3,3901
			Obergrenze	3,6171
		Median	3,2	
		Varianz	2,14	
		Standardabweichung	1,4629	
		Minimum	0,3	
		Maximum	9,4	
		Spannweite	9,1	
		Interquartilbereich	1,9	

Tabelle 11: Blutspritzerbreite in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten

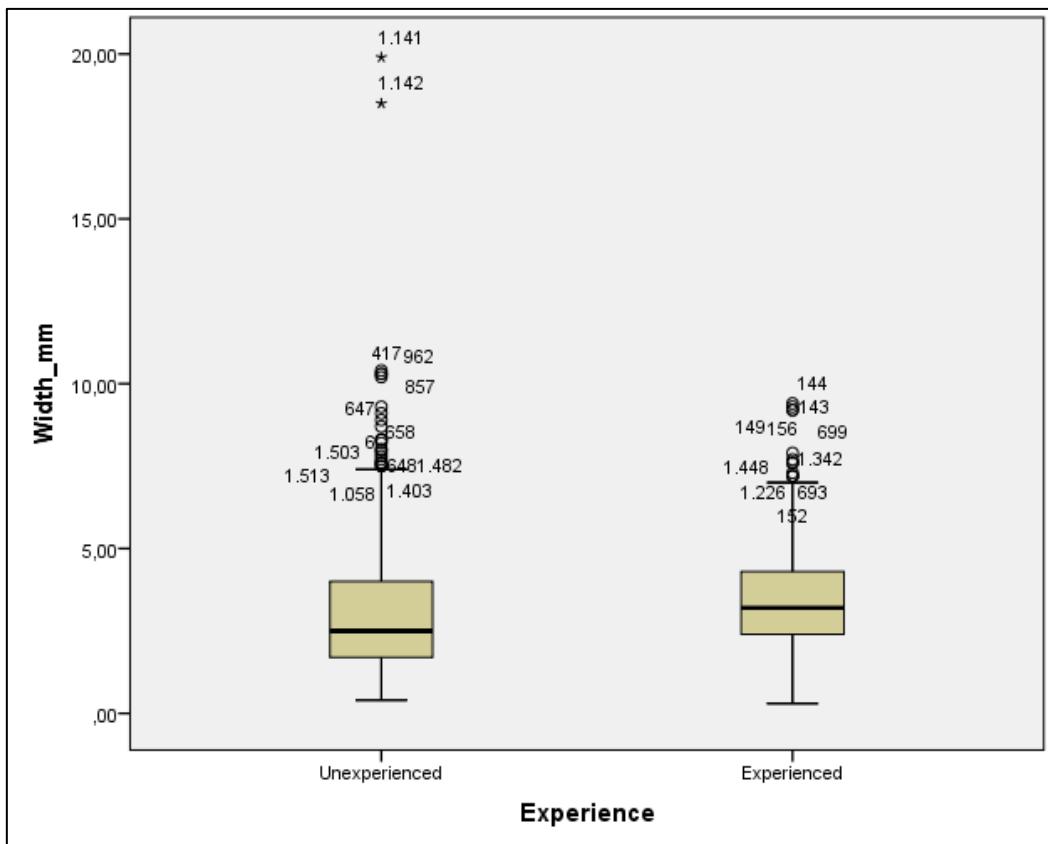


Abbildung 34: Boxplot: Blutspritzerbreite in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten

	Experience		Statistik	Standardfehler
alpha	Unexperienced	Mittelwert	32,034	0,55228
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze Obergrenze	30,95 33,118
		Median	30,06	
		Varianz	242,49	
		Standardabweichung	15,572	
		Minimum	4,5	
		Maximum	83,95	
		Spannweite	79,45	
		Interquartilbereich	22,55	
	Experienced	Mittelwert	42,77	0,55185
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze Obergrenze	41,686 43,853
		Median	40,75	
		Varianz	195,21	
		Standardabweichung	13,972	
		Minimum	10,41	
		Maximum	87,24	
		Spannweite	76,83	
		Interquartilbereich	17,51	

Tabelle 12: α -Winkel in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten

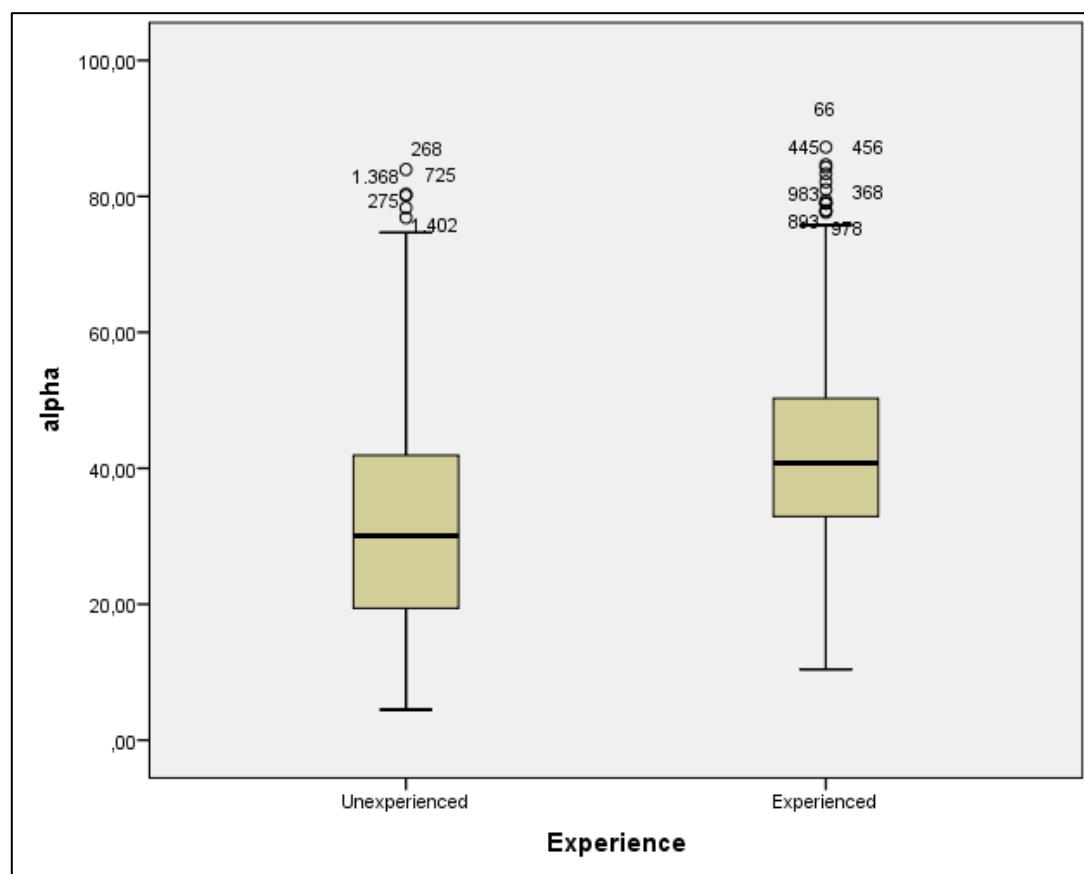


Abbildung 35: Boxplot: α -Winkel in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten

4.2.5 Verteilungsmuster der ausgewählten Blutspritzer

Bei Betrachtung der einzelnen Versuche zeigt sich ein unterschiedliches Verteilungsmuster der durch die Experten und Nichtexperten ausgewählten Blutspritzer in Bezug auf Wand F und R.

Im Einzelnen skizziert sich folgendes Bild (**Tabelle 13**):

Bei Versuch A (1 Impact; Impact 5 cm näher zu Wand R wie zu Wand F) wählen Analyst U2a, U1a und U1b nahezu gleich viele Blutspritzer an Wand R und F aus (Unterschied ≤ 3). Analyst U2b wählt mehr Blutspritzer an Wand R (Unterschied > 3) aus.

Bei Versuch B (1 Impact; Impact 20 cm näher zu Wand R wie zu Wand F) wählen Analyst U2a, U2b und U1a mehr Blutspritzer an Wand F aus. Analyst U1b wählt eine nahezu gleiche Anzahl an Blutspritzern an beiden Wänden aus.

Bei Versuch C (1 Impact; Impact gleich weit weg von Wand F und Wand R) wählen Analyst U2b, U1a und U1b mehr Blutspritzer an Wand R aus, wohingegen Analyst U2a mehr Blutspritzer an Wand F auswählt.

Bei Versuch D (1 Impact; Impact 80 cm näher zu Wand R wie zu Wand F) wählen alle Untersucher deutlich mehr Blutspritzer an Wand R wie an Wand F aus.

Bei Versuch E (1 Impact; Impact 9 cm näher zu Wand R wie zu Wand F) wählen alle Untersucher mehr Blutspritzer an Wand R aus.

Bei Versuch F (1 Impact; Impact 5,5 cm näher zu Wand R wie zu Wand F) wählen Analyst U2a, U2b und U1b eine nahezu gleiche Anzahl an Blutspritzern an Wand R und Wand F aus, wohingegen Analyst U1a mehr Blutspritzer an Wand F auswählt.

Bei Versuch G (2 Impacts; 1. Impact 40 cm näher zu Wand R, 2. Impact 10 cm näher zu Wand R) wählen Analyst U2a, U2b und U1b mehr Blutspritzer an Wand R aus, wohingegen Analyst U1a nahezu gleich viele an beiden Wänden auswählt.

Bei Versuch H (2 Impacts; 1. Impact 50 cm näher zu Wand R, 2. Impact gleich weit weg von beiden Wänden) wählen Analyst U2a, U2b und U1b gleich viele Blutspritzer an Wand F und Wand R aus, wohingegen Analyst U1a mehr an Wand F auswählt.

Bei Versuch I (2 Impacts; 1. und 2. Impact je 120 cm näher zu Wand F) wählen alle Untersucher mehr Blutspritzer an Wand F aus, Analyst U1b wählt ausschließlich Blutspritzer an Wand F aus.

Bei Versuch J (2 Impacts; 1. und 2. Impact je 31 cm näher zu Wand R) wählen Analyst U2a und U1b eine nahezu gleiche Anzahl an Blutspritzern an Wand R und F aus, wohingegen Analyst U2b und U1a mehr Blutspritzer an Wand R auswählen.

Bei Versuch K (2 Impacts; 1. und 2. Impact je 69 cm näher zu Wand R) wählen alle Untersucher mehr Blutspritzer an Wand R aus.

Bei Versuch L (3 Impacts; 1., 2. und 3. Impact je 30 cm näher zu Wand F) wählen Analyst U2a, U2b und U1a mehr Blutspritzer an Wand F aus, nur Analyst U1b wählt eine gleiche Anzahl an Blutspritzern an beiden Wänden aus.

Bei Versuch M (3 Impacts; 1. Impact 35 cm näher zu Wand R, 2. Impact 20 cm näher zu Wand R, 3. Impact 5 cm näher zu Wand R) wählt Analyst U2b mehr Blutspritzer an Wand R aus, alle anderen Analysten wählen eine nahezu gleiche Anzahl an Blutspritzern an beiden Wänden aus.

Bei Versuch N (3 Impacts; 1., 2. und 3. Impact je 25 cm näher zu Wand F) wählt Analyst U2a als einziger mehr Blutspritzer an Wand F aus, alle anderen wählen eine nahezu gleiche Anzahl an Blutspritzern an beiden Wänden aus.

Bei Versuch O (3 Impacts; 1. Impact 74 cm näher zu Wand F, 2. Impact 32 cm näher zu Wand F, 3. Impact 6,5 cm näher zu Wand F) wählen Analyst U2a, U1a und U1b mehr Blutspritzer an Wand F und Analyst U2b mehr an Wand R aus.

Bei Betrachtung aller Versuche zeigt sich, dass die Experten insgesamt zwölfmal eine nahezu gleiche Anzahl an Blutspritzern an beiden Wänden auswählen, die Nichtexperten dagegen achtmal. Eine Untersuchung auf Signifikanz (Signifikanztests siehe 4.2.6.1) wurde hier nicht durchgeführt.

Test No	Analyst U2a F	Analyst U2a R	Analyst U2b F	Analyst U2b R	Analyst U1a F	Analyst U1a R	Analyst U1b F	Analyst U1b R
A	18	18	10	17	6	8	6	6
B	18	11	9	4	12	5	6	5
C	21	16	6	14	11	23	6	11
D	14	30	4	25	9	22	2	8
E	14	20	4	16	11	18	3	8
F	25	24	11	10	19	13	7	8
G	14	26	13	18	8	8	7	13
H	19	21	15	12	18	13	7	7
I	26	7	16	6	27	3	19	0
J	12	15	4	17	12	18	7	10
K	15	22	8	18	6	18	4	13
L	25	13	19	14	18	10	10	10
M	20	21	8	25	9	12	8	9
N	21	14	13	13	13	11	11	9
O	29	19	9	18	26	15	20	11
Total	291	277	149	227	205	197	123	128

Tabelle 13: Gesamtzahl der Blutspritzer (vor Exklusion) bezogen auf Analyst und Wand F bzw. R

4.2.6 Überprüfung der Hypothesen

4.2.6.1 Signifikanztests

Nach Auswertung mittels Mann-Whitney-U-Test für ordinale Messwerte stellt sich ein **signifikanter** Unterschied bezüglich der Anzahl der ausgewählten Blutspritzer zwischen Gruppe U1 (Experten) und U2 (Nichtexperten) dar ($p < 0,0001$). **Hypothese 3**, wonach unerfahrene Blutspurenanalysten im Vergleich durchschnittlich mehr Blutspritzer für eine nachfolgende Softwareanalyse auswählen, als erfahrene Blutspurenanalysten, kann somit in Bezug auf die Gesamtgruppe bestätigt werden.

Auch bezüglich der ausgeschlossenen Blutspritzer stellt sich nach Anwendung des Chi-Quadrat-Tests für nominale Messwerte ein **signifikanter** Unterschied zwischen Gruppe U1 und Gruppe U2 dar ($p < 0,0001$).

Bei Betrachtung der Anzahl der abfallenden Blutspritzer bildet sich nach Anwendung des Chi-Quadrat-Tests ebenfalls ein **signifikanter** Unterschied zwischen den erfahrenen und unerfahrenen Analysten ab ($p < 0,0001$).

Für die Breite, die Länge und den Auftreffwinkel α der Blutspritzer erfolgt die statistische Analyse mit dem Mann-Whitney-U-Test, da bei keinem der drei Punkte eine Normalverteilung vorliegt. Es stellt sich ein **signifikanter** Unterschied zwischen den erfahrenen und den unerfahrenen Analysten dar ($p_{\text{Breite}} < 0,0001$; $p_{\text{Länge}} < 0,0001$; $p_{\alpha} < 0,0001$).

Bei Vergleich der Differenzen der errechneten Koordinaten der Versuche A, B, C, D, E, F, J, K, L und N zu den realen Koordinaten der Versuche ergibt sich folgendes Ergebnis:

Bei der x-Koordinate besteht bei den unerfahrenen Analysten im Mittel eine Abweichung von 1,64 cm (95%-Konfidenzintervall: -1,10 bis 4,38)²⁵, bei den erfahrenen von -1,68 cm (95%-Konfidenzintervall: -2,77 bis -0,59). Das Ergebnis ist im Mann-Whitney-U-Test **signifikant** ($p_x = 0,004$).

Bei der y-Koordinate zeigt sich bei den Nichtexperten im Mittel eine Abweichung von 0,41 cm (95%-Konfidenzintervall: -1,66 bis 2,48), bei den Experten von -0,13 cm (95%-Konfidenzintervall: -1,27 bis 1,01). Das Ergebnis ist im Mann-Whitney-U-Test **nicht signifikant** ($p_y = 0,461$).

²⁵ Das Vorzeichen „-“ (Minus) bedeutet bei der x- und y-Koordinate eine Abweichung nach links. Ohne „-“ gibt die Zahl eine Abweichung nach rechts an.

Bei der z-Koordinate zeichnet sich bei den nicht versierten Analysten im Mittel eine Abweichung von -89,08 cm ab (95%-Konfidenzintervall: -160,58 bis -17,58)²⁶, bei den versierten von -13,12 cm (95%-Konfidenzintervall: -19,80 bis -6,44). Das Ergebnis ist im Mann-Whitney-U-Test **signifikant** ($p_z < 0,0001$).

Vergleiche hierzu die **Tabellen 14 bis 16**.

	Experience		Statistik	Standardfehler
Diff_AoO_x in cm	Unexperienced	Mittelwert	1,64	1,31023
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	-1,1023
			Obergrenze	4,3823
		Median	1,35	
		Varianz	34,334	
		Standardabweichung	5,8595	
		Minimum	-12	
		Maximum	16,2	
		Spannweite	28,2	
		Interquartilbereich	5,08	
	Experienced	Mittelwert	-1,68	0,52091
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	-2,7703
			Obergrenze	-0,5897
		Median	-1,9	
		Varianz	5,427	
		Standardabweichung	2,3296	
		Minimum	-8	
		Maximum	2,1	
		Spannweite	10,1	
		Interquartilbereich	3,25	

Tabelle 14: Deskriptive Statistik über die Abweichung der realen x-Koordinaten von den errechneten x-Koordinaten

²⁶ Das Vorzeichen „–“ (Minus) bedeutet bei der z-Koordinate eine Abweichung nach oben. Ohne „–“ gibt die Zahl eine Abweichung nach unten an.

	Experience			Statistik	Standardfehler
Diff_AoO_y in cm	Unexperienced	Mittelwert		0,41	0,98718
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	-1,6562	
			Obergrenze	2,4762	
		Median		0,7	
		Varianz		19,49	
		Standardabweichung		4,4148	
		Minimum		-9,6	
		Maximum		9,3	
		Spannweite		18,9	
		Interquartilbereich		5,05	
	Experienced	Mittelwert		-0,13	0,54672
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	-1,2743	
			Obergrenze	1,0143	
		Median		0,4	
		Varianz		5,978	
		Standardabweichung		2,445	
		Minimum		-4,7	
		Maximum		3,9	
		Spannweite		8,6	
		Interquartilbereich		4,38	

Tabelle 15: Deskriptive Statistik über die Abweichung der realen y-Koordinaten von den errechneten y-Koordinaten

	Experience			Statistik	Standardfehler
Diff_AoO_z in cm	Unexperienced	Mittelwert		-89,075	34,16133
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	-160,58	
			Obergrenze	-17,575	
		Median		-55,05	
		Varianz		23340	
		Standardabweichung		152,77	
		Minimum		-726,1	
		Maximum		-12	
		Spannweite		714,1	
		Interquartilbereich		49,1	
	Experienced	Mittelwert		-13,12	3,18954
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	-19,796	
			Obergrenze	-6,4442	
		Median		-12,05	
		Varianz		203,46	
		Standardabweichung		14,264	
		Minimum		-51	
		Maximum		8,7	
		Spannweite		59,7	
		Interquartilbereich		23,85	

Tabelle 16: Deskriptive Statistik über die Abweichung der realen z-Koordinaten von den errechneten z-Koordinaten

Bezüglich der errechneten „Areas of Origin“ im Vergleich zu den realen „Areas of Origin“ kristallisiert sich folgendes Ergebnis heraus:

Im Mittel differieren die errechneten „Areas of Origin“ bei den Nichtexperten um 89,74 cm (95%-Konfidenzintervall: 18,34 bis 161,13) und bei den Experten um 15,72 cm (95%-Konfidenzintervall: 10,21 bis 21,24) von den realen „Areas of Origin“ (**Tabelle 17**).

Es zeigt sich mittels Mann-Whitney-U-Test ein **signifikanter** Unterschied mit $p_{\text{DistanceRealEstimated}} < 0,0001$.

Hypothese 1, wonach die berechnete „Area of Origin“ mit vertretbarer Abweichung mit der „Area of Origin“ der Realität übereinstimmt, kann somit nur für die Experten (Gruppe U1) bestätigt werden. **Hypothese 2**, wonach ein signifikanter Unterschied in der Abweichung der berechneten „Area of Origin“ von der realen „Area of Origin“ in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten besteht, wird bestätigt.

	Experience			Statistik	Standardfehler
Distance_Real_Estimated in cm	Unexperienced	Mittelwert		89,735	34,11213
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	18,3375	
			Obergrenze	161,133	
		Median		55,46	
		Varianz		23272,7	
		Standardabweichung		152,554	
		Minimum		12,96	
		Maximum		726,12	
		Spannweite		713,16	
		Interquartilbereich		48,05	
	Experienced	Mittelwert		15,7225	2,63447
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	10,2085	
			Obergrenze	21,2365	
		Median		13,19	
		Varianz		138,809	
		Standardabweichung		11,7817	
		Minimum		1,66	
		Maximum		51,11	
		Spannweite		49,45	
		Interquartilbereich		18,44	

Tabelle 17: Abweichung des realen Ursprungsortes vom errechneten Ursprungsort

Bei einer Vergleichsanalyse in Bezug auf die Anzahl der ausgewählten Blutspritzer skizziert sich im Mann-Whitney-U-Test folgendes Resultat: Bei Vergleich der x-Koordinaten, der z-Koordinaten und der errechneten „Areas of Origin“ mit den realen „Areas of Origin“ besteht weiterhin ein **signifikanter** Unterschied ($p_{\text{DiffAoOx}} = 0,001$; $p_{\text{DiffAoOz}} < 0,0001$; $p_{\text{DistanceRealEstimated}} < 0,0001$) zwischen erfahrenen und unerfahrenen Analysten, auch wenn die versierten Analysten < 25 Blutspritzer wählen und die nicht versierten > 25 Blutspritzer.

Bei der y-Koordinate bleibt es bei einem **nicht signifikanten** Unterschied ($p_{\text{DiffAoOy}} = 0,201$).

Hypothese 4, wonach die Treffsicherheit der Software HemoSpat™ bei erfahrenen Blutspurenanalysten höher ist, auch wenn diese weniger Blutstropfen auswählen als unerfahrene Analysten, kann somit für die x- und z-Koordinate sowie die „Area of Origin“ bestätigt werden, nicht jedoch für die y-Koordinate.

Wird selbiger Vergleich zwischen den beiden erfahrenen Analysten durchgeführt, zeigt sich im T-Test weder für die Abweichung der x-, y-, und z-Koordinaten, noch für die Differenz der „Areas of Origin“ ein signifikanter Unterschied ($p_{DiffAoOx} = 0,252$; $p_{DiffAoOy} = 0,375$; $p_{DiffAoOz} = 0,384$; $p_{DistanceRealEstimated} = 0,327$). **Hypothese 5**, wonach erfahrene Blutspurenanalysten mithilfe von HemoSpat™ durch Auswahl einer größeren Zahl von Blutspuren bessere Ergebnisse erreichen, kann somit nicht bestätigt werden. Es kommt zu keiner weiteren Steigerung der Ergebnisqualität.

Die **Tabellen 18 und 19** geben eine Zusammenfassung der statistischen Auswertung wider:

	N	Mean	Median	Variance	Standard deviation	Minimum	Maximum	95% CI up	95% CI low	Significance
Width Exp	641	3.50	3.20	2.14	1.46	0.30	9.40	3.62	3.39	< 0.0001
Width Unexp	795	3.13	2.50	3.96	1.99	0.40	19.90	3.27	2.99	
Length Exp	641	5.71	5.20	7.41	2.72	0.30	15.20	5.92	5.50	< 0.0001
Length Unexp	795	6.64	5.60	14.91	3.86	1.00	31.30	6.91	6.37	
Alpha Exp	641	42.77	40.75	195.21	13.97	10.41	87.24	43.85	41.69	< 0.0001
Alpha Unexp	795	32.03	30.06	242.49	15.57	4.50	83.95	33.12	30.95	
ArrowNo Exp	30	21.83	20.00	67.25	8.20	10.00	41.00	24.90	18.77	< 0.0001
ArrowNo Unexp	30	31.60	32.00	75.01	8.66	13.00	49.00	34.83	28.37	
Diff_AoO_x Exp	20	-1.68	-1.90	5.43	2.33	-8.00	2.10	-0.59	-2.77	0.004
Diff_AoO_x Unexp	20	1.64	1.35	34.33	5.86	-12.00	16.20	4.38	-1.10	
Diff_AoO_y Exp	20	-1.30	0.40	5.98	2.45	-4.70	3.90	1.01	-1.27	0.461
Diff_AoO_y Unexp	20	0.41	0.70	19.49	4.42	-9.60	9.30	2.48	-1.66	
Diff_AoO_z Exp	20	-13.12	-12.05	203.46	14.26	-51.00	8.7	-6.44	-19.79	< 0.0001
Diff_AoO_z Unexp	20	-89.08	-55.05	23339.93	152.77	-726.10	-12.00	-17.58	-160.58	
Distance_Real_Estimated_Exp	20	15.72	13.19	138.81	11.78	1.66	51.11	21.24	10.21	< 0.0001
Distance_Real_Estimated_Unexp	20	89.74	55.46	23272.75	152.55	12.96	726.12	161.13	18.34	

Tabelle 18: Statistische Auswertung: unerfahrene vs. erfahrene Analysten

	N	Mean	Median	Variance	Standard deviation	Minimum	Maximum	95% CI up	95% CI low
Width Observer 1	521	2.53	2.10	3.05	1.75	0.40	19.90	2.68	2.38
Width Observer 2	274	4.28	4.00	3.70	1.92	1.20	10.40	4.51	4.05
Width Observer 3	391	2.96	2.70	1.45	1.20	0.30	9.40	3.08	2.84
Width Observer 4	250	4.35	4.2	2.06	1.43	0.90	9.20	4.53	4.17
Length Observer 1	521	5.43	4.60	10.67	3.27	1.00	31.30	5.71	5.15
Length Observer 2	274	8.93	8.15	15.01	3.88	1.70	24.50	9.39	8.47
Length Observer 3	391	4.64	4.20	5.60	2.37	0.30	13.90	4.88	4.41
Length Observer 4	250	7.38	7.15	5.67	2.38	1.30	15.20	7.68	7.09
Alpha Observer 1	521	31.71	29.13	255.125	15.97	5.27	83.95	33.09	30.34
Alpha Observer 2	274	32.64	31.65	218.73	14.79	4.50	78.32	34.40	30.89
Alpha Observer 3	391	46.24	45.57	245.81	15.68	10.41	87.24	47.80	44.68
Alpha Observer 4	250	37.34	37.98	68.23	8.26	15.63	57.06	38.37	36.31
ArrowNo Observer 1	15	38.07	37.00	34.50	5.87	29.00	49.00	41.32	34.81
ArrowNo Observer 2	15	25.13	26.00	31.27	5.59	13.00	33.00	28.23	22.04
ArrowNo Observer 3	15	26.93	29.00	56.07	7.49	14.00	41.00	31.08	22.79
ArrowNo Observer 4	15	16.73	17.00	27.50	5.24	10.00	31.00	19.64	13.83
Diff_AoO_x Observer 1	10	1.02	0.55	17.63	4.20	-7.40	9.00	4.024	-1.98
Diff_AoO_x Observer 2	10	2.26	1.75	54.00	7.35	-12.00	16.20	-3.00	7.52
Diff_AoO_x Observer 3	10	-1.07	-1.95	4.66	2.16	-3.30	2.10	0.47	-2.61
Diff_AoO_x Observer 4	10	-2.29	-1.80	5.97	2.44	-8.00	0.40	-0.54	-4.04
Diff_AoO_y Observer 1	10	2.69	2.60	9.32	3.05	-0.70	9.30	4.87	0.51
Diff_AoO_y Observer 2	10	-1.87	-0.80	20.27	4.50	-9.60	4.70	1.35	-5.09
Diff_AoO_y Observer 3	10	0.37	1.40	7.45	2.73	-3.10	3.90	2.32	-1.58
Diff_AoO_y Observer 4	10	-0.63	0.15	4.62	2.15	-4.70	1.50	0.91	-2.17
Diff_AoO_z Observer 1	10	-142.00	-74.05	42633.18	206.48	-726.10	-49.40	5.71	-289.71
Diff_AoO_z Observer 2	10	-36.15	-29.85	415.43	20.38	-76.50	-12.00	-21.57	-50.73
Diff_AoO_z Observer 3	10	-15.98	-14.40	281.83	16.79	-51.00	5.40	-3.97	-27.99
Diff_AoO_z Observer 4	10	-10.26	-11.00	129.53	11.38	-25.70	8.70	-2.12	-18.40
Distance_Real_Estimated Observer 1	10	142.18	74.16	42612.56	206.43	49.40	726.12	289.85	-5.49
Distance_Real_Estimated Observer 2	10	37.29	31.89	406.39	20.16	12.96	78.20	51.71	22.87
Distance_Real_Estimated Observer 3	10	18.37	14.77	203.92	14.28	4.94	51.11	28.59	8.16
Distance_Real_Estimated Observer 4	10	13.07	12.13	73.50	8.57	1.66	25.72	19.20	6.94

Tabelle 19: Statistische Auswertung der einzelnen Analysten

4.2.6.2 Visuelle Auswertung der „Areas of Origin“

Für Versuch G, H, I, M und O ist eine statistische Auswertung mittels SPSS nicht durchführbar, da mit dem Programm HemoSpat™ keine „Area of Origin“ berechnet werden kann. Aus diesem Grund erfolgt eine rein visuelle Auswertung.

Bei Versuch G (zwei Impacts) stellen sich bei Analyst U2b, U1a und U1b deutlich zwei „Areas of Origin“ dar, bei Analyst U2a ist eine Abgrenzung nicht möglich.

Bei Versuch H (zwei Impacts) zeigen sich lediglich bei Analyst U1a zwei Impacts, bei Analyst U2a und U1b ist ein Impact nachweisbar, bei Analyst U2b keiner.

In Bezug auf Versuch I (zwei Impacts) lassen sich lediglich bei Analyst U1b zwei Impacts erahnen. Bei allen anderen Untersuchern stellt sich ein Impact dar.

Bei Versuch M (drei Impacts) können bei keinem der Analysten drei „Areas of Origin“ voneinander abgegrenzt werden. Es zeigt sich bei allen lediglich eine „Area of Origin“.

Versuch O (drei Impacts) lässt bei Analyst U2a drei Impacts erahnen, bei Analyst U2b sind lediglich zwei sichtbar. Bei Analyst U1a und U1b lassen sich eindeutig drei Impacts abgrenzen.

Hypothese 6, wonach die Anzahl der Impacts durch HemoSpat™ mit einer Zuverlässigkeit von > 90% erkannt wird, kann somit nicht bestätigt werden. Eine nähere Erläuterung findet sich in der Diskussion.

Zur Verdeutlichung sind in den **Abbildungen 36 bis 39** die Bilder von Versuch O wiedergegeben (die Abbildungen 36 und 37 zeigen die Auswertung der Nichtexperten, die Abbildungen 38 und 39 die der Experten).

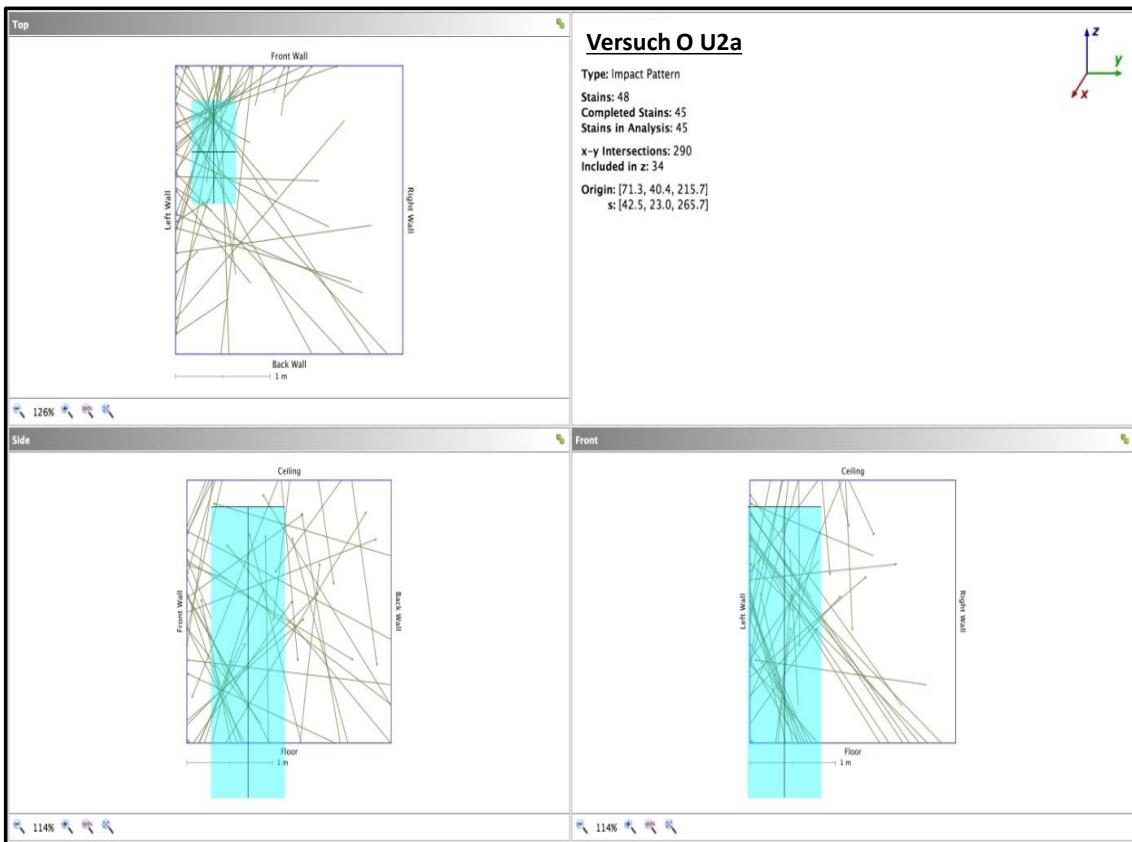


Abbildung 36: Versuch O U2a (Nichtexperte)

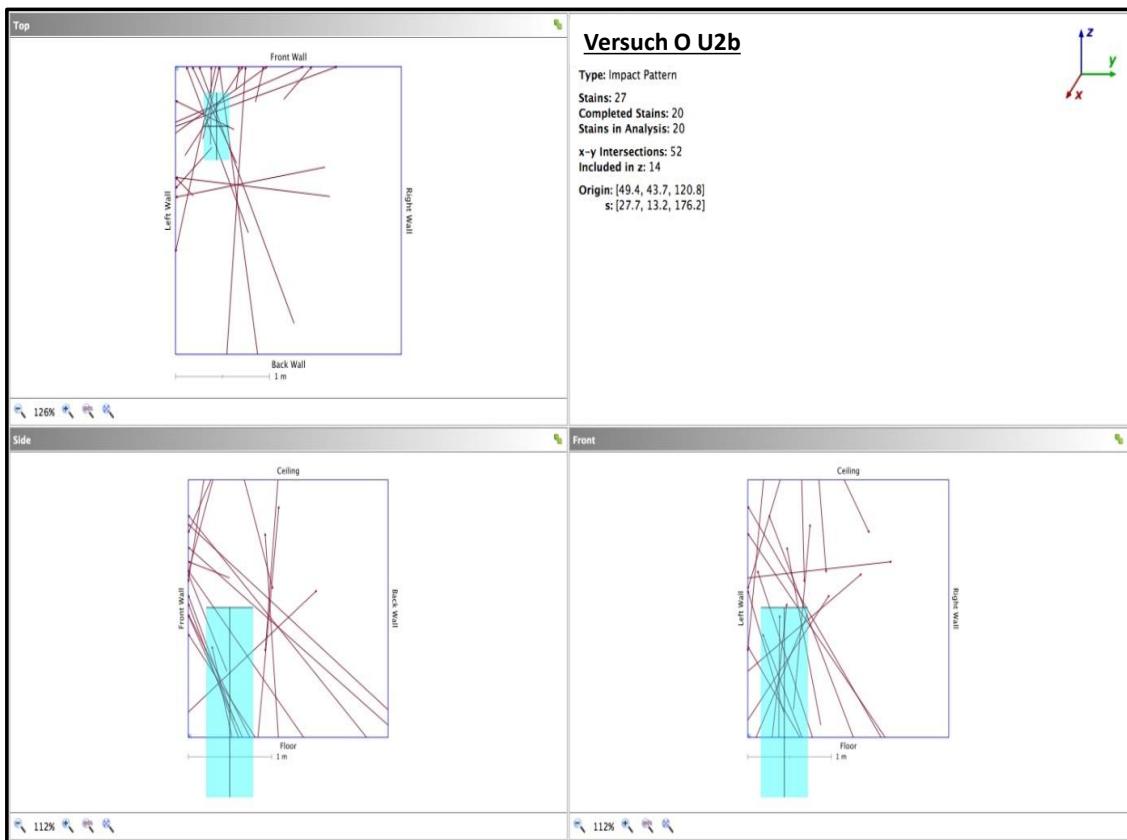


Abbildung 37: Versuch O U2b (Nichtexperte)

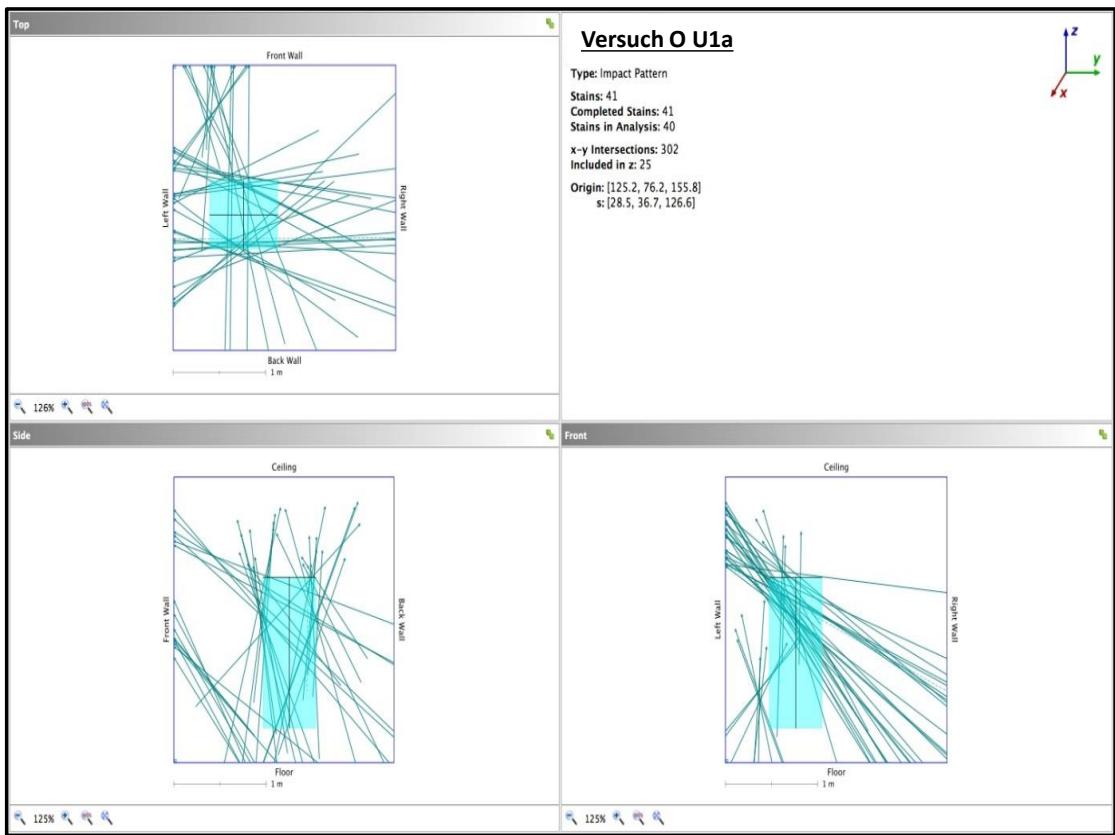


Abbildung 38: Versuch O U1a (Experte)

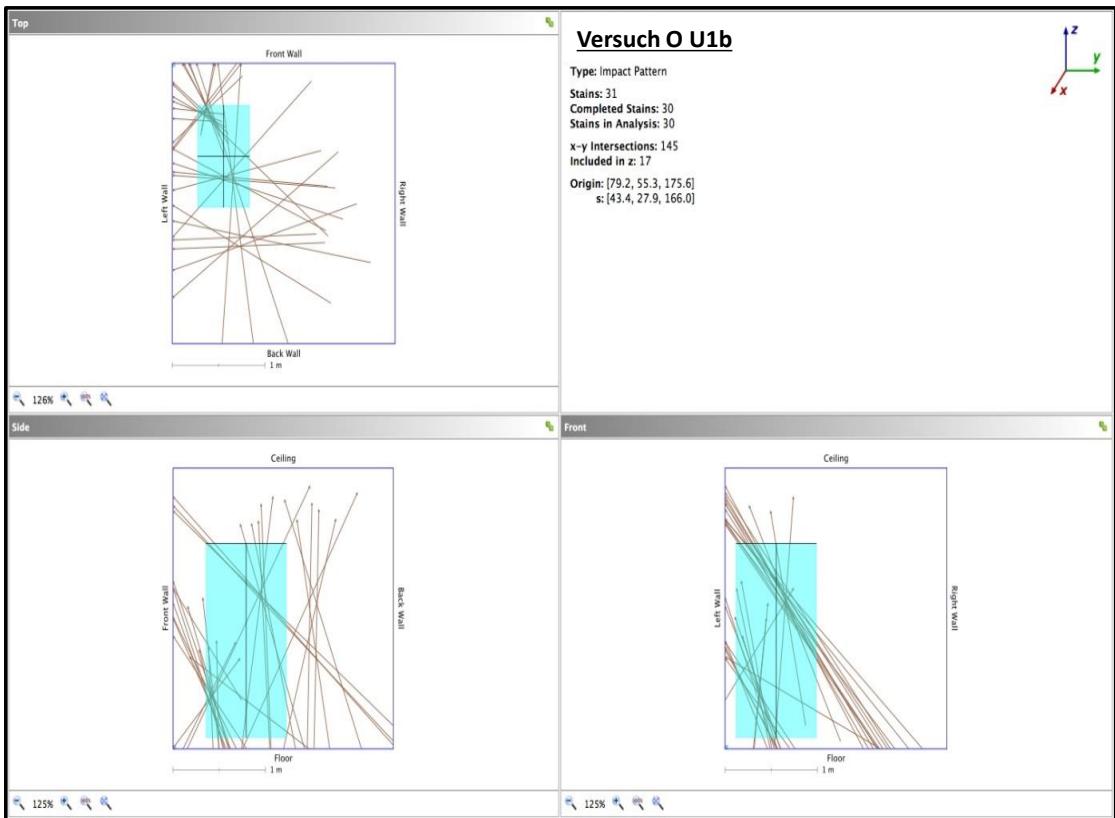


Abbildung 39: Versuch O U1b (Experte)

5. Diskussion

Thema der vorliegenden Dissertation ist die Validität und Objektivität von digitalen, softwaregestützten Blutspurenanalysen unter Verwendung der speziell hierfür entwickelten Software HemoSpat™. Die Studie ist als Laborstudie angelegt, d. h. alle Experimente werden in einem eigens für die Forschungszwecke erbauten abgeschlossenen Versuchsraum unter standardisierten Bedingungen (konstante Raumtemperatur und Beleuchtung, kein Luftzug) und mit vordefinierten Wänden und Oberflächen durchgeführt. Durch dieses methodische Vorgehen werden eine bestmögliche Reproduzierbarkeit der Experimente ermöglicht und materialbedingte Artefakte bei der Blutspurenentstehung vermieden.

Untersucht werden in der vorgelegten Studie definiert erzeugte beschleunigte Blutspurenbilder mit unterschiedlichen Entstehungsorten. Da in der forensischen Fallarbeit die Eingrenzung dieser Entstehungslokalisierungen oft bedeutsam ist und primär unter rekonstruktiven Gesichtspunkten erfolgt (z. B. Schläge auf ein stehendes oder liegendes Opfer?), wird als Kernfrage dieser Arbeit geprüft, ob mit Hilfe von HemoSpat™ dieses Ursprungsareal („Point of Origin“ oder „Area of Origin“) entstandener Blutspurenmuster zuverlässig genau (in der Literatur wird hierbei von einem Gebiet reichend von ca. 6,5 cm bis maximal ca. 30,5 cm Durchmesser berichtet (vgl. 2.2.3) [1, 8, 27, 28]) und untersucherunabhängig kalkuliert werden kann. Darüber hinaus wird bei fünf Versuchen durch unterschiedliche Ursprungsorte der Impacts getestet, ob eine Dynamik in sich räumlich verlagernden Handlungsszenen (= Ursprungsorten) mit HemoSpat™ erkennbar ist (z. B. bei einem weglaufenden Opfer).

Im Zentrum der Objektivitätsanalysen steht hierbei mitunter die Frage, ob Unterschiede bei den Ergebnissen unter Verwendung von HemoSpat™ zwischen erfahrenen und unerfahrenen Analysten bestehen. Dabei werden insbesondere die Genauigkeit der Resultate in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten (Experte vs. Nichtexperte) und der ausgewählten Anzahl an Blutspritzen getestet.

5.1 Einflussfaktor Material-/Oberflächenbeschaffenheit der mit Blutspuren bespritzten Objekte

Für die Versuchszwecke werden gezielt abwaschbare, mit weißem Glattlack bestrichene Möbelbauplatten verwendet. Diese haben sich bei den vorab durchgeführten Materialtests als am geeignetsten erwiesen, da sich hier, im Gegensatz zu einer rauen Oberfläche, bei orthogradem Auftreffen von Blutspritzern in jedem Fall kreisrunde Blutspritzer abbilden (vgl. 2.2.1 und 3.1). Dies führt in den Experimenten zu einer besseren Darstellbarkeit der Blutspritzer und vereinfacht die Ellipsenanlegung. Die zuvor dargestellten Ergebnisse sind somit jedoch nicht zwangsläufig auf Oberflächen mit anderen Eigenschaften übertragbar.

5.2 Exkludierte Blutspritzer

Die versierten Analysten suchen im Vergleich zu den nicht versierten Analysten meist gut abgrenzbare, eindeutig singuläre, d. h. nicht überlagerte oder durch Oberflächenunebenheiten deformierte Blutspritzer aus, womit einerseits die Richtung besser erkennbar und andererseits das Anlegen einer Ellipse bei HemoSpat™ einfacher und das Procedere folglich weniger fehleranfällig ist. Gleichzeitig kommt es hierdurch zu einer geringeren Anzahl exkludierter Blutspritzer bei den Experten.

Gruppe U2 (unerfahren) wählt überdurchschnittlich häufig unscharf begrenzte Blutspritzer aus, wodurch sich eine hohe Ausschlussquote an Blutspritzern begründet. Zudem selektiert Analyst U2b (unerfahren) viele längliche herablaufende Blutspritzer, bei denen der ursprüngliche Blutspritzer nicht eindeutig abgrenzbar und das Anlegen einer Ellipse somit unmöglich ist. Insgesamt werden bei den Nichtexperten 15,8% aller Blutspritzer ausgeschlossen. Es stellt sich somit die Frage, ob das Ergebnis der Nichtexperten in Bezug auf die „Area of Origin“ bei einer niedrigeren Exklusionsrate vielleicht exakter ausgefallen wäre.

5.3 Fallende Blutspritzer: „downward moving stains“

Unerfahrene Analysten (v.a. Analyst U2a) wählen, wie bereits in 4.2.3 dargelegt, häufiger nach unten gerichtete Blutspuren aus (31mal mehr als die Experten). Diese lassen jedoch - dem Nichtexperten offenkundig weniger bzw. gar nicht bewusst - oft keine eindeutige

Ursprungsanalyse zu. Nach unten ausgerichtete, an vertikalen Kollisionsflächen hinterlassene Spurenmuster können auf zweierlei Weise entstehen: Sie können einerseits eine mehr oder weniger lineare Flugbahn von oben nach unten nachzeichnen, andererseits aber auch eine Sinkflugphase einer primär bogenförmigen Flugbahn abbilden. [1, 3, 4, 5, 6] Wie in **Abbildung 40** dargestellt leiten sich bei diesen beiden Alternativen aus derselben Ausrichtung des Spritzers deutlich unterschiedliche Entstehungsorte ab.

Bei aufsteigenden Spurenmustern ist hingegen eine weitgehend eindeutige Rekonstruktion der Flugbahnen der spurenverursachenden Blutspritzer möglich [6]. Sich der runden Form annähernde Blutspritzer, die sich wie in 4.1. erläutert, näher zur „Area of Origin“ befinden und aufwärts gerichtet sind, zeigen an, dass sie sich zur Zeit der Kollision mit der vertikalen Wandfläche noch nicht im Sinkflug befunden haben, sodass eine lineare Approximation den tatsächlichen Bewegungsweg des einzelnen Tropfens zutreffend widerspiegelt. In dieser Flugphase besitzen fliegende Tropfen noch eine größere kinetische Energie mit entsprechend hoher Bewegungsgeschwindigkeit, die den Bewegungsvektor dominiert, während später im weiteren Verlauf zunehmend Luftwiderstand und Schwerkraft das Absinken der Tropfen einleiten. [15]

Die Ergebnisse auch dieser Studie zeigen, dass „Area of Origin“-Schätzungen anhand „aufsteigender“ Blutspuren den realen Ursprungsort v. a. in Bezug auf die z-Koordinaten exakter wiedergeben wie „absteigende“ Blutspuren.

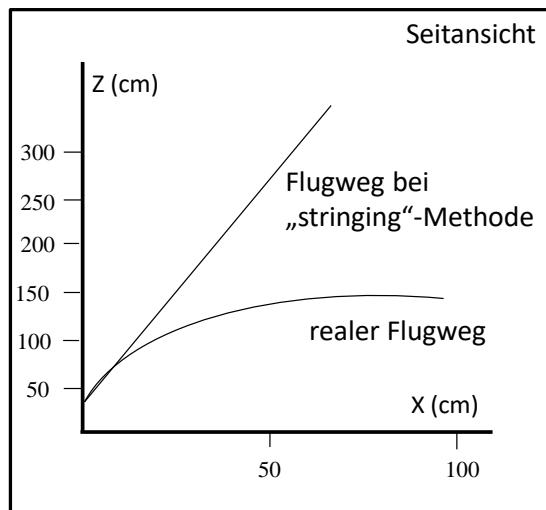


Abbildung 40: Unterschied zwischen realer und errechneter Flugbahn²⁷

²⁷ In Anlehnung an Bevel T, Gardner R M (2008) Bloodstain Pattern Analysis, With an Introduction to Crime Scene Reconstruction. 3rd ed CRC Press Taylor & Francis Group, Florida, S. 195.

5.4 Einflussfaktor Länge, Breite, α -Winkel

Die Nichtexperten nutzen überhäufig sehr lange und zugleich sehr schmale, folglich stark ovalär ausgezogene bzw. elliptische Blutspuren. Hier ist die Messungenauigkeit mit Auswirkungen auf α größer, weshalb diese schmal ausgezogenen ausrufezeichenartigen Spuren von Experten eher vermieden werden (siehe weiter unten im Text).

Die Experten selektieren im Vergleich neben weniger oval geformten Spurenausprägungen auch runde Spuren, achten hierbei jedoch darauf, dass diese im Durchschnitt nicht zu klein, sondern ausreichend groß und scharf begrenzt sind. Des Weiteren berücksichtigen sie, dass der α -Winkel groß genug ist und keine oberflächlichen Artefakte vorliegen, die die Ellipsenanlegung behindern (Ausnahme: exkludierte Blutspritzer).

Bei den erfahrenen Analysten sind zwar primär zu klein gewählte Blutspritzer und ein zu hoher α -Winkel mit kreisrunden Blutspritzern Hauptursache für die bei Ihnen von der Analyse ausgeschlossenen Blutspritzer. Insgesamt wählen Experten jedoch eher kleinere bis mittelgroße, als sehr kleine oder auch sehr große Blutspritzer aus (vgl. 4.2.4), was auch die insgesamt sehr niedrige Exklusionsrate erklärt. Diese wäre bei durchschnittlich zu klein gewählten Blutspritzern und durchschnittlich zu hohem α -Winkel höher.

Die Problematik bei sehr kleinen Blutspritzern ist die erhöhte Ungenauigkeit bis zur Unmöglichkeit einer Ellipsenanlegung. Das in Relation zur Größe der Spur stehende Fehlerrisiko beim Ausmessen von Breite und Länge und somit auch die Fehlerquote von α kann sich auf die Kalkulationen deutlich auswirken. Wissenschaftliche Studien empfehlen daher mitunter eine Mindestbreite der selektierten Blutspritzer von über 1,5 mm. [9]

Je höher der α -Winkel ist, d. h. umso runder der Blutspritzer ist, desto weniger eindeutig ist die primäre Flugrichtung bestimmbar. Systematischen Untersuchungen zufolge ist es empfehlenswert, einen α -Winkel < 50 beziehungsweise < 60 Grad auszuwählen, da bei höheren Winkelgraden die Ungenauigkeit der „stringing method“ ansteigt. [1, 9, 31]

Die durchschnittliche Breite der selektierten Spritzer bei den Experten liegt über den oben erwähnten 1,5 mm und der α -Winkel unter den oben genannten 50 Grad (und somit auch unter den oben genannten 60 Grad). Dies spiegelt eine auch nach Studienlage nachvollziehbare und keineswegs zu restriktive Vorgehensweise wider.

Bezugnehmend auf Größe und α -Winkel der Blutspur suchen die Experten die Blutspritzer offensichtlich unter anderem nach einer vorläufigen Einschätzung der mutmaßlichen Nähe zur

„Area of Origin“ aus, indem das gesamte Blutspurenbild vorab als einheitliches Muster mit visuellen Ballungsräumen der Blutspritzer an den Wänden betrachtet wird. Diese visuellen Ballungsräume reflektieren eine Entstehungsweise eher als weit entfernte Einzelspuren. Eine jüngst veröffentlichte Vorstudie (vgl. 3.3.1 und 4.1 [16]), die beiden Experten bekannt ist, belegt, dass ein einzelner Hammerschlag in eine Blutquelle bei wiederholten gleichartigen Schlag-Spritz-Versuchen hochähnliche typische Blutspurenmuster verursacht, die durch zwei voneinander abgrenzbare Blutspurenmusterzentren in unterschiedlicher Höhe an den Wänden gekennzeichnet sind. Befindet sich das Tatgeschehen näher an der auszuwertenden Wand, so weist das tiefer liegende, der Ausprägung nach intensivere Muster durchschnittlich kleinere und rundlichere Blutspritzer knapp oberhalb des Impacts auf (die die Experten häufiger ausgewählt haben, als die Nichtexperten), während das zweite, an der Wand regelhaft höher gelegene und insgesamt weniger dichte Muster größere und verstärkt oval geformte Blutspritzer aufweist. [16]

Die größeren Blutstropfen entfernen sich im Allgemeinen weiter vom Ursprung weg, als die kleineren und unterliegen somit eher zusätzlichen fluglängenabhängigen ballistischen Einflussfaktoren als kurzstreckige Spritzer [15]. Größere Blutspritzer an vertikalen Wänden deuten somit auf eine größere Distanz zur Blutquelle hin (siehe auch 2.2.3) [15]. Da sich bei größerer Distanz komplexere, einer Wurfparabel ähnliche Flugbahnen der Blutspritzer ergeben, wird eine lineare trigonometrische Berechnung zunehmend ungenau [1, 8, 15].

Wann immer bei der Auswahl des zu untersuchenden Spritzmusters die Option existiert (z. B. wenn das blutspurenverursachende Geschehen tatsächlich wandnah stattfand), sollten daher kleinere und mittelgroße Blutspuren für die Analyse selektiert werden (vgl. auch 2.2.3) [8].

Noch einmal bezugnehmend auf die Länge der Blutspuren lässt sich aus der Lage der Boxplots das hochsignifikante Ergebnis nach Mann-Whitney-U-Test zunächst nicht erschließen. Eine dichte Gruppe der Ausreißer im Bereich „Länge > 10 mm“, die außerhalb des Interquartilsabstands liegt und durch eine Selektion einzelner übergroßer Spuren von unerfahrenen Analysten verursacht wird, bedingt diesen optischen Effekt. Schließt man Spritzspuren von > 10 mm Länge (= 163 Blutspritzer in den durchgeführten Experimenten) aus (theoretisch begründbar, weil diese bei Schlag-Spritz-Mustern eine Minoritätsgruppe großer verschleuderter Tropfen bilden, die instabile Flugbahnen aufweisen und somit für Berechnungen der „Area of Origin“ eher ungeeignet sind), so verschwimmt dieser Unterschied

auch statistisch ($p = 0,38$). Vergleiche hierzu die **Abbildungen 41 und 42** sowie die **Tabellen 20 und 21**.

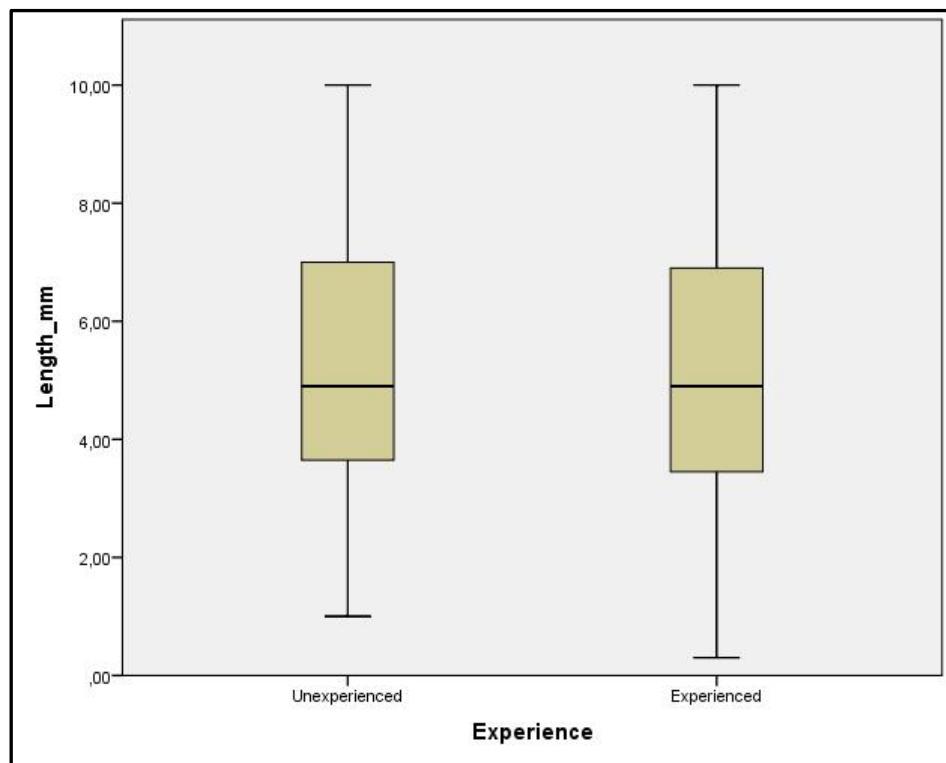


Abbildung 41: Boxplot: Blutspritzerlänge ≤ 10 mm in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten

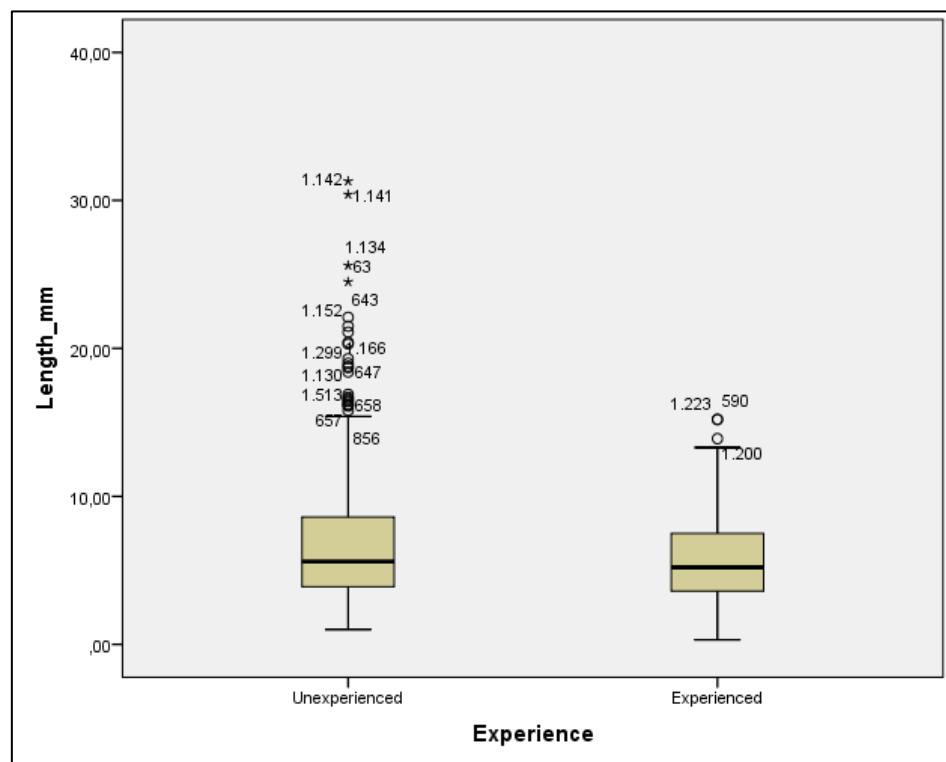


Abbildung 42: Boxplot: Blutspritzerlänge ohne Eingrenzung in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten

	Experience			Statistik	Standardfehler
Length <10mm	Unexperienced	Mittelwert		5,3483	0,08252
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	5,1862	
			Obergrenze	5,5103	
		Median		4,9	
		Varianz		4,542	
		Standardabweichung		2,13114	
		Minimum		1	
		Maximum		10	
		Spannweite		9	
		Interquartilbereich		3,4	
	Experienced	Mittelwert		5,2296	0,09045
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	5,0519	
			Obergrenze	5,4072	
		Median		4,9	
		Varianz		4,843	
		Standardabweichung		2,20063	
		Minimum		0,3	
		Maximum		10	
		Spannweite		9,7	
		Interquartilbereich		3,48	

Tabelle 20: Blutspritzerlänge ≤ 10 mm in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten

	Experience			Statistik	Standardfehler
Length mm	Unexperienced	Mittelwert		6,6384	0,13695
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	6,3695	
			Obergrenze	6,9072	
		Median		5,6	
		Varianz		14,91	
		Standardabweichung		3,8614	
		Minimum		1	
		Maximum		31,3	
		Spannweite		30,3	
		Interquartilbereich		4,7	
	Experienced	Mittelwert		5,7119	0,10749
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	5,5008	
			Obergrenze	5,9229	
		Median		5,2	
		Varianz		7,406	
		Standardabweichung		2,7215	
		Minimum		0,3	
		Maximum		15,2	
		Spannweite		14,9	
		Interquartilbereich		3,9	

Tabelle 21: Blutspritzerlänge ohne Eingrenzung in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Analysten

5.5 Bidirektionale Auswahl der Blutspritzer

Bei Betrachtung aller Experimente zeigt sich, dass die Experten öfter als die Nichtexperten nahezu ähnlich viele Blutspritzer an beiden Wänden auswählen (zwölfmal vs. achtmal). Die Nichtexperten wählen hingegen mehr Blutspritzer unidirektional an einer Wand aus (siehe 4.2.5).

In der Literatur wird beschrieben, dass sich durch eine „ausgewogene“ bidirektionale Auswahl an Blutspritzern geometrisch eine optimale Anzahl von Kreuzungen mit möglichst divergierenden Winkelwerten ergibt. Ein solches Auswahlverfahren führt in der Regel zu einer stabileren „Area of Origin“-Kalkulation. [9, 15]

Hierin könnte ein weiterer Grund für die ungenauere „Area of Origin“-Bestimmung bei den Nichtexperten liegen, da vor allem Analyst U2b sehr unidirektional mehr Blutspritzer an Wand R auswählt. Bei insgesamt „60“ durchgeführten Versuchen (15 pro Untersucher) stellt sich aber die Frage, ob dieser Unterschied signifikant ist (eine Untersuchung diesbezüglich ist nicht erfolgt).

Die Ergebnisse von Experiment I belegen jedoch wiederum, dass selbst bei Beschränkung der Blutspritzerauswahl auf nur eine Wand bei objektiv aber existierenden Spritzern an mehreren Wänden, dennoch die Tatsache eines zweifachen Impacts dann nicht verborgen bleiben muss, solange eine hinreichende Anzahl von Spritzern zur Analyse ausgewählt wird und der Untersucher über genug Erfahrung in der Blutspurenanalyse verfügt.

So stehen zum Beispiel bei Analyst U2b (unerfahren) bei Experiment I nach Exklusion 12 Blutspritzer an Wand F und zwei an Wand R zur Analyse zur Verfügung und bei Analyst U1b (erfahren) 19 Blutspritzer an Wand F und kein einziger an Wand R. Dennoch lassen sich bei Analyst U1b durch die Analyse zwei Impacts erkennen und bei Analyst U2b lediglich ein einzelner Einschlag.

5.6 Einfluss der Blutspritzeranzahl auf die Genauigkeit der Ergebnisse bei erfahrenen Analysten

Mit Bezug auf **Hypothese 5** ist bei versierten Analysten kein signifikanter Unterschied zwischen realer und berechneter „Area of Origin“ in Abhängigkeit von der Anzahl der in die Analyse einbezogenen Blutspritzer nachweisbar. Dies ist zumindest ein überraschender Befund, weil mit zunehmender Spritzeranzahl das Analyseergebnis stabiler wird und zufällige Ausreißer das Gesamtbild weniger stark beeinflussen.

Das Ergebnis spricht für eine gelungene Präselektion, sodass offenkundig bereits wenige Blutspritzer zu guten Schätzergebnissen führen können (siehe hierzu auch 5.5). Als praktische Empfehlung lässt sich formulieren, dass bei weniger homogenen Blutspurenmustern und bei eher beschränktem Erfahrungshintergrund eine größere Auswahl von Spuren zur Verbesserung der Berechnung der „Area of Origin“ beiträgt.

Weiterhin bezugnehmend auf die Blutspritzeranzahl ist bei Experten auch dann ein signifikant besseres Ergebnis der errechneten „Area of Origin“ nachweisbar, wenn diese weniger Blutspritzer auswählen, als Nichtexperten. Dies lässt sich am ehesten durch die unter 5.2 bis 5.6 beschriebenen Punkte erklären.

Bezugnehmend auf **Hypothese 3** zeigt sich in den Experimenten, dass unerfahrene Analysten signifikant mehr Blutspritzer auswählen, als erfahrene. Eine gezielte retrospektive Befragung der Teilnehmer über etwaige Gründe der gewählten Blutspritzeranzahl fand nicht statt.

5.7 „Area of Origin“

Bezugnehmend auf die „Area of Origin“-Messung gilt es zu Beginn der Untersuchung zunächst zu prüfen, ob vergleichbar zu Verfahren mit analogen Messinstrumenten die mit Hilfe der Software erhobenen Messwerte reproduzierbar sind. Hierbei zeigt sich, dass die softwareseitig erhobenen Messdaten vom Messenden (= der Promovierenden) reproduzierbar, d. h. wiederholbar und objektiv gültig sind. Dies bezieht sich insbesondere auf die vom Untersucher abhängige Erfassung der visuell abgrenzbaren Blutspurenkonturen, da hiervon im Wesentlichen die metrischen Bestimmungen der Blutspurenkoordinaten als Basis nachfolgender trigonometrischer Berechnungen des Ursprungsortes abhängen (vgl. 2.2.3). Ferner werden die Ergebnisse der Softwareanalyse stark von der Selektion derjenigen Blutspuren bestimmt, die in die Berechnungen einfließen, eine Entscheidung, die nicht automatisch erfolgt, sondern ausschließlich dem Experten unterliegt.

Im Zentrum der Beurteilung steht die Validität des softwaregestützten Analyseverfahrens als das wichtigste Maß dafür, ob die im Rahmen der HemoSpat™-Analyse durchgeföhrten Berechnungen wie beabsichtigt die tatsächliche „Area of Origin“ für forensische Zwecke hinreichend genau wiedergeben.

Bezugnehmend auf **Hypothese 1 und 2** stellt sich als wichtiges Ergebnis der Untersuchung hierbei ein signifikanter Unterschied zwischen den erfahrenen und nicht erfahrenen Analysten dahingehend dar, dass die errechneten „Areas of Origin“ bei den Experten eine signifikant geringere Differenz zu den realen „Areas of Origin“ aufweisen (Experten: Mittelwert „Distance Real-Estimated“ in cm 15,72; Nichtexperten: Mittelwert „Distance Real-Estimated“ in cm 89,74). Diese Unterschiede in der Zuverlässigkeit der „Area of Origin“-Schätzungen mithilfe einer HemoSpat™-gestützten Analyse in Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Anwenders ist teilweise so ausgeprägt, dass eine Spezifizierung der Opferposition bei einem Tathergang (z. B. Liegen versus Sitzen versus Stehen) unerfahrenen Analysten nicht mehr zuverlässig möglich ist.

Die Abweichungen der z-Koordinaten (Höhenangabe der „Area of Origin“) sind im Hinblick auf die vertikale Differenzierung der Opferposition von großer Bedeutung (Liegen versus Sitzen versus Stehen). Gerade hier stellt sich ein signifikanter Unterschied zwischen Nichtexperten und Experten dar.

Die horizontalen Abweichungen weisen bezüglich der x-Koordinate ebenfalls einen signifikanten Unterschied hin zu einer geringeren Abweichung bei den versierten Analysten auf. Auch bei der y-Koordinate besteht eine geringere Abweichung bei den Experten, die jedoch im Vergleich zu den unerfahrenen Anwendern keinen signifikanten Unterschied aufweist.

Erwartungsgemäß ist die Qualifikation und Routiniertheit der Analysten von großer Bedeutung. Je höher der Erfahrungsgrad des Analysten, desto genauer stimmt die von HemoSpat™ berechnete „Area of Origin“ mit der realen „Area of Origin“ überein. Abhängig hiervon ist es somit möglich, mit HemoSpat™ ausreichend genau die „Area of Origin“ zu bestimmen. Im Umkehrschluss bedeutet dies gleichermaßen, dass die Verwendung dieser speziell entwickelten Analysesoftware keine validen Ergebnisse garantiert, wenn der Anwender nicht hinreichend erfahren ist und unter Berücksichtigung eines fundierten Spezialwissens über die Flugeigenschaften von Blutspritzern bei der Selektion der Spuren vorgeht.

Zusammenfassend sind folgende Faktoren ursächlich für die signifikant besseren Ergebnisse der Experten bezüglich der „Area of Origin“-Messung:

- weniger exkludierte Blutspritzer,
- weniger „downward moving stains“,
- schärfere begrenzte Blutspritzer mit dadurch bedingter besserer Möglichkeit einer Ellipsenanlegung,
- durchschnittliche Breite > 1,5 mm,
- durchschnittlicher α -Winkel < 50 Grad,
- als Marker für eine primäre horizontale Nähe zur realen „Area of Origin“ gezielte, aber nur auf einen Anteil der Spuren begrenzte Auswahl rundlich geformter Blutspritzer,
- zur Stabilisierung eines trigonometrischen Modells gezielte bidirektionale Auswahl an Blutspritzern.

Als zentrale Schlussfolgerung dieser Untersuchung zeigt sich somit die elementare Bedeutung der Blutspritzerselektion für das Ergebnis.

5.8 Performance von HemoSpat™ bei mehreren Impacts

Zuletzt soll in der Diskussion noch auf **Hypothese 6** eingegangen werden, die die Frage aufwirft, ob die Anzahl der durchgeführten Impacts durch die Software HemoSpat™ mit einer Zuverlässigkeit von > 90% ermittelt werden kann.

Bei genauer Betrachtung der Experimente mit mehreren örtlich voneinander abweichenden Impacts (Experiment G, H, I, M und O) kristallisiert sich eine Schwachstelle bei der Verwendung von HemoSpat™ heraus, die sich in vergleichbarer Weise bei Anwendung der „stringing method“ findet. Die diskriminatorische Leistungsfähigkeit ist begrenzt, sodass mit schwindender Distanz zwischen den unterschiedlichen Impacts die Wahrscheinlichkeit, mehrere Impacts auch als solche zu erkennen, deutlich abnimmt. Diese bereits in der Literatur beschriebene Einschränkung [1] bestätigt sich auch in den durchgeführten Experimenten.

Bei Versuch M finden sich beispielsweise drei Impacts mit einem Maximalabstand von 21,21 cm zueinander. Mit HemoSpat™ kann jedoch von keinem der Analysten mehr als eine „Area of Origin“ nachgewiesen werden.

In Versuch I werden die zwei Impacts in einem größeren Abstand als bei Versuch M gesetzt (29,14 cm). Aber auch hier lassen sich lediglich bei Analyst U1b zwei „Areas of Origin“ erahnen, sodass der erforderliche Abstand für eine sichere Abgrenzung zweier Impacts auch mit 29,14 cm noch zu klein ist.

Bei Versuch G hingegen werden die zwei Impacts im Abstand von 40 cm zueinander durchgeführt. Hier können mit HemoSpat™ bei Analyst U2b, U1a und U1b deutlich zwei „Areas of Origin“ dargestellt werden. Bei Analyst U2a ist die Abgrenzung nicht ganz so eindeutig. Das wiederum lässt schlussfolgern, dass sich bei circa 40 cm Entfernung zwischen den einzelnen Impacts die Grenze befindet, ab der eine Differenzierung möglich ist.

Dies bestätigt sich nochmals bei Versuch O. Hier finden die drei Impacts im Abstand von 55,32 cm bis 144,39 cm zueinander statt. Bei Analyst U1a und U1b sind durch die größere Distanz eindeutig drei Impacts differenzierbar. Auch bei Analyst U2a lassen sich drei Impacts erahnen. Lediglich bei Analyst U2b sind nur zwei Impacts sichtbar, was am ehesten auf die Auswahl der Blutspritzer zurückzuführen ist.

In Versuch H (zwei Impacts) zeigen sich, obwohl eine Entfernung von 158,17 cm zwischen den Impacts gewählt wird, lediglich bei Analyst U1a zwei Impacts. Bei Analyst U2a und U1b ist ein Impact nachweisbar, bei Analyst U2b keiner. Bei Analyst U2b ist dieser Versuch allerdings nicht

zu werten, da nach Ausschluss aller nicht verwendbaren Blutspritzer insgesamt lediglich sechs Blutspritzer für die Analyse verbleiben (Einschlusskriterium: ≥ 10 Blutspritzer). Warum sich bei Analyst U1b im Vergleich zu Analyst U1a lediglich eine „Area of Origin“ zeigt, könnte daran liegen, dass Analyst U1a unter anderem 7 Blutspritzer von Platte R5 und mehrere von Platte F3 und F4 auswählt. Diese Blutspritzer decken den zweiten Impact ab. Im Vergleich dazu hat Analyst U1b an Wand R nur Blutspritzer bis Platte R3/R4 eingeschlossen. Somit kann keine optimale Anzahl von Kreuzungen für Impact 2 erreicht werden. Weswegen sich bei Analyst U2a nur ein Impact zeigt ist unklar.

Bei der allgemeinen Betrachtung der visuellen Auswertung von Experiment G, H, I, M und O muss bedacht werden, dass der Promovierenden, die die Analyse mit HemoSpat™ durchführt, bekannt ist, an welchem Ort im Raum sich die realen „Areas of Origin“ befinden. Es wäre möglich, dass ein völlig fremder Auswerter eine andere Anzahl an Impacts sehen würde. Durch Doppelverblindung könnte hier eine mögliche „Detection bias“ eingeschränkt werden. Zusammenfassend ist daher zu konstatieren, dass die Erkennungsleistung von mehreren Impacts durch die Softwareanalyse begrenzt und unsicher bleibt und einen Abstand der getrennt entstandenen Muster von ca. > 40 cm erfordert.

6. Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich mit HemoSpat™ die „Area of Origin“ ausreichend präzise, valide und reproduzierbar eingrenzen lässt. Der Informationsgewinn durch HemoSpat™ ist zuverlässiger bei erfahrenen Anwendern und bei singulären Gewalteinwirkungen, sog. „Single Impacts“.

Eine diskriminierende, d. h. erkennbar auftrennende Darstellung mehrfacher Impacts ist mit HemoSpat™ eingeschränkt möglich. Dazu müssen diese eine bestimmte Mindestdistanz zueinander aufweisen. Trotz bestehender Restungenaugkeiten erzielen erfahrene Analysten bessere Resultate bei der Berechnung einer „Area of Origin“ sowie bei der graphischen Darstellung eines Tatorts als unerfahrene. Eine Grundausbildung in der Blutspurenmusteranalytik wie auch eine Schulung in der Verwendung der Software ist dringend zu empfehlen.

Im Vergleich zur konventionellen „stringing method“ zeigt sich bei der computergestützten dreidimensionalen Tatort-Rekonstruktion u. a. der Vorteil eines reduzierten Zeitaufwandes am Tatort und einer geringeren Kontamination desselbigen. Der Hauptvorteil jedoch liegt in der Dokumentationskraft und der Archivierbarkeit der Befunde.

Beachtet werden muss bei beiden Methoden die Notwendigkeit eines angemessenen Erfahrungsgrades in der Blutspurenanalyse mit Kenntnissen in Physik und Ballistik.

7. Ausblick

Das Softwareprogramm HemoSpat™ ist ein nützliches Tool bei der forensischen Blutspurenanalytik. Zur Verbesserung der Anwendungstechniken und zum Aufzeigen von Konstellationen für einen erfolgsversprechenden Einsatz sind in Zukunft weitere systematische Experimente empfehlenswert.

Mögliche Fragen, die überprüft werden könnten, sind folgende:

1. Fällt das Ergebnis exakter aus, wenn ausschließlich Blutspritzer mit α -Winkeln kleiner 50 Grad verwendet werden?
2. Führt ein präziseres Aussuchen der Blutspritzer bezüglich Größe, Ausrichtung, Schärfe zu einem genaueren Ergebnis bei HemoSpat™?
3. Liefert multiple Blutspritzer an nur einer Wand ein ähnlich präzises Ergebnis, wie wenige Blutspritzer an zwei Wänden?
4. Können mit HemoSpat™ bei rauen Oberflächen ähnliche Ergebnisse erzielt werden, wie bei glatten Oberflächen?
5. Ist eine genauere „Area of Origin“-Kalkulation möglich, wenn die Koordinaten der einzelnen Blutspritzer direkt vor Ort bestimmt werden, anstatt mit Digitalkamera und Digimizer?
6. Welche Mindestentfernung zwischen zwei Impacts muss vorliegen, damit sie sicher als zwei erkannt werden?

Literaturverzeichnis

1. Bevel T, Gardner R M (2008) Bloodstain Pattern Analysis, With an Introduction to Crime Scene Reconstruction. 3rd ed CRC Press Taylor & Francis Group, Florida
2. Buck U, Kneubuehl B, Näther S, Albertini N, Schmidt L, Thali M (2011) 3D bloodstain pattern analysis: Ballistic reconstruction of the trajectories of blood drops and determination of the centres of origin of the bloodstains. *Forensic Science International* 206:22-28
3. Carter A L (1999) Bloodstain Pattern Analysis with a Computer. In: James S H (1999) Scientific and Legal Applications of Bloodstain Pattern Interpretation. CRC Press LLC, Florida 17-32
4. Carter A L (2005) Directional Analysis of Bloodstain Patterns with a Computer. In: James S H, Kish P E, Sutton T P (2005) Principles of Bloodstain Pattern Analysis, Theory and Practice. CRC Press Taylor & Francis Group, Florida 241-261
5. Carter A L (2001) The directional analysis of bloodstain patterns theory and experimental validation. *Can Soc Forens Sci J* 34(4):173-189
6. Carter A L, Illes M, Maloney K, Yamashita A B, Allen B, Brown B, Davidson L, Ellis G, Gallant J, Gradkowski A, Hignell J, Jory S, Latuszus P L, Moore C C, Pembroke R, Richard A, Spenard R, Stewart C (2005) Further Validation of the BackTrack™ Computer Program for Bloodstain Pattern Analysis – Precision and Accuracy. *IABPA News* 15-22
7. Connolly C, Illes M, Fraser J (2012) Affect of impact angle variations on area of origin determination in bloodstain pattern analysis. *Forensic Science International* 223:233-240
8. Davison M W, Palmbach T M (2014) An Experimental Study to Quantify Error Rates Resulting from Measurement Deviation in Area of Origin Reconstructions of Blunt Force Impact Patterns. *J Forensic Res Crime Stud* 1:1-12
9. De Bruin K G, Stoel R D, Limborgh J C M (2011) Improving the Point of Origin Determination in Bloodstain Pattern Analysis. *J Forensic Sci* 56(6):1476-1482
10. Fischer W C (1999) Defining the “Address” of Bloodstains and Other Evidence at the Crime Scene. In: James S H (1999) Scientific and Legal Applications of Bloodstain Pattern Interpretation. CRC Press LLC, Florida 1-15

11. Freeman S, How Bloodstain Pattern Analysis Works. Online: <http://science.howstuffworks.com/bloodstain-pattern-analysis.htm>
Zugriff am 18.05.2015
12. Garrison D (2005) Bloodstain-Pattern Analysis, The Discipline Everyone Should Understand. Evidence Technology Magazine 12-15
13. HemoSpat Manual 1-37
14. James S H (1999) Scientific and Legal Applications of Bloodstain Pattern Interpretation. CRC Press LLC, Florida
15. James S H, Kish P E, Sutton T P (2005) Principles of Bloodstain Pattern Analysis, Theory and Practice. CRC Press Taylor & Francis Group, Florida
16. Kettner M, Schmidt A, Windgassen M, Schmidt P, Wagner C, Ramsthaler F (2014) Impact height and wall distance in bloodstain pattern analysis – what patterns of round bloodstains can tell us. Int J Legal Med 129(1):133-140
17. Kirk P. L. (1955) Affidavit of Paul Leland Kirk: State of Ohio v. Samuel H. Sheppard; In: James S H (1999) Scientific and Legal Applications of Bloodstain Pattern Interpretation. CRC Press LLC, Florida 179-225
18. Laan N, De Bruin K G., Slenter D, Wilhelm J, Jermy M, Bonn D (2015) Bloodstain Pattern Analysis: implementation of a fluid dynamic model for position determination of victims. Scientific Reports 5, 11461; doi: 10.1038/srep11461
19. Larkin B A J, Banks C E (2016) Exploring the applicability of equine blood to bloodstain pattern analysis. Medicine, Science and the Law, 56(3):190-199
20. Liscio E, Bortot S, Frankcom J, Hackenbrook T, Inch J, Lamarche R, Penney T, Allen B, Chafe F, Yamshita B (2015) A Preliminary Validation of the Use of 3D Scanning for Bloodstain Pattern Analysis. Journal of Bloodstain Pattern Analysis, 31(3)
21. MacDonell H L (1982) Bloodstain pattern interpretation. Laboratory of Forensic Science
22. MacDonell H L (1971) Flight Characteristics and Stain Patterns of Human Blood. National Institute of Law Enforcement and Criminal Justice. Washington
23. MacDonell H L (1973) Laboratory Manual on the geometric interpretation of human bloodstain evidence. Laboratory of Forensic Science
24. MacDonell H L (1992) Segments of History in the Documentation of Bloodstain Pattern Interpretation, Segment 01: 1901-1910. IABPA News 8:5-22

25. MacDonell H L (1992) Segments of History, The Literature of Bloodstain Pattern Interpretation, Segment 00: Literature through the 1800's. IABPA News 8:3-12
26. MacDonell H L (1993) Segments of History, The Literature of Bloodstain Pattern Interpretation, Segment 02: Literature from 1911 through 1920. IABPA News 9:4-10
27. Maloney A, Nicloux C, Maloney K, Heron F (2011) One-Sided Impact Spatter and Area-of-Origin Calculations. J Forensic Identification 61(2):123-135
28. Maloney K, Killeen J, Maloney A (2009) The Use of HemoSpat To Include Bloodstains Located on Nonorthogonal Surfaces in Area-of-Origin Calculations. Journal of Forensic Identification 59(5):513-524
29. Nashad Hakim, Eugene Liscio (2015) Calculating Point of Origin of Blood Spatter Using Laser Scanning Technology. J Forensic Sci, 60(2)
30. Pace A, Carter A L, Moore C, Yamashita B (2006) Another Treatment of Three-Dimensional Bloodstain Pattern Analysis. IABPA News 4-11
31. Pace B E & A (Hons.), A & C E (2005) The Relationship between Errors in Ellipse Fitting and the Increasing Degree of Error in Angle of Impact Calculations. IABPA News 12-14
32. Peschel O, Kunz S N, Rothschild M A, Mütsel E (2011) Blood stain pattern analysis. Forensic Sci Med Pathol 7:257-270
33. Ramsthaler F, Kettner M (2012) Blutspurenuntersuchungen zur Rekonstruktion des Tathergangs. labor&more 3:32-39
34. Ramsthaler F, Peschel O, Rothschild M (2015) Forensische Blutspurenmusteranalyse. Lehmanns media, Berlin
35. Ramsthaler F, Schmidt P, Bux R, Potente S, Kaiser C, Kettner M (2012) Drying properties of bloodstains on common indoor surfaces. Int J Legal Med 126:739-746
36. Rein M (1993) Phenomena of liquid drop impact on solid and liquid surfaces, Fluid Dynamic Research. 12(2):61-93
37. St. Clair E, Maloney A, Schade A (2012) An Introduction to Building 3D Crime Scene Models Using SketchUp. J Assoc Crime Scene Reconstr 18(4):29-47
38. SWGSTAIN, Online: www.swgstain.org
Zugriff am 18.05.2015
39. Vitiello A, Di Nunzio C, Garofano L, Saliva M, Ricci P, Acampora G (2016) Bloodstain pattern analysis as optimisation problem. Forensic Science International 266 e79-e85

40. Willis C, Piranian A K, Donaggio J R, Barnett R J, Rowe W F (2001) Errors in the estimation of the distance of fall and angles of impact blood drops. *Forensic Science International* 123:1-4
41. www.dgrm.de
42. www.digimizer.com
43. www.iabpa.org
44. <https://sicherheitspolitik.bpb.de/data-tables/m1-homicide>
Zugriff am 11.11.2018
45. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-37352-7_2
Zugriff am 12.03.2018
46. <https://de.wikipedia.org/wiki/SPSS>
Zugriff am 12.03.2018

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich den Personen danken, die mich bei der Fertigstellung meiner Dissertation unterstützt und begleitet haben.

An erster Stelle möchte ich meinem Doktorvater, Univ.-Prof. Dr. med. Peter Schmidt, sowie meinen Betreuern, Priv.-Doz. Dr. med. Dr. univ. (H) Frank Ramsthaler und Dr. med. Mattias Kettner, für die exzellente Betreuung danken. Sie haben mich zu jeder Zeit mit großem Engagement unterstützt, mit ihrer fachlichen Kompetenz gefördert und den erfolgreichen Abschluss der Arbeit so erst ermöglicht.

Dr. med. Ann-Katrin Kröll für die Hilfe bei der Erbauung des Modellraums.

Priv.-Doz. Dr. med. Dr. univ. (H) Frank Ramsthaler, Dr. med. Mattias Kettner, Dr. rer. nat. Deborah Montenarh und meinem Mann für die Hilfe bei der Durchführung der Experimente. Allen Mitarbeitern der Rechtsmedizin für die angenehme Arbeitsatmosphäre, sowie die permanente Hilfsbereitschaft bei allen Fragen und Problemen.

Meinem Mann Anton Bever, der mich immer unterstützt hat und wann immer es nötig war, neu motiviert hat.

Lena Altmeyer, die mir mit ihrem Hintergrundwissen zum wissenschaftlichen Arbeiten immer mit Rat und Tat zur Seite gestanden hat.

Und zuletzt meinem Bruder Pascal Schmidt und meinen Eltern, Helga und Hermann Josef Schmidt, die mir mein Studium, sowie die Durchführung der Dissertation überhaupt erst ermöglicht haben. Danke für alles.