

Aus dem Institut für Rechtsmedizin
des Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

Direktor Prof. Dr. med. K. Püschel

COMPUTERGESTÜTZTE BLUTSPURENANALYSE
CAD-BEARBEITUNG PHOTOGRAMMETRISCH
ERHOBENER BLUTSPURENDATEN

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Humanmedizin
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg
vorgelegt von

Carmen Lange

aus Frankenberg an der Eder

Hamburg 2009

Angenommen von der Medizinischen Fakultät
der Universität Hamburg am: 02.02.2010

Veröffentlicht mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Hamburg.

Prüfungsausschuss

der Vorsitzende: Prof. Dr. K. Püschel

2. Gutachter: Prof. Dr. H.- P. Beck-Bornholdt

3. Gutachter: Prof. Dr. J. Caselitz

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1. Arbeitshypothese und Fragestellung	1
2. Einleitung	2
2.1 Zur Geschichte der Blutspurenanalyse	2
2.2 Stand der Forschung zur Blutspurenanalyse	4
2.2.1 Blutspurenkategorien	6
2.2.1.1 Untergliederung der Blutspuren	6
2.2.1.2 Klassifizierung von Blutspuren	10
2.2.2 Berechnung von Blutspuren	13
2.2.2.1 Aufprallphasen	13
2.2.2.2 Aufprallwinkel	14
2.2.2.3 Ellipsen	15
2.2.2.4 Ursprungsareal	15
2.2.3 Untergrundkomponenten	16
2.2.4 Bisherige Methoden für die Blutspurenursprungsinterpretation	17
2.2.4.1 Tangentmethode	17
2.2.4.2 Stringingmethode	18
2.2.4.3 EDV-basierte Analyseverfahren	19
2.2.5 Dokumentation von Blutspuren	19
2.3 Programmbeschreibung	20

2.3.1	Photogrammetrie	20
2.3.2	Photogrammetrische Auswertesoftware	23
3.	Versuch 1	25
3.1	Material und Methoden	25
3.1.1	Material Versuch 1	25
3.1.2	Versuchsaufbau Versuch 1	26
3.1.3	Auswahl der Spuren Versuch 1	27
3.1.4	Photogrammetrische Messung Versuch 1	28
3.1.5	Auswertung der Daten Versuch 1.....	28
3.2	Ergebnisse des ersten Versuches	30
3.3	Diskussion des ersten Versuches	35
4.	Versuch 2	37
4.1	Material und Methoden Versuch 2	37
4.1.1	Versuchsaufbau Versuch 2	37
4.1.2	Auswahl der Spuren Versuch 2	38
4.1.3	Photogrammetrische Messung Versuch 2	39
4.1.4	Auswertung der Daten Versuch 2	39
4.2	Ergebnisse des zweiten Versuches	40
4.3	Diskussion des zweiten Versuches	45
5.	Versuch 3	47
5.1	Material und Methoden Versuch 3	47
5.1.1	Versuchsaufbau Versuch 3	47
5.1.2	Auswahl der Spuren Versuch 3	47
5.1.3	Photogrammetrische Messung Versuch 3	48
5.1.4	Auswertung der Daten Versuch 3	48

5.2 Ergebnisse des dritten Versuches	49
5.3 Diskussion des dritten Versuches	55
6. Vergleichende Ergebnisdiskussion	56
7. Auswertung der Methodik - Blutspurenanalyse und Software	61
7.1 Gesamtbetrachtung	61
7.2 Ausblick	65
8. Zusammenfassung	66
9. Literatur	68
10. Anhang	74

Danksagung

Lebenslauf

Eidesstattliche Versicherung

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 :	Aufprallphasen (Nach BEVEL UND GARDENER, 2002)	13
Abb. 2 :	Länge und Breite der Blutspurenellipse	14
Abb. 3 :	Konvergenzpunkt und Ursprung von Blutspuren	17
Abb. 4 :	Stringing (Nach JAMES ET AL., 2005)	18
Abb. 5 :	Photogrammetrisches Messprinzip	22
Abb. 6 :	CAD-Darstellung Versuch 1 Draufsicht	32
Abb. 7 :	CAD-Darstellung Versuch 1 Frontansicht	32
Abb. 8 :	CAD-Darstellung Versuch 1 Seitenansicht	33
Abb. 9 :	CAD-Darstellung Versuch 1 Perspektive	33
Abb. 10 :	CAD-Darstellung Versuch 2 Draufsicht	42
Abb. 11 :	CAD-Darstellung Versuch 2 Frontansicht	42
Abb. 12 :	CAD-Darstellung Versuch 2 Seitenansicht	43
Abb. 13 :	CAD-Darstellung Versuch 2 Perspektive	43
Abb. 14 :	CAD-Darstellung Versuch 3 Draufsicht	51
Abb. 15 :	CAD-Darstellung Versuch 3 Frontansicht	51
Abb. 16 :	CAD-Darstellung Versuch 3 Seitenansicht	52
Abb. 17 :	CAD-Darstellung Versuch 3 Perspektive	52
Abb. 18 :	Anordnung der Blutspuren im Raum Versuch 1	74
Abb. 19a :	Makroaufnahmen Versuch 1 Spuren 1 bis 4.2	75
Abb. 19b :	Makroaufnahmen Versuch 1 Spuren 5.1 bis 8	76
Abb. 20a :	Anordnung der Blutspuren im Raum Versuch 2	77
Abb. 20b :	Anordnung der Blutspuren im Raum Versuch 2	78
Abb. 21a :	Makroaufnahmen Versuch 2 Spuren 1 bis 4	78
Abb. 21b :	Makroaufnahmen Versuch 2 Spuren 5 bis 28	79

Abb. 22 :	Anordnung der Blutspuren im Raum Versuch 3	80
Abb. 23a :	Makroaufnahmen Versuch 3 Spuren 1 bis 8	81
Abb. 23b :	Makroaufnahmen Versuch 3 Spuren 9 bis 21	83

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 :	Tropfengeschwindigkeit und Fleckendurchmesser	11
Tab. 2 :	Vergleich von makroskopischem Blutspurenbild und CAD-Linienverlauf, Aufprallwinkel sowie Position Versuch 1	34
Tab. 3 :	Vergleich von makroskopischem Blutspurenbild und CAD-Linienverlauf, Aufprallwinkel sowie Position Versuch 2	44
Tab. 4 :	Vergleich von makroskopischem Blutspurenbild und CAD-Linienverlauf, Aufprallwinkel sowie Position Versuch 3	53
Tab. 5 :	Übereinstimmungen zwischen den drei Versuchen in Abhängig- keit von den Blutspurpositionen	56
Tab. 6 :	Vergleich von Spurendurchmesser, Aufprallwinkel und Verlauf der über die Hochgeschwindigkeitskamera nachvollziehbaren Tropfen aus Versuch 2 und 3	59
Tab. 7 :	Übersicht der Blutspurenellipsenmaße in Millimetern Versuch 1 ...	84
Tab. 8 :	Übersicht der Blutspurenellipsenmaße in Millimetern Versuch 2 ...	85
Tab. 9 :	Übersicht der Blutspurenellipsenmaße in Millimetern Versuch 3 ...	86

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
BKA	Bundeskriminalamt
bmp	bitmap
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAD	Computer Aided Design
CDW	close range digital workstation
cm	Zentimeter
°C	Grad Celsius
d.h.	das heißt
Dxf	software format
dyn/cm	dyne pro Zentimeter
2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
etc.	et cetera
GB	Gigabit
°	Grad (Winkel)
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IABPA	International Association of Bloodstain Pattern Analysis
jpg	Bildkompressionsverfahren
KB	Kilo Bit
kg	Kilogramm
LKA	Landeskriminalamt
m	Meter
MB	Megabit
min	Minute
ml	Milliliter
mm	Millimeter
mPa	Meterpascal
o.D.	ohne Datum
PC	Personal Computer

p.	Page
sec	Sekunde
sog.	so genannte/r/s/m
Std.	Stunde
Tab.	Tabelle
usw.	und so weiter
v.a.	vor allem
vgl.	vergleiche
www	World Wide Web
µl	Mikroliter
z.B.	zum Beispiel

1. Arbeitshypothese und Fragestellung

Die Blutspurenanalyse beschäftigt sich mit den Formen, der Verteilung, der Kategorisierung und der Interpretation von tatrelevanten Blutspuren. Dabei ist zunächst eine genaue Unterscheidung zwischen einzelnen Entstehungsformen und deren Dokumentation an einem Tatort erforderlich.

Die vorliegende Arbeit hat v.a. orientierende Funktion. Es soll eruiert werden, ob eine berührungslose, computergestützte, metrisch exakte, physikalisch korrekte, dreidimensionale und virtuelle Rekonstruktion von Blutspuren sowie ihrer Flugbahnen grundsätzlich ausführbar ist und ob sich der Ursprungspunkt der Blutung eingrenzen lässt, ohne dabei versehentlich bedeutsame Hinweise zu zerstören. Zur Rekonstruktion der Flugbahnen finden zunächst das Legen von Blutspuren mit bekanntem Ausgangspunkt, die Auswahl von Blutspuren, eine photogrammetrische Vermessung und schließlich die Weiterverarbeitung am Computer mit der entsprechenden Software zu dreidimensionalen Darstellungen in drei Versuchen statt.

Des Weiteren soll erörtert werden, inwieweit die computergestützte Blutspurenanalyse von photogrammetrisch vermessenen Blutspurendaten mittels CAD-Bearbeitung ein Medium zur gerichtsmedizinischen Auswertung von Tatorten darstellt und worin Vorteile gegenüber "herkömmlichen" Methoden, wie z.B. dem manuellen Stringing oder der Tangentmethode, liegen. Mögliche Fehlerquellen sowie Grenzen der neuen Methode sollen aufgedeckt werden.

2. Einleitung

Die Morphologie von Blutspuren liefert vielschichtige Informationen zu einem Tatgeschehen. Es sind Rückschlüsse auf den Ursprung des Blutes, die Entfernung zwischen Spurenlagerer und Quelle zum Zeitpunkt der Blutung, die Art, Richtung, Häufigkeit und Intensität der stattgehabten Gewalt sowie Bewegungsrichtungen und Positionen aller beteiligten Personen und Gegenstände vor, während und nach der Blutung möglich. Im Folgenden werden die Grundlagen zur Morphologie der Blutspuren kurz skizziert.

2.1 Zur Geschichte der Blutspurenanalyse

Im westeuropäischen Raum finden sich 1856 erstmals Schriften zur Blutspurenanalyse. Publikationen im angloamerikanischen Raum sind seit 1971 bekannt. Sie befassen sich mit Formspuren und deren Abhängigkeit von verschiedenen Variablen wie z.B. ihren Entstehungsmechanismen, ihrer Aufprallenergie und den physikalischen Eigenschaften der Spurenlagerer. Zudem gehen die Autoren auf Elemente der Tatrekonstruktion ein.

LASSAIGNE schrieb 1856 eine Abhandlung bezüglich Untersuchungen zur Erkennung von Blutflecken auf Eisen und Stahl, sowie zu Blutspuren ähnlichen Flecken, verursacht durch Insekten. 1895 untersuchte PIOTROWSKI methodisch die Form tierexperimentell erzeugter Spuren an der Universität in Wien, gefolgt von SCHMIDTMANN 1905, der ausführlich auf die Rekonstruktionsmöglichkeiten aus der Blutspurenanalyse eingeht (BRINKMANN, 1988; BEVEL und GARDNER, 2002). ZIEMKE empfiehlt 1914 im Kapitel 7 der "Gerichtlichen und polizeiärztlichen Technik" von LOCHTE nicht nur das Einbeziehen von mehreren Spuren bei Rückschlüssen auf Entstehungsmechanismen, sondern auch die fotografische Dokumentation. Er befasste sich mit verschiedenen Einflüssen auf die Blutspuren bzw. deren Bildung und mit der differenzialdiagnostischen Abgrenzung von Ausrufezeichen sowie Nebentropfen und deren Abhängigkeit von ihrer Fallhöhe. LOCHTE widmete sich 1933 den Entstehungsmodalitäten von Facetten und Sekundärtropfen, deren Flughöhe und Flugweite, sowie der Auswirkung von verschiedenen Spurenlagereroberflächen.

Seit 1930 ist es möglich mittels Luminol (3-Aminophthalsäurehydrazid) latente, d.h. nicht sichtbare Blutspuren auf zu decken (LYTLE ET AL., 1978).

Die Beziehungsdefinition des Längen-Breiten-Quotienten einer Einzelspur zum Aufprallwinkel geht auf BALTHAZARD ET AL. im Jahr 1939 zurück (BRINKMANN, 1988).

GÖHRINGER reichte 1941 an der Ruprecht-Karl-Universität Heidelberg seine Dissertation über Blutspuren mit dem Titel „Kann aus dem Blutbild auf verschiedenen Unterlagen die Fallhöhe und Richtung des gefallen Tropfens ermittelt werden?“ ein. Auf Grund des Krieges musste der gebürtige Amerikaner Deutschland verlassen. 1981 wurde seine Dissertation von MACDONELL wiederentdeckt, der den 1999 verstorbenen GÖHRINGER seither als "Pionier der Blutspurenanalyse" betitelt (MACDONELL, 1999).

MACDONELL selbst verfasste 1971 erste Schriften zur Blutspurenanalyse. Er schildert Elemente wie die Rekonstruktionsmöglichkeiten aus Abschleuderspuren sowie die Beziehung zwischen der Geschwindigkeit und der Flugweite von Spuren und geht auf Spezialformen, wie z.B Schussspuren, ein. MUELLER und SCHLEYER befassen sich 1975 mit weiteren Gesichtspunkten - zu nennen sind die schaumförmigen Blutspuren beim Aushusten und die Entstehung sowie die Kreuzung von Blutstraßen (BRINKMANN, 1988). 1982 greift MACDONELL die von HOFMANN 1898 und auch schon von FRAENCKEL in Zusammenarbeit mit STRAßMANN 1924 erwähnten "Rückschleuderspuren" bei Schussverletzungen auf, die er, wie STEPHENS und ALLEN 1983, als „Backspatter“ bezeichnet (Brinkmann et al., 1985).

PIZZOLA ET AL. untersuchten 1986 systematisch die exakten physikalischen Bedingungen der Blutspurenentstehung. Auf die Besonderheiten der Mikrospurenmorphologie, Spuren auf Textilgewebe und Schlagspritzspuren gehen RAND ET AL. sowie BRINKMANN ET AL. 1985 und 1986a/b ein. Übersichten zur Geschichte der Blutspurenanalyse finden sich bei BRINKMANN (1988), ECKERT UND JAMES (1998), BEVEL UND GARDNER (2002), sowie von MACDONELL (2005).

Im Laufe der Zeit haben moderne Methoden, wie Kameras und Computer, Einzug in die Blutspurenanalyse erhalten. So hat z.B. CARTER 1987 mit "Trajectories" einen der ersten Versuche zur Ermittlung des Blutspurenursprungsortes mittels einer Computersoftware gestartet (PAGE ET AL., 2006). Die unterschiedlichen EDV-basierten Systeme zur Dokumentation, Analyse bis hin zur Interpretation der Blutspuren haben bislang jedoch noch kein Einzug in Routineuntersuchungen

gefunden. 1983 wurde die "International Association of Bloodstain Pattern Analysis" (IABPA) in Florida gegründet, mit dem Ziel standardisierte Techniken und Beschreibungen einzuführen und einen Wissensaustausch zu ermöglichen. Innerhalb der deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin hat sich 2005 eine entsprechende Gruppe von deutschen Blutspurenanalysten formiert.

2.2 Stand der Forschung zur Blutspurenanalyse

Das menschliche Blut macht etwa acht Prozent des Körpergewichts aus und umfasst bei einem Erwachsenen bis zu sechs Liter. Es erscheint flüssig, doch enthält jeder Liter Blut Milliarden fester Teilchen. Unter ihnen befinden sich v.a. 25-30 Milliarden Erythrozyten, aber auch Leukozyten und Thrombozyten. Der flüssige Anteil des Blutes, das Blutplasma, macht 55% des Gesamtvolumens aus. Es besteht zu 90% aus Wasser, aus Elektrolyten und zu acht Prozent aus Proteinen.

Blut unterliegt daher den physikalischen Gesetzen von Flüssigkeiten, wodurch es relativ reproduzierbar und vorhersehbar wird. Versuche haben ergeben, dass Durchschnittsbluttropfen ein Volumen von 50 μl beinhalten. Allerdings ist dies keine absolute Größe, sondern in Abhängigkeit von der Oberflächenspannung und der Abtropffläche variabel (MACDONELL, 1982). So findet z.B. LABER (1985) Tropfenvolumina von 13 μl bis 160 μl . BRINKMANN ET AL. (1985) teilen Blutspuren in Makroblutspuren mit einem Volumen von 50 μl und Mikroblutspuren mit einem Volumen von 0,2 μl ein.

Größen wie die einwirkende Kraft, der Luftwiderstand, das spezifische Gewicht und die Oberflächenspannung müssen bei der Beurteilung von Blutspuren berücksichtigt werden (PIAZZOLA ET AL., 1986; RAYMOND ET AL., 1996; HULSE-SMITH ET AL., 2005; JAMES ET AL., 2005). Kohäsionskräfte innerhalb des Blutropfens bedingen seine Oberflächenspannung, welche zunächst durch Masse und Gravitation überwunden werden muss, ehe der Tropfen fällt. Allgemein gilt, je geringer das Tropfenvolumen, um so niedriger seine Geschwindigkeit. So erreicht ein 50 μl Tropfen beim freien Fall die Endgeschwindigkeit 7,65 m/sec ($\pm 15\text{cm}$) (DUCHESNE, 2003; MACDONELL, 2005). Sein Fallverhalten unterliegt keinem signifikanten Einfluss des Blutalkoholgehaltes (MACDONELL, 2005).

Durch das Streben nach der geringsten Oberflächenenergie, minimiert sich die Tropfenoberfläche. Es bildet sich im freien Fall eine Kugelform mit einer geringen Oszillation aus. Insgesamt besteht jedoch eine sphärische Form, deren Volumen umgekehrt proportional zu der Kraft ist, die den Tropfen formte (COURTNEY, 1991). Durch stumpfe Gewalteinwirkung bzw. bei Schlagwirkungen gegen blutige Objekte formieren sich Tropfen mit einem Volumen von 0,008 μl bis 4 μl und einem Durchmesser von 0,125 mm bis zu 2 mm. Bei diesen Tropfen (COURTNEY, 1991) und Tropfen mit Strecken über 40 cm (RAYMOND ET AL., 1996) findet keine nennenswerte Oszillation statt. Sie kollidieren im Flug kaum mit anderen Tropfen und legen eine maximale Distanz von 1 m bis 1,2 m zurück (COURTNEY, 1991).

Blut ist vier- bis fünfmal zähflüssiger als Wasser, da mit zunehmender Viskosität einer Flüssigkeit die Fließfähigkeit sinkt. So weist Blut bei 37°C eine Oberflächenspannung von 27 - 34 dyn/cm und eine Viskosität von 1,6 - 2,5 mPa s auf, welche sich temperaturabhängig verändert (MACDONELL, 2005).

Blut unterliegt den ballistischen Gesetzen. Hierbei sind die Bestimmung des Luftwiderstandes und des dadurch bedingten Drehmoments, die Bewegung des Geschosses um seinen Schwerpunkt als Folge des Mündungabganges, die Störkräfte und vieles mehr zu berücksichtigen - dem widmet sich die äußere Ballistik, auch Flugballistik genannt (SELLIER UND KNEUBUEHL, 2001).

Bereits beim Abgang von der Quelle wirkt die Erdanziehungskraft auf das Geschoss, es beginnt zu fallen. Die Flugbahn eines Geschosses beschreibt eine nach unten geöffnete Parabel (SELLIER UND KNEUBUEHL, 2001).

Eine weitere Dimension stellt die Abweichung nach links und rechts auf Grund von Winddrift dar. Der Luftwiderstand ist umgekehrt proportional zur Tropfengröße. Bei Tropfen, die im gleichen Winkel und mit gleicher Geschwindigkeit fliegen, werden die größeren Tropfen weiter fliegen, als die kleineren von weniger großen Volumen (BEVEL UND GARDENER, 2002).

In einem Raum ohne Luftwiderstand und ohne Gravitation würde der Flug - dem Trägheitsprinzip folgend - linear seiner anfänglichen Richtung verlaufen. Streng genommen, weicht die ballistische Kurve durch den Luftwiderstand und die Inhomogenität des Schwerfeldes der Erde auch von der Parabelform ab (STROPPE, 2003). Die absteigende Kurve der Parabel verläuft stets kürzer und somit steiler als die aufsteigende, da die Atmosphäre bremsend wirkt. Lokale

Unterschiede der Erdbeschleunigung, die Gezeiten und die Tatsache, dass die Erde eine Kugel ist, wirken ebenfalls erweiternd bzw. verengend auf die Parabel. Im Allgemeinen, so auch von CARTER (2001), FISCHER (2001), CARTER ET AL. (2005) und PACE (2005) geschildert, zeigen Blutropfen von der Quelle ausgehend eine parabelförmige Flugbahn.

2.2.1 Blutspurenkategorien

2.2.1.1 Untergliederung der Blutspuren

Durch die Vielzahl von Einwirkungen werden sich Blutspurenbilder nie völlig entsprechen, so dass jeder Fall individuell betrachtet werden muss. Es ist jedoch möglich, sie in bestimmte Gruppen zu gliedern. Der Entstehungsdynamik nach werden sie in Kontaktspuren und Formspuren eingeteilt.

Kontaktspuren spiegeln - im Gegensatz zu den Formspuren - einen deutlichen Kontakt zu einem mehr oder weniger konkreten Gegenstand wider. Hierbei waren der Spurenräger oder der Gegenstand blutbenetzt. Einige Kontaktspuren lassen die Struktur des Gegenstandes erkennen, oder es liegen Wischspuren vor. Unter Umständen können anhand von Kontaktspuren in der Umgebung oder an der Bekleidung Rückschlüsse auf die Position sowie Bewegungen des Opfers gezogen werden. Typische Kontaktspuren sind z.B Schuh- oder Haarabdrücke. In manchen Fällen finden sich Überlagerungen von Kontakt- und Formspuren, welche der Bestimmung von zeitlichen Abfolgen der verschiedenen Handlungen dienen (DUCHESNE, 2003).

Unterschiedliche **Formspuren** lassen ebenfalls Rückschlüsse auf die Entstehungsmechanismen zu und ermöglichen einen Eindruck von Reihenfolge und Bewegungsdynamik der stattgehabten Gewalt. Als Bedingung der Formspuren gilt ein zurückgelegter Weg unterschiedlich starker Beschleunigung. Zu den Formspuren zählen Tropfspuren, Schlagspritzspuren, Abschleuderspuren und ausgehustete Spuren. Insbesondere die Zerteilungsbereitschaft des Primärtropfens von Spritz- und Tropfspuren ist abhängig von Untergrund, Beschleunigung und Tropfenvolumen.

Tropfspuren sind meist Spuren von verletzungsbedingt blutenden Wunden oder Abtropfspuren von blutbeschmutzten Gegenständen. Ihre Form ist abhängig von Fallhöhe, Untergrundbeschaffenheit und Tropfenvolumen. Schlägt ein solcher Tropfen im rechten Winkel auf, so resultiert ein exakt runder, kreisförmiger Fleck mit je nach Fallhöhe unterschiedlich stark konturierten Rändern. Beim schrägen Auftreffen ergibt sich eine Ellipsenform, auch als Oval oder Ausrufezeichen beschrieben (WIEGAND ET AL., 2003). In Richtung ihrer Bewegung zeigen Tropfspuren häufig starke Unregelmäßigkeiten, Wellenformen bis hin zu Sekundärtropfen. Trifft eine Tropfspur in stabiler, unveränderter Position in eine kleine Blutlache, so ergibt dies eine zentrale flächenhafte Spur, umgeben von zirkulären Spritzern. Die sich ergebenden Muster lassen grobe Rückschlüsse auf die Ursprungshöhe zu: Mit zunehmender Höhe steigt die Zahl und die Entfernung der Satellitenspritzer von der kleinen Blutlache, während ihre individuelle Größe sinkt.

Ein Aufprall in größere Blutvolumina, welche sich auf unberührten Flächen befinden, ergibt ebenfalls eine zentrale flächenhafte Spur, allerdings mit radiär ausgezogenen zirkulären Spritzern, bis hin zum sog. spinnenartigen Spurenbild, das sich bei großen beschleunigten Blutvolumina, wie z.B. beim Erbrechen ergibt (DUCHESNE, 2003).

Trotz vielfacher Bemühungen das exakte Volumen und eine präzise Abtropfhöhenbestimmung über naturwissenschaftliche Modelle zu erlangen, sind solche Angaben bisher nur näherungsweise möglich.

Spritzspuren ergeben beschleunigungsabhängig unterschiedliche Bilder. Ein Aufschlag im Rahmen einer wie auch immer gearteten Form stumpfer Gewalteinwirkung erreicht zunächst das Aufbrechen einer homogenen Spur. Dies geschieht durch die Überwindung der Oberflächenspannung mit resultierenden feineren Spuren, welche um so feiner werden, je höher die einwirkende Energie ausfällt.

Schlagspritzspuren, als Folge von Schlägen mit festen Gegenständen, z.B. einem Hammer, ergeben meist erst beim wiederholten Zuschlagen Spritzer, da sich an der betroffenen Oberfläche zunächst ein Blutreservoir sammeln muss (BRINKMANN ET AL., 1986b).

Durch erneutes Ausholen mit einem Tatwerkzeug entstehen *Schleuderspur*en, da aus der Wunde anhaftendes Blut verschleudert wird. In Wohnräumen ergeben sich so meist lineare Spurenverlaufsmuster, häufig an den Wänden und Decken, mit zunehmend flacheren Winkeln und abnehmender Intensität, je weiter der Spritzer vom Werkzeug entfernt ist. Ihre Form, Anzahl und Länge können - unter Berücksichtigung des Verletzungsmusters - Rückschlüsse auf das Tatwerkzeug, die Ausführungsintensität, die Häufigkeit der Schlagbewegungen und die Position im Raum im Verhältnis zum Opfer zulassen. Im Vergleich zu Tropfspuren haben nach LABER (1985) Abschleuderspur

en meist einen kleineren Durchmesser (< 6 mm). *Abspritzspuren* hingegen entstehen beim Aufprall des Werkzeugs und sind meist weitflächig ausstrahlend und zudem als Blutantragungen am Täter zu erwarten.

Schussverletzungen ergeben Rückspritzmuster nach Kugleintritt in ein Körperteil. Diese Rückschleuderspur

en, bestehend aus Blut und Gewebe, auch *Backspatter* genannt, sind kleiner als ein Millimeter und trocknen in der Luft schlagartig aus. Sie lassen eine relativ sichere Eingrenzung der Täterentfernung zu. Durch die bremsende Wirkung des Luftwiderstandes fliegen sie größtenteils nicht weiter als 50 cm. *Backspatter* in Form von Mikrospuren finden sich z.B. an der Täterbekleidung bei Nahschüssen (WIEGAND ET AL., 2003). Laut MACDONELL (2005) zeigen sich *Backspatter* selten weiter als einen Meter von der Blutungsquelle entfernt. KARGER ET AL. (1996) hingegen beschreiben Fälle, in denen *Backspatter* bis zu zwei Meter vom Einschuss entfernt zum Liegen kamen.

Für *Backspatter* aus Kopfschüssen kommen als physiologische Ursachen der in der Schmauchhöhle entstehende Gasdruck und der hohe intrakranielle Druck der vorübergehenden Wundhöhle in Betracht. Ein typisches Blutspurenbild konnte jedoch nicht abgegrenzt werden (KARGER ET AL., 1996). BEVEL UND GARDNER (2002) unterscheiden zwischen Vorwärts- und Rückschleuderspritzspuren: Die nach vorn gerichteten sind meist symmetrischer, die rückwärtigen erfahrungsgemäß nicht weiter als 1,2 m von dem Aufprall entfernt. In der Literatur sind verschiedene Distanzen bezüglich der *Backspatter* zu finden - diese sollen jedoch in der vorliegenden Arbeit nicht weiter betrachtet werden.

Schlagaderspritzspuren weisen zumeist einen gerichteten Verlauf auf. Sie ergeben in Abhängigkeit von Blutdruck und Kontaktfläche bogenförmige Muster (WIEGAND ET AL., 2003).

Durch die Aspiration von Blut kommt es zu *Ausatempuren*. Diese meist nur wenige Millimeter großen rundlichen Spuren finden sich vielfach auch am Täter (WIEGAND ET AL., 2003). Ausatemspuren können ebenfalls sehr unterschiedlich aussehen, sind aber durch ihren hohen Speichelgehalt leicht von anderen Blutspuren zu unterscheiden. Ihre Farbe ist auf Grund der Verdünnung weniger intensiv rot (BEVEL UND GARDNER, 2002) und sie enthalten eine hohe Amylaseaktivität. Luftblasen verweisen ebenfalls auf Atmungsspuren (JAMES UND ECKERT, 1999; MACDONELL, 2005).

Bluttropfen, die in den Atmungstrakt gelangten, Hochgeschwindigkeitstropfen und durch Insekten bedingte Tropfen ähneln sich in ihrer Größe. Alle weisen jedoch unterschiedliche physikalische Eigenschaften auf, was sie wiederum differenzierbar macht (JAMES ET AL., 2005).

2.2.1.2 Klassifizierung von Blutspuren

Die "Arbeitsgruppe für Blutspurenmuster-Verteilungsanalyse" der deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin gliedert Blutspuren in drei Basiskategorien, welche in dieser Arbeit ihre Anwendung finden sollen: **Passive Spuren**, **Transferspuren** und **projizierte Spuren** sowie eine Ersatzkategorie "**Verschiedenes**".

Passive Spuren: Gerinnsel, Tropfspuren, Fließspuren, Poolspuren (Lache, Pfütze), Serumseparation.

Transferspuren: Kontaktsuren, Wischspuren (primär und sekundär), Transfer durch Fliegen.

Projizierte Spuren: Arterielle Blutspuren, Schleuderspuren, Spritzspuren, ausgeatmetes Blut, Stachel-Spuren, Aussparungen und Spritzerschatten, skelettierte Spuren.

Die Begriffe dieser Einteilung entsprechen den unter 2.2.1 bereits erläuterten Bezeichnungen. Ergänzend sind Folgende zu erklären:

Fließspuren umfassen passive, auch postmortal entstehende Spuren, welche durch die Schwerkraft oder durch den Restkreislauf bedingt, aus den Verletzungen austreten und sich nahe der endgültigen Opferposition erstrecken.

Stachel-Spuren beinhalten lineare Ausziehungen in kleineren und voluminöseren Spuren als Zeichen einer zusätzlichen Kraft von geringer Energie oder Geschwindigkeit.

Spritzerschatten sind Flächenabschnitte ohne Blutauflagerungen. Ein sekundäres Objekt wurde in die Ausbildung des gesamten Blutspurenmusters mit einbezogen und anschließend entfernt. Innerhalb des Musters resultiert eine klar begrenzte, spritzerfreie Fläche, in Form des Objektes.

Der Effekt von *skelettierten Spuren* hängt in der Regel mit dem Trocknen von frisch entstandenen Blutspuren zusammen. Erfahrungsgemäß sind in Mitteleuropa, unter üblichen klimatischen Bedingungen in geschlossenen Räumen, kleinere Spuren in einer Zeit von 10 bis 20 Minuten, vom Rand ausgehend, getrocknet.

Die bereits nach wenigen Minuten nicht mehr verwischbare Randtrocknung (sog. Skelettierung) kann zum Beispiel bei Wischspuren zur Zeiteingrenzung verwendet werden.

JAMES ET AL. (2005) folgen einer mehr deskriptiven, visuellen Einteilung, welche den drei Kategorien der "Arbeitsgruppe für Blutspurenmuster-Verteilungsanalyse" ähnelt.

Eine weitere, teils umstrittene Einteilung der Blutspuren erfolgt in Abhängigkeit der Fluggeschwindigkeiten (vgl. Tab. 1). Hiernach gibt es drei Kategorien, die in der Regel anhand der Spurengröße sowie durch ihren Musteraufbau differenzierbar sind.

Tab. 1: Tropfengeschwindigkeit und Fleckendurchmesser (DUCHESNE ET AL., 2003; BEVEL UND GARDNER, 2002; ECKERT UND JAMES, 1993; KERCHEVAL, 1999)

Kategorie	Fluggeschwindigkeit	Überwiegender Fleckendurchmesser
Low Velocity Impact Spatter	1,5 m/s	< 4mm
Medium Velocity Impact Spatter	1,5 bis 7,5 m/s	1-4 mm
High Velocity Impact Spatter	≥ 35 m/s	< 1mm

MACDONELL (2005) betrachtet Blutlachen und fließendes Blut als die Ausgangsformen von Low Velocity Impact Spatter. Somit entspricht ihre verursachende Energie in etwa der Schwerkraft. Sie erscheinen unregelmäßig geformt, mit richtungweisenden Stacheln im näheren Umfeld.

Medium Velocity Impact Spatter sind typischerweise als Folge von Schlägen mit festen Gegenständen, die auf ein Blutdepot trafen, verursacht und gehören somit zu den Schlagspritzspuren (ECKERT UND JAMES 1993). Es resultieren zentral unregelmäßige, landkartenartige Spuren, die sich teils überlagern.

High Velocity Impact Spatter entstehen infolge ballistischer Einwirkungen, beispielsweise bei Explosionen und Schussverletzungen.

Das Problem ist, so CLARK (2006), dass Medium Velocity Impact Spatter und High Velocity Impact Spatter nicht immer klar anhand der Größe zu unterscheiden sind. Auch BUNKER (2001) deutet auf Doppeldeutigkeiten bei Blutropfen mit Geschwindigkeiten zwischen 1,5 m/s bis 7,6 m/s hin.

FISCHER (2001) widerspricht diesen individuellen Geschwindigkeiten und deren auslösenden Kräften. Seiner Ansicht nach ist die durchschnittliche Fleckengröße eine Funktion des Impulses ($= F/t$). Der Impuls erzeugt verschiedene Drücke und Kavitationen innerhalb des gelösten Blutvolumens. Die durchschnittliche Fleckengröße eines frei gefallenen Tropfens resultiert aus der Änderung des Drucks per Zeiteinheit ($V_{\text{durchschnitt}} = p/\Delta t$). Er rückt somit die Kraft erzeugenden Mittel ins Zentrum der Beschreibungen - dem schließen sich BEVEL UND GARDENER (2002), HULSE-SMITH ET AL. (2005) und JAMES ET AL. (2005) an.

Ein Tropfen von 50 μl - von MACDONELL als "typischer" Tropfen, von BRINKMANN ET AL. (1985) als "Makrobluttropfen" bezeichnet - und einem Durchmesser von 4,6 mm erreicht nach einer Fallhöhe von 6 m - 9 m eine maximale Endgeschwindigkeit von 8 m/s - 9 m/s. Tropfen geringerer Größe mit einem Volumen von 0,6 μl - 1,2 μl sowie einem Durchmesser von bis zu 1 mm erreichen bereits nach 50 cm - 100 cm eine maximale Endgeschwindigkeit von 2,5 m/s - 3,5 m/s (BEVEL UND GARDENER, 2002).

2.2.2 Berechnung von Blutspuren

2.2.2.1 Aufprallphasen

Bewegte Tropfen zeigen beim Auftreffen auf eine Oberfläche vier Phasen, die als Kontakt, Verlagerung, Verteilung und Retraktion bezeichnet werden. In der ersten Phase kommt der kugelförmige Tropfen in Kontakt mit der Oberfläche. Durch die Verlagerung, bei welcher der überwiegende Teil des Blutes, unter Weiterbestehen der Oberflächenspannung, eine Bewegung vom Zentrum des Tropfens weg vollzieht, können Ausläufer und Einziehungen im Grenzring entstehen, mit dem Resultat, dass z.B. ein Tropfen mit vier Millimeter Durchmesser eine Spur von acht Millimeter erzeugt. Diese Verlagerung nimmt mit der Fallhöhe zu. Die Verteilung bezeichnet die dem Bewegungsmoment entgegengesetzten Randbewegungen, es bilden sich kleine Ausläufer und Satellitentropfen. In der Retraktion zieht sich der Tropfen anschließend zusammen (BEVEL UND GARDENER, 2002).



Abb. 1: Aufprallphasen (Nach BEVEL UND GARDENER, 2002)

2.2.2.2 Aufprallwinkel

Allein anhand der geometrischen Form von Spurenbildern kann die Auftreffrichtung bzw. der Aufprallwinkel von klar konturierten und geformten Blutspuren ausgewertet werden. Bei länglichen Spuren - in der Literatur meist als Ausrufezeichen beschrieben - zeigt das punktförmige Ende, ebenso wie die einseitig vorhandenen wellenförmigen Konturen, die Fallrichtung an (MACDONELL, 2005; HULSE-SMITH ET AL. 2005).

Bei einem Aufprallwinkel von 90°, d.h. einem senkrechten Aufprall, resultieren exakt runde Blutspuren (siehe dazu Abb. 1: Aufprallphasen, S. 13). Bei 15°, d.h. fast tangentialem Aufprall, nimmt die längliche, ovale, elliptische oder kommaförmige Form zu und die Breite ab (ECKERT UND JAMES, 1993).

Der Aufprallwinkel eines Blutropfens ist definiert als spitzer Winkel zwischen der Auftreffrichtung und der getroffenen Oberfläche (MACDONELL, 2005). Die Beziehungsdefinition des Längen-Breiten-Quotienten einer Einzelspur zum Aufprallwinkel geht auf BALTHAZARD ET AL. im Jahr 1939 zurück (vgl. Abb. 2). Der Aufprallwinkel der ausgewählten Blutspur ergibt sich aus der trigonometrischen Funktion ihrer Ellipse (CHAFE, 2007):

$$\alpha = \arcsin(\text{Weite} / \text{Länge})$$

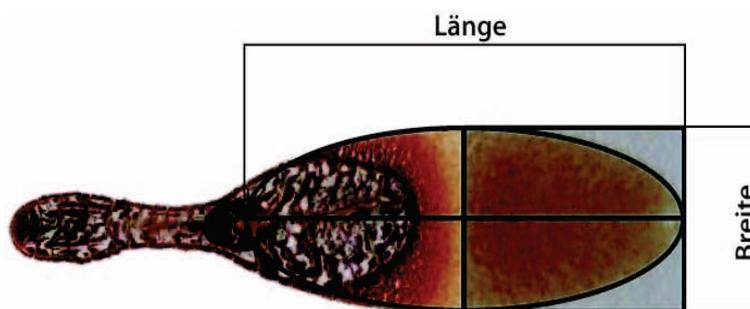


Abb. 2: Länge und Breite der Blutspurenellipse

2.2.2.3 Ellipsen

Nach BRINKMANN ET AL. (1986a) sollte für die Messung der Ellipse nicht das unklare Ende des Tropfens, sondern der Punkt, an dem das Ende der gedachten Ellipse mündet, verwendet werden. Somit werden die punkt- oder wellenförmigen Ausziehungen nicht miteinbezogen. Bei dieser Messung, ohne das spitze Ende, besteht eine konstante Beziehung zwischen dem Längen-Breiten-Quotienten und dem Winkel. Dem stimmen auch BEVEL UND GARDENER (2002) zu (siehe auch Tangentmethode, Kapitel 2.2.4.1).

Die Längenmessung erfolgte bisher mit Linealen, Mikrometern, Photographenlupen oder Zirkeln. Wenn bei den Längenmessungen ein Fehler von einem Millimeter entsteht, kann dieser bis zu einem Eintreffwinkel von unter 50° in den Berechnungen des Eintreffwinkels unerheblich sein. Bei größeren Winkeln hingegen macht sich ein kleiner Messfehler deutlich bemerkbar (BEVEL UND GARDENER, 2002). "Im Wesentlichen ergibt der umgekehrte Sinus von Breite zu Länge der Blutfleckmaße, wenn sie in Grad berechnet wurden, einen Näherungswert des Aufprallwinkels vom Blutropfen, der den überprüften Fleck mit einer Fehlermarge von $\pm 5^\circ$ zu $\pm 7^\circ$ bildete (BEVEL UND GARDENER, 2002)."

Auch ROWE (2005) kommt in seinem Artikel zu dem Schluss, dass die Formel $\text{Sin} = \text{Weite/Länge}$ ohne nennenswerten Fehler zur Berechnung des Aufprallwinkels verwendet werden kann. Zudem ergab die Studie (MCGUIRE, 2004), dass Aufprallwinkel die sich 10° nähern, kalkulierbare Ursprünge ergeben, als größere Winkel. Schlägt ein Tropfen auf eine unregelmäßige Oberfläche, so verlagert er sich ungleichmäßig und bildet eine ungleichmäßige Spur, bis hin zu Satellitenspuren, aus.

2.2.2.4 Ursprungsareal

Der Konvergenzpunkt und das Ursprungsareal können bei Aufschlagspuren bestimmt werden, die einer einzelnen umschriebenen Gewalteinwirkung zugeordnet werden können.

Bei Verlängerung der Längsachse von einzelnen gewählten Blutspuren in Richtung ihrer Bewegung werden sich diese an einer Stelle überkreuzen. Dieser Schnittpunkt repräsentiert den Konvergenzbereich, über dem das Blutungsareal lokalisiert sein muss. Ergänzt durch den Auftreffwinkel erhält man die Höhenkomponente. Für das Ursprungsareal kann darüber zumindest zwischen stehenden, liegenden und sitzenden Positionen unterschieden werden, wenn die Blutungsquelle bzw. Blutungsursache bekannt ist. Ergeben sich bei dieser Untersuchung verschiedene Konvergenzbereiche, kann dies Rückschlüsse auf Bewegungsabfolgen liefern (vgl. Abb. 3: Konvergenzpunkt und Ursprung von Blutspuren, S. 17)

2.2.3 Untergrundkomponenten

Eine korrekte Blutspureninterpretation umfasst die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit der getroffenen Fläche, da diese Auswirkungen auf die oben genannten Ablaufphasen des Auftreffens und damit auf die resultierende Form hat. Die im Blut enthaltenen Proteine sorgen nicht nur für das Einziehen des Blutes in Kleidung, Tapeten, Möbel, sondern auch für das Anhaften an diesen. Durch seine Oberflächenspannung wird ein Blutropfen beim Auftreffen auf eine glatte, harte Oberfläche, ungeachtet der Fallhöhe des Tropfens, vor dem Verspritzen bewahrt. Somit ist die Charakteristik der Konturen einer Blutspur für die Bestimmung einer Fallhöhe wertlos, wenn Kenntnisse über die Oberflächenbeschaffenheit der getroffenen Fläche fehlen (CHRISTMAN 1993; KARGER ET AL., 1998; MAC DONELL, 2005). Bei besonders flaumigen und porösen Flächen entstehen größere Flecken als bei harten, ebenen Flächen, da die Tropfen unter anderem in das Material einziehen (MESSLER ET AL., 1982).

“Während sich bei senkrechtem und schrägem Aufprall bis zu Winkeln von 20° bis 25° die gleichen Merkmale wieder finden - die Spuren sind allerdings in der Form variabler und unruhiger - gilt bei Spuren auf Stoff für den Längen-/ Breitenquotienten noch größere Zurückhaltung als bei Spuren auf Papier (...). Der forensische Sicherheitsgrad entsprechender Aussagen wird mit der Zahl analysierbarer Einzelspuren zunehmen; Wenigstens etwa zwei bis drei Einzelspuren sind als Grundlage für die Bewertung wünschenswert (BRINKMANN ET AL., 1985).”

2.2.4 Bisherige Methoden für die Blutspurenursprungsinterpretation

2.2.4.1 Tangentmethode

Mit der Tangentmethode kann die Distanz zwischen der getroffenen Fläche und dem Herkunftsbereich mathematisch ermittelt werden. Hierfür wird ein rechtwinkliges Dreieck aus der Flugbahn und dem Blutropfen erstellt. Ein Schenkel des Dreiecks verläuft an der getroffenen Fläche (z.B. einer Wand) als lange Achse der elliptischen Spur in Richtung des ungefähren Ursprungs (PACE ET AL., 2006). Die Distanz zwischen der richtungweisenden Kante von jedem, mit den notwendigen Vorkenntnissen über Blutspurenmorphologie, ausgewählten Blutropfen zum Konvergenzpunkt (Abb. 3: Strecke y) wird gemessen (CHAFE, 2007). Der zweite Schenkel steht senkrecht zur getroffenen Fläche mit dem Ursprung z.B. in der Wandebene (Abb. 3: Strecke z) (PACE ET AL., 2006). Das Verhältnis zwischen dem Auftreffwinkel und der Distanz y der jeweiligen Blutspur zum Konvergenzbereich ist eine mathematische Beziehung der trigonometrischen Funktion.

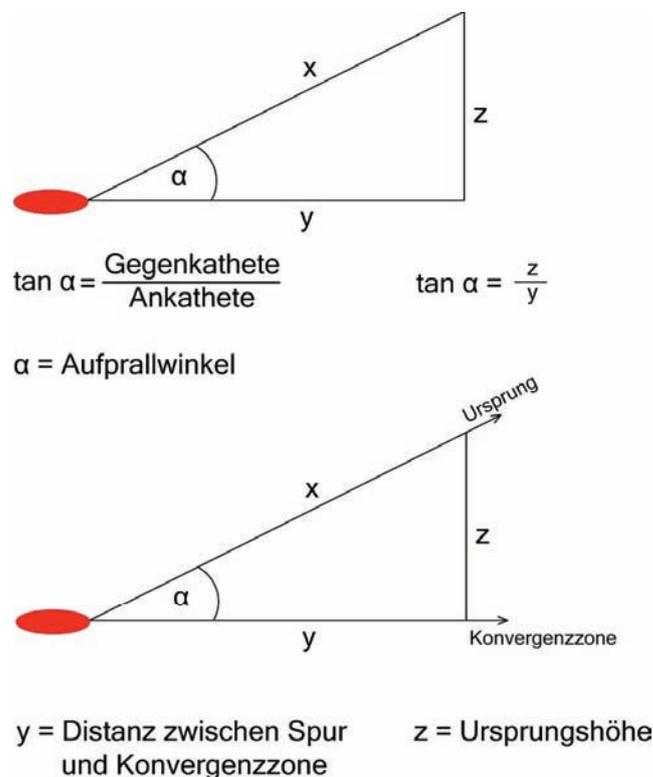


Abb. 3: Konvergenzpunkt und Ursprung von Blutspuren

Das Produkt von $\tan \alpha$ (Gegenkathete/Ankathete) multipliziert mit der Distanz y ergibt die Distanz vom Konvergenz- zum Herkunftsbereich im Raum (CHAFE, 2007). Dieser Prozess wird für alle selektierten Blutropfen wiederholt, vorausgesetzt, sie verweisen auf einen allgemeinen Ursprung. Bei dieser Methode wird die Flugbahn der Tropfen als gerade Linie behandelt und im 2D-Raum ermittelt, wie bei GRIFFIN UND ANDERSEN (1993) sowie BEVEL UND GARDNER (1997) beschrieben.

2.2.4.2. Stringingmethode

Für die Stringingmethode werden vom richtungweisenden Rand der Blutspur Schnüre, dem Aufprall- (alpha) und Blickwinkel (gamma) entsprechend, gespannt. Durch den parallelen Verlauf zur Längsachse der gewählten Spur wird der Konvergenzpunkt am Boden ermittelt und durch die Befestigung an einer Stange, in Abhängigkeit vom Auftreffwinkel, deren Flugbahn visualisiert (vgl. Abb. 4). Die Flugbahn wird als gerade Linie behandelt. Der Konvergenzpunkt der verschiedenen Schnüre soll dem Ursprung der Blutung entsprechen. Es können zwar Bereiche, jedoch keine Ursprungspunkte ermittelt werden (MACDONELL, 2005; PACE ET AL., 2006).

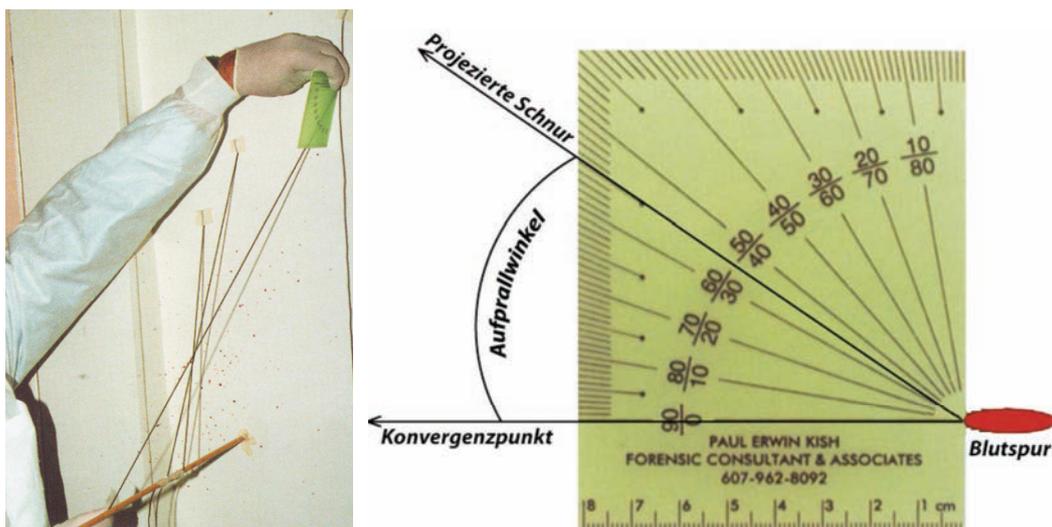


Abb. 4: Stringing (Nach JAMES ET AL., 2005)

2.2.4.3 EDV-basierte Analyseverfahren

Des Weiteren existieren verschiedene EDV-basierte Analyseverfahren zur Dokumentation und Rekonstruktion über Computerprogramme. Die Software soll die Richtung, Gravitation, Position des Blutes, Flugbahn, Fließgeschwindigkeit und Größe berücksichtigen bzw. ermitteln, um die Blutquelle zu eruieren. Allerdings beschränkt sich ihre Anwendung im Wesentlichen auf experimentelle oder Laborverfahren. Dazu zählen v.a. BackTrack® und Tracks®, deren Weiterentwicklung Backtrack/Strings® oder No more Strings®. Alle bisherigen Programme setzen ein Grundverständnis vom Verhalten der Blutropfen voraus und stellen die Flugbahnen in geraden Linien dar (mit Ausnahme von: BackTrack®, hier: Parabeln) und vernachlässigen den Einfluss von Luftwiderstand und Erdanziehungskraft. Sie geben keine absolute Flugbahn an, sondern grenzen den möglichen Bewegungsraum ein (BEVEL UND GARDENER, 2002). Im Vergleich von GARDENER (1995) weichen sowohl Backtrack/Strings® als auch No more Strings® um 20 cm vom eigentlichen Ursprungsbereich ab. Keines dieser Programme findet bisher Anwendung in Routineuntersuchungen (GARDENER, 1995; CARTER, 2001; CARTER, 2005a; PACE ET AL., 2006).

2.2.5 Dokumentation von Blutspuren

Schon ZIEMKE schrieb 1914 „In jedem Falle hat die Aufbewahrung der Blutspuren mit aller erdenklichen Genauigkeit und Sorgfalt und ihre Untersuchung so erschöpfend wie möglich zu geschehen, da sich im Augenblick der Untersuchung nicht immer voraussehen lässt, welche Bedeutung sie im weiteren Verlauf für die Beurteilung eines Kriminalfalles gewinnen werden.“

Heute werden, bei guter Ausleuchtung und mit einem Maßstab versehen, von komplexen Blutspurenmustern sowohl Übersichts- als auch Detailaufnahmen mit der Fotokamera gefertigt. Vorausgesetzt wird, dass jeder Detailaufnahme eine exakte Position in der Übersicht zuzuordnen ist und die Aufnahme senkrecht zur spurtragenden Oberfläche sowie mit einem 50 mm Objektiv getätigt wird, um Verzerrungen zu reduzieren (WOLSON, 1995).

2.3 Programmbeschreibung

Die Tatsache, dass Blutspritzer den Naturgesetzen unterliegen, macht sie für uns relativ berechenbar. Allerdings befinden sich die Methoden hierfür noch immer in der Entwicklung. Insbesondere die Automatisierung über Computersoftware wird mit Interesse verfolgt. In diesem Kapitel wird die für die vorliegende Doktorarbeit verwendete Methodik und Auswertesoftware kurz vorgestellt.

2.3.1 Photogrammetrie

KRAUS (1994) bezeichnet die Photogrammetrie als ein metrisches Verfahren, mit dem beliebige Objekte, anhand von Fotografien, zwei- oder dreidimensional vermessen werden können. So könne indirekt die Lage wie auch die Form von Objekten aus Fotografien rekonstruiert werden.

Der Name Photogrammetrie, auch Bildmessung, wurde von dem deutschen Architekten Albrecht Meydenbauer 1858 geprägt und soll als Abkürzung von Fotografometrie entstanden sein. Die zu Grunde liegende Theorie der Photogrammetrie wurde Mitte des 19. Jahrhunderts in Frankreich und Preußen parallel zur aufkommenden Fotografie entwickelt. Der französische Offizier Aimé Laussedat veröffentlichte 1851 seine Schrift Métrophotografie, Albrecht Meydenbauer publizierte 1858 sein photogrammetrisches Verfahren zur Gebäudevermessung und gab der Photogrammetrie ihren Namen (LUHMANN, 2000).

Nach LINDNER (2004) besteht die Kernaufgabe der Photogrammetrie darin, den Strahlengang zum Zeitpunkt der Aufnahme der Bilder zu rekonstruieren. Dies wurde ursprünglich auf rein optische Weise gelöst, später entstanden komplizierte und kostspielige Geräte, die nur von Fachleuten - sog. Photogrammetriepersonal - nach langjähriger Erfahrung mit dem gewünschten Erfolg zu bedienen waren. Diese Phase, später analoge Photogrammetrie genannt, dauerte bis weit in die 80er Jahre des letzten Jahrhunderts an. Mit der zunehmenden Verfügbarkeit von großformatigen Photoscannern für Luftbilder bzw. Video- und Digitalkameras für Nahbereichsaufnahmen wurden die analogen Methoden der Photogrammetrie in vielen Bereichen durch digitale Auswerteverfahren ersetzt (LUHMANN, 2000).

Als eines der ersten dreidimensionalen Verfahren zur Dokumentation in der Rechtsmedizin wurde die Photogrammetrie 1997 von BRÜSCHWEILER ET AL. formuliert. Mittels photogrammetrisch ermittelter Punkte auf der Leichenoberfläche kann demnach die computergestützte Auswertung einer Verletzung erfolgen. Die digital im Computer vorhandenen Daten stehen anschließend einer Vielzahl von Weiterverarbeitungsmöglichkeiten zur Verfügung. So können Zuordnungen von Wunden zu Tatwerkzeugen oder von Hautabdrücken zu Fahrzeugreifen vorgenommen werden, ohne die jeweilige Verletzung bzw. den entsprechenden Gegenstand tatsächlich berühren zu müssen und dabei möglicherweise zu manipulieren.

Im Allgemeinen wird unter Photogrammetrie eine Methode verstanden, die es ermöglicht, über Messungen in Bildern eines Objektes indirekt dessen Form und Lage sowie dessen inhaltliche Beschreibung durch Interpretation der Bilder zu erhalten. Ziel ist es, eine exakte dreidimensionale geometrische Rekonstruktion eines Objektes zu erstellen, wobei es in digitaler (z.B. Koordinaten) oder grafischer Form (Bilder, Pläne, usw.) modelliert wird (LUHMANN, 2000). Des Weiteren dient ein solches Bild der Archivierung von Informationen, auf die beliebig, zeitlich flexibel, auch für inhaltliche Interpretationen, zurückgegriffen werden kann.

Der Photogrammetrie liegt das mathematische Modell der zentralperspektiven Abbildung zu Grunde. Über die Rekonstruktion von Strahlenbündeln werden Lage und Form von Objekten ermittelt.

Jeder Bildpunkt P' (siehe Abb. 5, S. 22) legt dabei gemeinsam mit dem Projektionszentrum O eine Raumrichtung des entsprechenden Strahls zum Objekt P fest. Jeder Bildstrahl kann im dreidimensionalen Raum absolut beschrieben werden, wenn die reale Abbildgeometrie in der Kamera (innere Orientierung) und die Lage der Kamera im Raum (äußere Orientierung) bekannt sind. Ein Objekt P lässt sich aus dem Schnitt von mindestens zwei homologen, räumlich verschiedenen Bildstrahlen dreidimensional bestimmen.

Über Kalibrierung wird die innere Orientierung für jedes Aufnahmesystem individuell ermittelt und im Kalibrierungszertifikat vom Hersteller festgehalten. Die äußere Orientierung wird indirekt durch Bildmessungen bekannter Objektpunkte bestimmt. Dabei stellt der Bildmaßstab für jede photogrammetrische Abbildung eine wesentliche Kenngröße dar (LUHMANN, 2000).

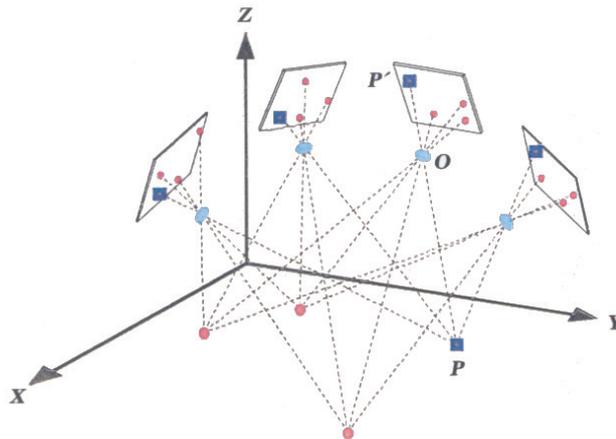


Abb. 5: Photogrammetrisches Messprinzip (AICON: <http://www.aicon.de/Fotogrammetrie>, am 02.05.2007)

Somit entspricht jeder gemessene Bildpunkt P' einer räumlichen Richtungsmessung vom Projektionszentrum O zum Objektpunkt P . Die Länge des Richtungstrahles ist zunächst unbekannt, d.h. jeder auf dem Strahl liegende Objektpunkt P führt zu dem selben Bildpunkt P' . Erst wenn der Bildstrahl mit einem weiteren bekannten geometrischen Element ergänzt wird - z.B. einer weiteren Raumgeraden oder einer Objektebene - lässt sich der Objektpunkt auf dem Strahl und damit absolut im Raum festlegen.

Jedes beteiligte Bild spannt über die in ihm gemessenen Bildpunkte P' gemeinsam mit dem zugehörigen Projektionszentrum O ein räumliches Strahlenbündel auf, das zu ein und demselben Zeitpunkt aufgenommen wurde. Verknüpft man sämtliche, durch mehrere Bilder entstandenen Strahlenbündel über die oben genannte Strahlenschnittbedingung, so entsteht ein dichtes Netz aus Raumstrahlen, das bei geeigneter Aufnahmeconfiguration eine hohe geometrische Stabilität aufweist. Mit Hilfe der Bündeltriangulation (Erläuterung siehe Anhang, S. 87) lassen sich gleichzeitig beliebig viele Strahlenbündel rechnerisch orientieren sowie die zugehörigen Objektpunkte räumlich bestimmen (LUHMANN, 2000).

Die Hauptanwendung dieser Technik liegt bisher in der Herstellung topografischer Karten, prinzipiell lässt sie sich jedoch auch zur Vermessung kleinerer Strukturen verwenden. So findet die photogrammetrische Vermessung zunehmend Eingang in die kriminalpolizeilichen und rechtsmedizinischen Fragestellungen. Auch andere Disziplinen der Medizin bedienen sich der Photogrammetrie und ihrer Weiterentwicklung, z.B. bei Vermessung von Prothesen, Skelettfehlstellungen und in der plastischen Chirurgie (SURWALD, 2000).

Die Nahbereichsphotogrammetrie befasst sich mit Objekten in einem Größenbereich von wenigen Zentimetern bis zu rund 100 Metern. Es können beliebige Aufnahmepositionen im Nahbereich verwendet werden, die entstehen, wenn man ein Objekt mit einer Handkamera aus mehreren Richtungen fotografiert. Durch diese Mehrbildaufnahmen können die Objektkoordinaten mittels Bündeltriangulation bestimmt werden. Nach LUHMANN (2000) könne so, bei einer Anzahl von mindestens drei bis vier Bildern pro Objektpunkt, eine in allen Koordinatenrichtungen gleiche Objektgenauigkeit erreicht werden.

2.3.2 Photogrammetrische Auswertesoftware

Wie in Kapitel 2.3.1 angedeutet, geht der Trend innerhalb der Photogrammetrie zur automatisierten, rechnergestützten Verarbeitung. Für die digitale Nahbereichsphotogrammetrie ergibt sich somit eine digitale Prozesskette, die im Folgenden kurz geschildert wird. Die aufgenommenen Bilder werden zunächst der Vorbereitung und Orientierung unterzogen:

- Import der digitalen Bilder von der Digitalkamera
- Kalibrierung der Digitalkamera
- Bestimmung der inneren Orientierung bei Bildern von Filmkameras
- Bestimmung der äußeren Orientierung, entweder direkt über Passpunktmessung (sog. räumlicher Rückwärtsschnitt) oder indirekt über Bildkoordinatenmessung (manuell oder automatisch) und anschließend Bündeltriangulation (LINDNER, 2004).

Anschließend kann die Auswertung auf unterschiedlichen Wegen erfolgen:

- Einzelpunktbestimmung, mit dem Ziel, die dreidimensionalen Objektkoordinaten für die numerische Weiterverarbeitung zu erhalten
- Grafische Auswertung, mit dem Ziel, maßstabsgetreue Pläne und Karten zu erhalten; In analoger Form (z.B. auf Zeichenträgern) oder digital (z.B. CAD-Modell)
- Bildentzerrungen zur Herstellung von Umbildungen und Montagen auf ein Bezugssystem der entzerrten Originalbilder, d.h. Fotografien von nahezu ebenen Objekten, z.B. Gebäudefassaden, werden so auf eine Fläche projiziert, dass die Abstände im Bild über einen einfachen Maßstab in metrische Längen und Abstände umgerechnet werden können (LUHMANN, 2000).

Die digitale Prozesskette ermöglicht einen geschlossenen und zügigen Datenfluss von der Aufnahme der digitalen Bilder bis zur Ergebnispräsentation, so dass Messergebnisse über das Objekt direkt vor Ort gewonnen werden können.

3. Versuch 1

3.1 Material und Methoden

Um die Evaluation der computergestützten Blutspurenanalyse über CAD - Bearbeitung photogrammetrisch erhobener Daten zu ermöglichen, wurden drei Versuche durchgeführt. Diese sollen im Folgenden einzeln beschrieben werden, um sie abschließend gemeinsam zu diskutieren.

Alle drei Versuche wurden in einer Duschkabine des Landeskriminalamtes (LKA) 38 Hamburg in Zusammenarbeit mit dem Institut für Rechtsmedizin Hamburg bei einer Raumtemperatur von 23°C durchgeführt.

3.1.1 Material Versuch 1

Im ersten Versuch wurden, neben einer abgelaufenen Blutkonserve von der Blutbank des Uniklinikums Hamburg Eppendorf und der Digitalkamera KODAK DCS proSLRn mit ihrem Autofokus-Weitwinkel Objektiv AF NIKKOR 14 mm 1:2,8D und Autofokus-Makroobjektiv AF MICRO NIKKOR 60 mm 1:2,8D, die folgenden Materialien eingesetzt:

Ein metallener Beistelltisch mit 51,5 cm Tiefe, 51,5 cm Breite und 72,7 cm Höhe, eine 4 x 4 cm messende Plastikschale mit einem 1 cm hohen Rand, ein Schlinggazetupfer (Pflaumentupfer; 20 cm x 20cm VW 20 DIN 61630 BW), eine 20 ml fassende Einwegspritze, ein 1 kg schwerer Hammer, ein weißes DinA3 Papier, acht große und kleine selbstklebende, durchnummerierte Bezugspunkte.

Für die Weiterverarbeitung der Aufnahmen wurde die Software CDW (Close Range Digital Workstation) sowie MSR (Metric Single image Rectification) von *ROLLEIMETRIC* genutzt und zur grafischen Darstellung *MICROSTATION V8*.

3.1.2 Versuchsaufbau Versuch 1

Die für den Versuch verwendete Duschkabine hatte eine Ausdehnung von 1,82 m Länge x 0,94 m Breite x 2,53 m Höhe. Auf einer Seite befand sich eine Plexiglastür, auf der anderen eine Plexiglaswand. Die zwei weiteren Wände und der Boden der Duschkabine waren gefliest (vgl. Anhang, S. 74ff). In einem Abstand von 84 cm zur linken, in den Raum hinein reichenden Plexiglaswand und von 48 cm zur rechten Kachelwand wurde der Tisch positioniert. Von der den Wasserhahn tragenden Kachelwand bis zum Blutupfer, jeweils im Winkel von 90°, lag eine Strecke von 40 cm. Zwischen der zweiten Kachelwand und dem Tupfer lagen 106 cm. An der dem Tisch gegenüberliegenden Plexiglastür, die eine Breite von 0,70 m hatte, wurde das weiße DinA3 Papier, im Abstand von 1,12 m zum Boden, hochkant mit Klebestreifen angeheftet. Die Duschkabine wurde vor und nach dem Verspritzen des Blutes mit Wasser und Schwämmen gereinigt und dem Trocknen durch die Raumtemperatur überlassen.

Auf dem Beistelltisch wurde die Plastikschaale mittig platziert - im Abstand zu den Kachelwänden wie oben angegeben - und mit einem Schlinggazetupfer versehen. Über die Einwegspritze wurde der Tupfer mit 20 ml Blut getränkt und zum Verspritzen des Blutes einmalig mit dem Hammer auf den blutgetränkten Schlinggazetupfer geschlagen.

Für die Markierungen der gelegten Blutspuren wurden acht große - für die Orientierung im Tatortbereich - und kleine - für die Orientierung der einzelnen Spur - selbstklebende, durchnummerierte Bezugspunkte verwendet. Hierbei diente die optische Untergliederung in vier abwechselnde, gelb-schwarze Sektoren, der bestmöglichen Mittelpunkterkennbarkeit des einzelnen Markierungspunktes.

3.1.3 Auswahl der Spuren Versuch 1

Die Blutspuren verteilten sich über drei Wände, die Decke und den Boden. Die Wand hinter der versuchsausführenden Person blieb durch deren Verdeckung weitgehend unbefleckt.

Bei der Auswahl der für die später folgenden Berechnung geeigneten Bereiche und Tropfen wurden die am Boden befindlichen ausgeschlossen. Frühere Versuche haben gezeigt, dass sich Spritzer unterhalb des Ausgangsortes nicht für Flugbahnberechnungen eignen (PACE ET AL., 2005). Auch fanden Rückspritzspuren am Körper der versuchsausführenden Person keine Verwendung.

Größtenteils wurden Spuren gewählt, welche in ihrer elliptischen Form der bekannten Bewegungsrichtung entsprachen und deren Ränder klar konturiert waren. Für die Überprüfung der Anwendbarkeit wurden auch Spuren gewählt, welche weniger eindeutig waren. Um Beeinflussungen durch die Untergrundbeschaffenheit der getroffenen Fläche im Versuch aufzudecken, wurden sowohl Spuren von den Plexiglaswänden, von dem DinA3 Papier als auch von den Kacheln betrachtet. Länglich elliptische Spuren mit punkt- bis fingerförmigen Ausziehungen wurden ebenso wie runde Spuren fotografiert. Ausschlusskriterien bezüglich der Größe der Tropfen fanden in diesem Versuch keine Anwendung. In diesem ersten Versuch wurden acht Spurenbereiche ausgewählt.

Die photogrammetrischen Aufnahmen derselben Blutspuren, 3 Wochen später, ließen keinen morphologischen Unterschied erkennen und wurden auf Grund dessen nicht erneut beschrieben.

3.1.4 Photogrammetrische Messung Versuch 1

Die Fotodokumentation wurde zweizeitig mit der KODAK DCS proSLRn Digitalkamera am *ROLLEIMETRIC*-System ausgerichtet durchgeführt.

Für eine erfolgreiche photogrammetrische Messung wurden zunächst Übersichtsaufnahmen zur räumlichen Orientierung, gefolgt von Makroaufnahmen der acht ausgewählten Spurenbereiche und ihren einzelnen Blutspuren, angefertigt. Die Blutspritzer waren jeweils mit mindestens vier Detailmarkierungspunkten und Punkten für das Koordinatensystem sowie der Maßstabinformation versehen. Bei diesen vermessungstechnischen Aufnahmen war es wichtig, die Örtlichkeit aus verschiedenen Standpunkten und unterschiedlichen Blickrichtungen zu fotografieren. Jede relevante Tatsache sollte auf mindestens zwei Bildern aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu sehen sein. Zudem wurden photogrammetrische Höhenaufnahmen angefertigt. Die höchste Aufnahme lag im ersten Versuch bei 2 m und die niedrigste in 75 cm Höhe. Durch diese unterschiedlichen Aufnahme-standorte ergaben sich schließlich leicht unterschiedliche Bilder.

3.1.5 Auswertung der Daten Versuch 1

Insgesamt wurden 31 Übersichts- sowie 18 Makroaufnahmen angefertigt und im jpg-Format auf dem Computer (PC) im LKA 38 mit einem Datenvolumen von 1,8 GB gespeichert. Für die Auswertung wurden 18 Bilder orientiert und zur Weiterverarbeitung mit CDW in bmp-Formate umgewandelt.

Der Zeitaufwand für die einmalige Aufnahme der Bilder lag bei ca. 35 min, inklusive Auswählen und Markieren bei 55 min. Ergänzend zu der photogrammetrischen Aufnahme wurde eine Grundrisskizze angefertigt, die gemessenen Strecken darin eingetragen und die wichtigsten Gegebenheiten skizziert. Für die Berechnung des Bildverbandes und das Orientieren mit CDW benötigte die geschulte Fototechnikerin im LKA 38 rund zwei Arbeitstage.

Das Programm CDW ist eine digitale photogrammetrische Mehrbildauswertesoftware. Es verarbeitet digitale sowie analoge Bilddaten und dient der Bilderberechnung und Orientierung mittels Bündeltriangulation. Es sortiert die Messbilder zunächst nach Kamerastandorten und Aufnahmerichtungen. Der entstandene Bildverband wird dann in ein zuvor frei gewähltes Koordinatensystem eingepasst. Durch diese Messbildersortierung wird jeder Objektpunkt des Versuches genau ermittelbar und kann in tatsächliche Größen umgerechnet werden.

Das Ergebnis besteht aus einem Fenster, auf dem Zahlen derart angeordnet sind, dass sie die Lage der Blutropfen beschreiben und darüber in den Bildern dreidimensional gemessen werden kann.

Über das Zusatzmodul MSR wurden die deutlichsten Makroaufnahmen der Blutspuren entzerrt, d.h. in eine Ebene projiziert.

Die Umwandlung von perspektivischen Aufnahmen in eine Parallelprojektion - entsprechend einer maßstabgetreuen Entzerrung - erfolgt mit Hilfe von bekannten Objektinformationen, z.B. Passpunkten oder Streckennetzen.

Die Genauigkeit der Entzerrung ist abhängig von der Ebenheit des aufgezeichneten Objektes, der Ebenheit des Aufnahmemediums (z.B. Film bzw. Vergrößerung) und dem Aufnahmewinkel zum Objekt. Dabei hat der Aufnahmewinkel zwischen Bild- und Objektebene nicht nur einen Einfluss auf die Sichtbarkeit des Objektes, sondern auch auf die Zuordnung der Objektinformationen. Die optische Übertragungsfunktion des Aufnahmesystems, die Korrektur der Verzeichnung und die Auflösung des digitalen Bildes - mit steigender Bildauflösung ist eine höhere Entzerrgenauigkeit zu erwarten, da eine genauere Zuordnung von Bild- und Objektkoordinaten gegeben ist - beeinflussen die Genauigkeit ebenfalls (HANDBUCH ROLLEIMETRIC; LUHMANN, 2000).

Die auf den Makroaufnahmen dokumentierten und durch MSR entzerrten Blutropfen wurden in dem Programm *PHOTOSHOP CS2* geöffnet und darin ihre Ellipsen eingezeichnet. Hierbei konnte das jeweilige "spitze" Ende auf das "runde" Ende symmetrisch übertragen werden, um bei der Bestimmung der breitesten und längsten Stelle höchstmögliche Genauigkeit zu erzielen.

Die Ellipsenkonstruktion sowie die Aufprallwinkelberechnung entsprach der trigonometrischen Funktion: $\alpha = \arcsin(\text{Weite} / \text{Länge})$.

Im dxf-Format wurden die Daten zur CAD-Bearbeitung in das Programm *MICROSTATIONV8* geladen, deren resultierende räumliche Darstellung eine Drehung und Anpassung der Blutspuren ermöglichte. Prinzipiell ähnelt das Konstruieren mit CAD-Systemen der klassischen Arbeit am Zeichenbrett.

Über die Berechnung des Aufprallwinkels der einzelnen Blutspurenellipse wurde die Abgrenzung ihrer Ursprungsrichtung möglich und im Zusammenhang mit den weiteren Flugbahnen ihr Schnittpunkt als vertretbarer Standort der Blutungsquelle definiert. In der CAD-Darstellung der Flugbahnen wurden die möglichen Quellenpositionen im Raum verbildlicht.

Die auf diesem Wege erhaltenen Ursprungspunkte und Flugbahnen wurden sodann - wie auch in den übrigen Versuchen - der subjektiven Beurteilung der einzelnen Spur unterzogen und mit den Makroaufnahmen der einzelnen Spuren sowie den Angaben aus der Literatur verglichen. Es wurden Betrachtungen der getroffenen Fläche, einer bestimmten Anordnung im Raum, der einwirkenden Kraft, den Trocknungsprozessen und der Form der einzelnen Spur im Vergleich zur Flugbahn getätigt. Abschließend wurde die angewandte Methode auf ihre Anwendbarkeit und Genauigkeit hin geprüft.

3.2 Ergebnisse des ersten Versuches

Das **primäre Ergebnis** umfasste die verspritzten Blutspuren, von denen acht Bereiche für die Auswertung gewählt wurden.

Das makroskopische Bild (vgl. Abb. 19a/b im Anhang, S. 75f) der Spuren 2 bis 6 und 8 wiesen eine länglich, ovale Form auf. Fingerförmige Ausziehungen hatten die Spuren der Bereiche 3, 4.2, 6.1, 7.2 und 8, während die Spuren 2, 4.1 und 5 eher punktförmige Enden zeigten. Von runder bis ovaler Gestalt waren die Spuren 1, 7.1 und 7.3.

Die Ellipsenkonstruktion und somit auch die Längen- und Breitenmessung der Spuren in diesem Versuch waren relativ eindeutig und ergaben einen durchschnittlichen Auftreffwinkel von 26° . Ein Winkel dieser Größe erzeugt tendenziell längliche, ovale Spuren mit fingerförmigen Ausziehungen - derart wie sie auch in diesem Versuch vorrangig geformt waren. Ihre durchschnittliche Länge lag bei 5,3 mm und ihre Breite bei 2,3 mm.

Die größte Ellipse zeigte Spur Nummer 6.2. Sie war gemäß ihrem Auftreffwinkel von 18° eher länglich, oval geformt mit einer fingerförmigen Ausziehung. Die kleinste Spur war Nummer 2.2. Sie traf in einem Winkel von 27° auf und war von ovaler Form mit punktförmigem Ende.

Über die den Wasserhahn tragende Kachelwand verteilten sich die Spuren 1 bis 4 und 8. Die Plexiglastür wurde von Spur 6 getroffen und die angrenzende Kachelwand von der Spur 5 befleckt. Die Decke traf Spur 7, im Winkel zwischen den beiden Kachelwänden. Die Spuren, welche auf dem DinA3-Papier landeten, unterschieden sich in ihrem makroskopischen Bild nicht von denen auf der Kachelwand oder den auf dem Plexiglas liegenden Spuren.

Die CAD-Darstellung der 20 Blutspurenflugbahnen und ihrem Ursprung stellt das **sekundäre Ergebnis** dieses Versuches dar. Allgemein verwies diese Konstruktion nicht auf einen gemeinsamen Ursprungspunkt, sondern vielmehr auf einen Ursprungsbereich. Die Fluglinien der Blutspuren mündeten nicht direkt in die blutgefüllte Schale, sondern etwas erhöht und versetzt über den Tisch verteilt.

Die Abbildungen 6 bis 9 (vgl. S. 32f) bilden beispielhaft die Draufsicht, die Ansicht von der Plexiglastür (Frontansicht) und der Plexiglaswandseite (Seitenansicht) sowie die perspektivische Sicht der CAD-Darstellung des ersten Versuches ab.

In der Draufsicht zeigen die farbigen Linien - welche die Blutropfenflugbahnen widerspiegeln - der Spurenbereiche 4 (rot), 5 (grün) und 6 (lila/blau/grau) einen Ursprung neben dem Tisch. In der Seitenansicht, ausgehend von der Plexiglastür, scheinen die Spurenbereiche Nummer 4 (rot), 5 (grün) und 6 (lila/blau/grau) der Decke zu entspringen. Die Spurenbereiche 2 (grau/blau) und 3 (gelb) wiederum zielen auf den Tisch, treffen jedoch einen Bereich neben der Tischkante in Richtung der Plexiglaswand. Alle übrigen der insgesamt 20 Blutspurenfluglinien münden auf der Tischebene.

Ausgehend von der Plexiglaswand-Seitenansicht zeigt sich ebenfalls ein Ursprung der Spuren 4 (rot), 5 (grün) und 6 (lila/blau/grau) an der Decke. In der Seitenansicht münden alle Linien - bis auf den Spurenbereich 1 (grau), der horizontal über die Tischebene verläuft - in der Wolke über dem Tisch, wobei einzig die Spur 8 (rot) von allen Ansichten ausgehend den Tisch schneidet.

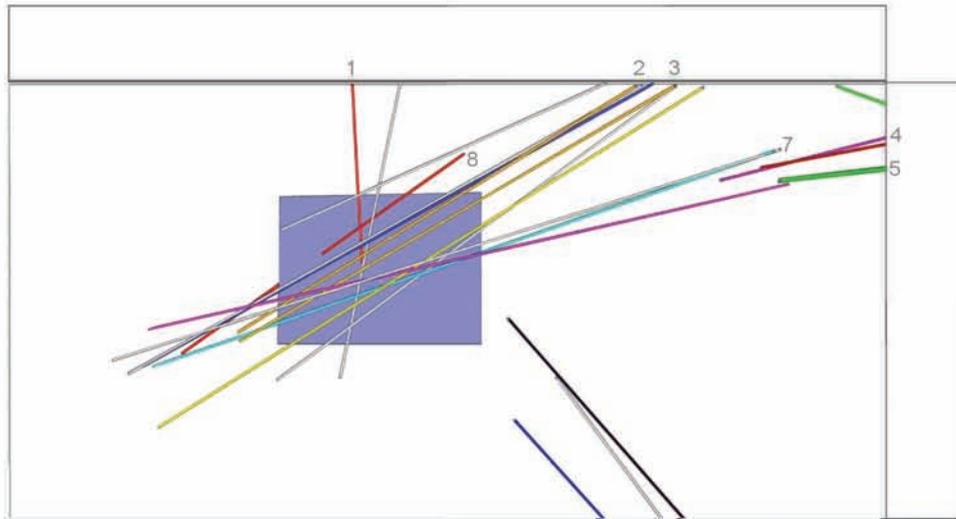


Abb. 6: CAD-Darstellung Versuch 1 Draufsicht

Legende: 1 - 8 = Blutspurenbereiche, farbige Linien = Blutropfenflugbahnen,
Tisch = rechteckige Fläche

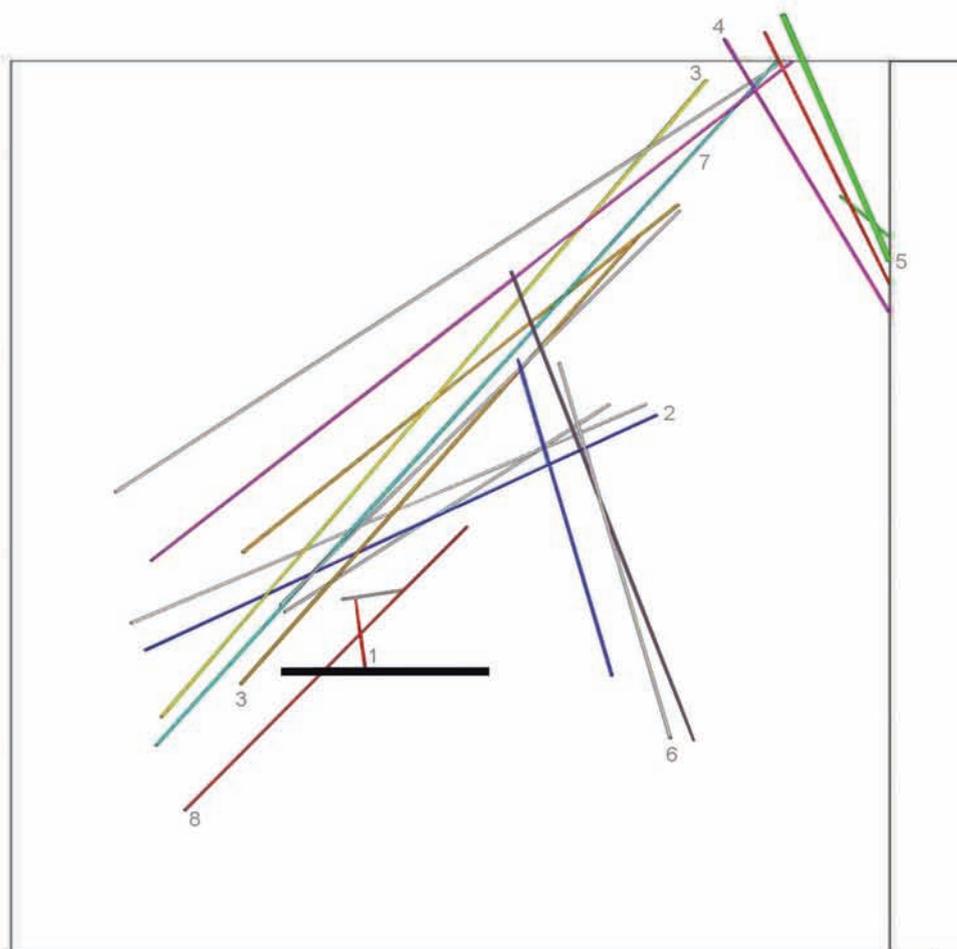


Abb. 7: CAD-Darstellung Versuch 1 Frontansicht

Legende: 1 - 8 = Blutspurenbereiche, farbige Linien = Blutropfenflugbahnen,
Tisch = rechteckige Fläche

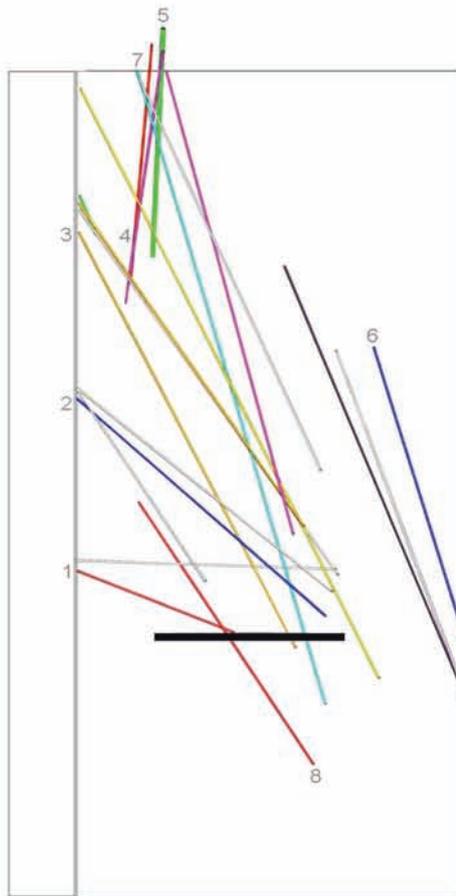


Abb. 8: CAD-Darstellung Versuch 1 Seitenansicht

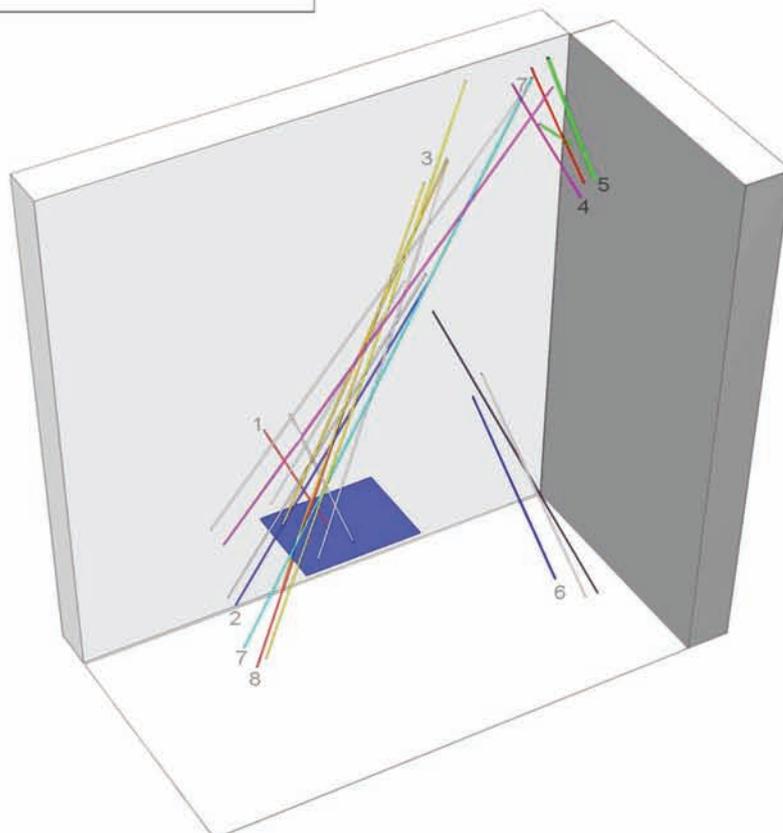


Abb. 9: CAD-Darstellung Versuch 1 Perspektive

Legende: 1 - 8 = Blutspurenbereiche, farbige Linien = Blutropfenflugbahnen,
Tisch = rechteckige Fläche

Den Vergleich zwischen dem makroskopischen Bild der einzelnen Spur und ihrem Verlauf in der CAD-Konstruktion beschreibt die folgende Tabelle 2. Sie zeigt, dass der vom makroskopischen Bild vermutete Verlauf der Spurenflugbahnen mit dem über den Winkel berechneten CAD-Vektoren in Einklang zu bringen ist.

Tab. 2: Vergleich von makroskopischem Blutspurenbild und CAD- Linienverlauf, Aufprallwinkel sowie Position Versuch 1

Spur	Position	Makroaufnahme (Ellipse)	Aufprallwinkel	CAD (Linie)
1	Kachelwand, eine Kachel unter Wasserhahn	rund	69° 71°	Horizontal über Ursprung hinweg
2	Kachelwand, zweite Kachel re, zwei Reihen über Wasserhahn	nach rechts aufsteigend	21° 27° 26°	Ursprungsbereich, schneiden Tisch
3	Kachelwand, zweite Kachel re, fünf Reihen über Wasserhahn	von links nach rechts aufsteigend	20° 22° 24°	Ursprungsbereich
4	Kachelwand, fünfte Kachel re, sechs Reihen über Wasserhahn	absteigend	16° 20°	Ursprungsbereich, schneiden Tisch an äußerer Plexiglaswand zugewandten Kante
5	Kachelwand elfte Kachel vom Boden, sechste von der Plexiglastür	absteigend	20° 21° 25°	Zur Decke aufsteigend, Ursprung an Raumdecke nahe Spur 7
6	Plexiglastür, unterer Rand hochkant DinA3 Papiers	absteigend	14° 18° 17°	Zur Decke aufsteigend, Ursprung über dem Tisch
7	Raumdecke im Winkel der Kachelwände	zur Ecke des Raumes	42° 51° 19°	Ursprungsbereich, schneiden Tisch an äußerer Plexiglaswand zugewandten Kante
8	Wasserhahnknäuf	nach rechts aufsteigend	23°	Schalenursprung

Legende: li = links, re = rechts, rund= kreisförmig, oval = elliptisch

3.3 Diskussion des ersten Versuches

Die über CAD-Zeichnungen erhaltenen Ursprünge und Flugbahnen der Blutropfen werden im Folgenden der subjektiven Beurteilung unterzogen und mit den Angaben aus der Literatur verglichen. Zur Darstellung kommen Betrachtungen bezüglich der Trocknungsprozesse, der Form der einzelnen Spuren, der getroffenen Fläche und einer bestimmten Anordnung im Raum sowie Vergleiche bezüglich der Flugbahnen.

Erfahrungsgemäß sind in Mitteleuropa, unter üblichen klimatischen Bedingungen in geschlossenen Räumen, kleinere Spuren in einer Zeit von 10 bis 20 Minuten, vom Rand ausgehend, getrocknet. Die erneute Aufnahme der Blutspuren des ersten Versuches nach wenigen Wochen ergab keine morphologischen Unterschiede. Die Schlussfolgerung, dass Veränderungen durch Trocknungsprozesse in einer Zeitspanne von 31 Tagen keinen Einfluss auf die Gestalt der Spur haben, rechtfertigt den Verzicht auf eine erneute Auswertung dieser Spuren.

Die Ellipsenkonstruktion der Spuren im ersten Versuch war eindeutig und klar abzugrenzen. Wie bereits einleitend geschildert, wurde stets die Idealellipse zur Auftreffwinkelberechnung verwendet und fingerförmige oder andere Ausziehungen nicht mit einbezogen.

Im ersten Versuch zeigen die Spurenbereiche 4, 5 und 6 gegenüber den restlichen Spuren deutlich abweichende Resultate in den CAD-Zeichnungen (vgl. Abb. 6 bis 9, S. 32f). Beide Spuren verweisen auf einen Ursprung an der Raumdecke. Es ist denkbar, dass sich dort der Scheitelpunkt ihrer parabelförmigen Flugbahn befand, auf deren allgemeines Vorkommen schon FISCHER (2001), SELLIER UND KNEUBUEHL (2001), CARTER ET AL. (2005) und PACE (2005) verwiesen.

Während des Aufpralls befanden sie sich vermutlich im absteigenden Schenkel ihres parabelförmigen Fluges und erzeugten so die absteigende Ellipse. In diesem Zusammenhang sind auch die Tropfen der Spurenummer 7 - an der Raumdecke gelegen - zu erwähnen, welche möglicherweise vor dem Flugbahnwendepunkt die Wand erreicht haben und somit die bekannte Quelle als Ursprung aufzeigen.

Im CAD-Bild wird lediglich die Flugbahn veranschaulicht, nicht jedoch die Verlaufsrichtung. Somit könnte beim alleinigen Betrachten der CAD-Bilder eine Fehlinterpretation erfolgen, wenn eine weitere Quelle für die Blutspuren ursächlich

war und ihre ermittelten Tropfenflugbahnen zufällig in der bekannten Quelle münden.

Unter der Annahme, dass Tropfen in einem Auftreffwinkel von $\leq 50^\circ$ relativ unbeeinträchtigt von Fehlmessungen den Ursprung sicher aufzeigen, könnten die Spuren 4, 5 und 6 zu Fehlinterpretationen führen. Sie beinhalten zwar einen Durchschnittswinkel von 19° weisen aber - wie erläutert - auf einen falschen Ursprung hin, solange man die Parabel unbeachtet lässt.

Eine denkbare Ursache für die Abweichungen des Blutspurenbereiches 6, gegenüber den übrigen Flugbahnen der CAD-Konstruktion des ersten Versuches, könnte die Instabilität der Plexiglastüren sein. Im Gegensatz zu den übrigen Flugbahnen verwies Blutspurenbereich 6 auf einen Ursprung an der Decke. Zur Analyse der Ursache sollten auch in den folgenden Versuchen Spuren von den Plexiglastüren gewählt und zusätzlich die Auslöseposition des Hammers um 180° gedreht werden, so dass die Tropfen in den folgenden Versuchen gegen die Plexiglaswand treffen und die gegenüberliegende Kachelwand durch den Körper der versuchsauslösenden Person verdeckt wird.

Die Bearbeitung und die Vermessung der Blutspuren gestalteten sich relativ zeitaufwendig und benötigten häufige Softwarewechsel. Durch die Einführung neu gekennzeichnete Markierungen, welche aus einer Kombination von zwei Lightning Powder Co., INC bestehen und zusätzlich mit Millimeterangaben ausgestattet werden, sollte direktes Parallelentzerren in MSR - durch die parallel ausgerichteten Millimeterangaben - an Stelle von zeitaufwendigen Wechseln der Software ermöglicht werden.

Um Unklarheiten bezüglich des Flugverhaltens der Blutropfen sowie dem Hammerschlag zu beseitigen, könnte zusätzlich eine Hochgeschwindigkeitskamera aufgestellt werden. Diese sollte das Auftreffen des Hammerkopfes und die Flugbahn der Tropfen sowie die Bewegungen der Tropfen in Richtung der Plexiglasscheiben aufzeichnen. Die Auswertung des Folgeversuches sollte speziell Spuren, deren verursachende Tropfen mitsamt ihrer Flugbahn über die Aufnahmen der Hochgeschwindigkeitskamera zu identifizieren sind, beinhalten.

Des Weiteren hat die einwirkende Kraft bzw. deren ursächlicher Gegenstand Einfluss auf die Spuren. Es ist denkbar, dass durch das Zurückziehen des Hammers, nach dem Aufschlag, weitere Spuren verspritzt wurden, welche somit das Ergebnis verfälscht haben. Um in weiteren Versuchen eine gleich bleibende Hammerkraft, d.h. stumpfe Gewalteinwirkung, zu simulieren und eine stabile

Führung des Hammerkopfes zu gewährleisten, sollte eine neue Rohr-Hammer-Kopf-Installation eingeführt werden.

4. Versuch 2

4.1 Material und Methoden Versuch 2

Ergänzend zum ersten Versuch wurden einige Materialien wie folgt verändert: Eine Rohrhalterung für ein 90 cm langes Rohr mit einem Durchmesser von 6 cm wurde eingesetzt, ein 2 kg - Hammerkopf mit den Maßen 12 cm x 5 cm x 5 cm, eine größere Schale von 8,5 cm x 12 cm mit einem 1 cm hohen Rand, zwei Schlinggazetupfer (20 cm x 20 cm VW 20 DIN 61630 BW) und 20 ml Blut. Des Weiteren wurden neue Markierungen eingeführt, diese bestanden aus einer Kombination von zwei Lightning Powder Co., INC und waren zusätzlich mit Millimeterangaben ausgestattet. Eine Hochgeschwindigkeitskamera mit 500 Bildern pro Sekunde (Firma Microtron) sowie Halogenscheinwerfer mit 1000 Watt (Firma Elinchrom) wurden installiert.

4.1.1 Versuchsaufbau Versuch 2

Entsprechend dem vorherigen Versuch fand auch der zweite Versuch in der Duschkabine des LKA 38 statt. Für diesen Versuch wurde die Rohrhalterung auf dem bereits im ersten Versuch verwendeten Tisch im Abstand von 76 cm zur Plexiglaswand, 41 cm zur Kachelwand und 53 cm zur Plexiglastür positioniert, mit Kreppband befestigt und das Rohr eingehängt. So ergab sich für den 2 kg schweren Hammerkopf eine Fallhöhe von 110 cm bis zum Tisch, wobei die letzten 30 cm nicht mehr vom Rohr geführt wurden. Unter das Rohr wurde die Schale mit den zwei Schlinggazetupfern und 20 ml Blut gestellt.

Außerhalb der Duschkabine, neben den Scheinwerfern, wurde die Hochgeschwindigkeitskamera aufgestellt. Diese sollte das Auftreffen des Hammerkopfes und die Flugbahn der Tropfen sowie die Bewegungen der Tropfen in Richtung der Plexiglasscheiben aufzeichnen. Zudem erhielt die den Versuch auslösende Person eine neue Position, so dass die Tropfen diesmal gegen die Plexiglaswand

trafen und die gegenüberliegende Kachelwand durch den Körper der versuchsauslösenden Person verdeckt wurde. Der Fototechniker, welcher die Hochgeschwindigkeitskamera startete, gab das Kommando zum Fallenlassen des Hammerkopfes durch das Rohr.

4.1.2 Auswahl der Spuren Versuch 2

Das durch die Rohr-Hammerkopf-Installation erzeugte Blutspurenmuster zeigte deutlich größere Spuren im Vergleich zu den Bildern des vorherigen Versuches. Entsprechend der Kriterien des ersten Versuches konnten insgesamt 13 Spurenbereiche - über drei Wände verteilt - ausgewählt und die nummerierten Markierungen horizontal um die gewählten Spurenbereiche aufgeklebt werden. Gemäß den Ergebnissen des ersten Versuches erfuhren die Spuren an der Plexiglastür erneut Beachtung.

Unter den 13 Spurenbereichen befanden sich insgesamt 18 Einzelspuren, von denen wiederum 13 eine eher elliptische, statt runde Form - das sog. Ausrufezeichen - zeigten. Bei einem Teil der gewählten Tropfen sammelte sich am unteren, zum Boden weisenden Rand eine, im Vergleich zur übrigen Spur, größere Blutmenge. Länglich-elliptische Spuren mit punkt- bis fingerförmigen Ausziehungen wurden, ebenso wie runde Spuren und - in Ergänzung zum ersten Versuch - Spuren mit wellenförmigen, weniger klar konturierten Rändern fotografiert. Außerdem sollten Spuren, deren verursachende Tropfen mitsamt ihrer Flugbahn über die Aufnahmen der Hochgeschwindigkeitskamera zu identifizieren waren, ausgewertet werden. In Versuch 2 waren unter den Aufnahmen der Hochgeschwindigkeitskamera - die eine Weite von 46,5 cm erfasste - die Tropfen der resultierenden Spurennummern 6 und 23 zu identifizieren. Ein einzelnes Bild dieser Kamera benötigte einen Datenspeicher von 60 KB.

4.1.3 Photogrammetrische Messung Versuch 2

Die Fotodokumentation des zweiten Versuches wurde ausgerichtet an dem *ROLLEIMETRIC*-System mit der KODAK DCS proSLRn Digitalkamera durchgeführt. In diesem Versuch kamen die neuen Spurenmarkierungen erstmalig zur Anwendung. Im zweiten Versuch befand sich der höchste Aufnahmestandpunkt bei 2,15 m von einer Leiter, der niedrigste 75 cm über dem Boden.

4.1.4 Auswertung der Daten Versuch 2

Insgesamt wurden 49 Aufnahmen mit einem Datenspeicher von 2,3 GB durchgeführt und im jpg-Format auf dem Computer gespeichert. Unter ihnen waren 13 Detailaufnahmen. Für die Auswertung wurden 21 Bilder importiert und für die Weiterverarbeitung mit CDW in ein bmp-Format umwandelt. Der Zeitaufwand für die einmalige Aufnahme der Bilder lag bei ca. 30 min, inklusive Auswahl und Markierung lag er bei etwa 60 min. Wie bereits im vorherigen Versuch beschrieben, erfolgte die Blutspurenfotodokumentation perigrammetrisch digital und deren weitere Bearbeitung am Computer.

Die Auswertung unterlag denselben Bedingungen wie im ersten Versuch, ergänzt durch die Hochgeschwindigkeitsbilder und die neuen Markierungen. Die neuen Markierungen ermöglichten direktes Parallelentzerren in MSR - durch die parallel ausgerichteten Millimeterangaben - an Stelle von Softwarewechselln. Es konnten zunächst in der Übersicht sowie in den Makroaufnahmen Punkte über CDW vergeben und darauf folgend eine Orientierung durchgeführt werden.

4.2 Ergebnisse des zweiten Versuches

Das **primäre Ergebnis** des zweiten Versuches war das durch die Rohr-Hammerkopf-Installation erzeugte Blutspurenmuster, von dem 13 Bereiche für die Auswertung gewählt wurden. Das erzeugte Blutspurenbild zeigte - im Vergleich zu den Bildern des vorherigen Versuches - deutlich größere und weiter verteilte Spuren.

Der mittlere Spurendurchmesser lag in diesem Versuch bei 5,7 mm in der Länge und 3,6 mm in der Breite. Somit war er im Schnitt 0,5 mm länger und 1,2 mm breiter als im ersten Versuch. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Spuren waren allerdings sehr viel größer. Dies erweckte beim Betrachter der Wände den Eindruck, dass das Spurenmuster insgesamt größere Spuren aufwies.

Im makroskopischen Bild (vgl. Abb. 21a/b, Anhang S. 78f) weisen die Spuren 1, 5 bis 9 und 28 eine längliche, ovale Form auf. Von diesen hatten die Spuren 1, 9 und 28 fingerförmige Ausziehungen, während die Spuren 5 bis 8 eher punktförmig endeten. Von runder Gestalt waren die Spuren 2 bis 4 und 21 bis 24. Von diesen sechs rundlichen Spurenbereichen hatten die Spuren 2 und 3 zusätzlich eine fingerförmige Ausziehung.

Im Mittel zeigte dieser Versuch eher ovale bis runde Spurenformen, was über die Ermittlung des durchschnittlichen Auftreffwinkels von 39° bestätigt wurde.

Die größte Spur des zweiten Versuchs stellte Nummer 3 dar, welche eher von runder Form mit wellen- und einer fingerförmigen Ausziehung war und in einem Winkel von 60° auftraf. Die kleinste Spur war Nummer 5.2 mit einer runden Form und einem Auftreffwinkel von 66° . Die Ellipsenkonstruktion und somit auch die Längen- und Breitenmessung der Spuren 3.1 und 24 gestaltete sich schwierig und war unklar abgrenzbar. Die übrigen Spuren ließen sich zuverlässig definieren. Nummer 4, 5 und 24 lagen an der Plexiglaswand. Die Plexiglastür wurde von den Spuren 2, 3 und 21 getroffen und die den Wasserhahn tragende Kachelwand von den Spurenbereichen 1, 6 bis 9, 23 und 28. Rundliche Spuren befanden sich v.a. an den Wänden und Türen aus Plexiglas.

Das **abschließende Ergebnis** des zweiten Versuches war die CAD-Darstellung der 27 Blutspurenflugbahnen und deren Ursprung.

Auch in diesem Versuch verwies die Konstruktion nicht auf einen gemeinsamen Ursprungspunkt, sondern vielmehr auf einen Ursprungsbereich. Die Fluglinien der Blutspuren mündeten nicht direkt in die blutgefüllte Schale, sondern etwas erhöht und versetzt über den Tisch verteilt.

Die Abbildungen 10 bis 13 (vgl. S. 42f) bilden beispielhaft die Ansichten von oben (Draufsicht), der Plexiglastür (Frontansicht), die Seitenansicht der Plexiglaswand und eine Perspektive der CAD-Darstellung des zweiten Versuches ab. Die farbigen Linien entsprechen den Flugbahnen der Blutropfen deren resultierende Blutspurenbereiche von 1 bis 28 durchnummeriert sind.

Von oben betrachtet münden - ausgenommen von jeweils einem Anteil der Spurenbereiche 2 (grün), 3 (blau) und 21 (hellblau) - alle Fluglinien oberhalb der blutbefüllten Schale des Versuchstisches. Die drei benannten Ausreißer ziehen links am Tisch vorbei. In der Seitenansicht von der Plexiglaswand aus betrachtet, münden alle Linien - bis auf Spur Nummer 24 (lila) und ein Anteil von Spurenbereich 1 (blau) - in der Ursprungswolke. Aus der Frontansicht betrachtet fallen ebenfalls die Spur Nummer 24 (lila), eine der Linien vom Spurenbereich 1 (blau) sowie eine der Linien vom Spurenbereich 4 (rot) und 5 (orange) mit ihrer Position, weit oberhalb der eigentlichen Wolke, auf.

Unter den Aufnahmen der Hochgeschwindigkeitskamera waren die Tropfen der resultierenden Spurenummern 6 (rot) und 23 (grün) zu identifizieren und relativ gut zu verfolgen. Der durch die Betrachtung der makroskopischen Bilder erwartete Verlauf der Einzelspuren unterschied sich nicht vom über die Winkel ermittelten Linienverlauf der CAD-Zeichnungen.

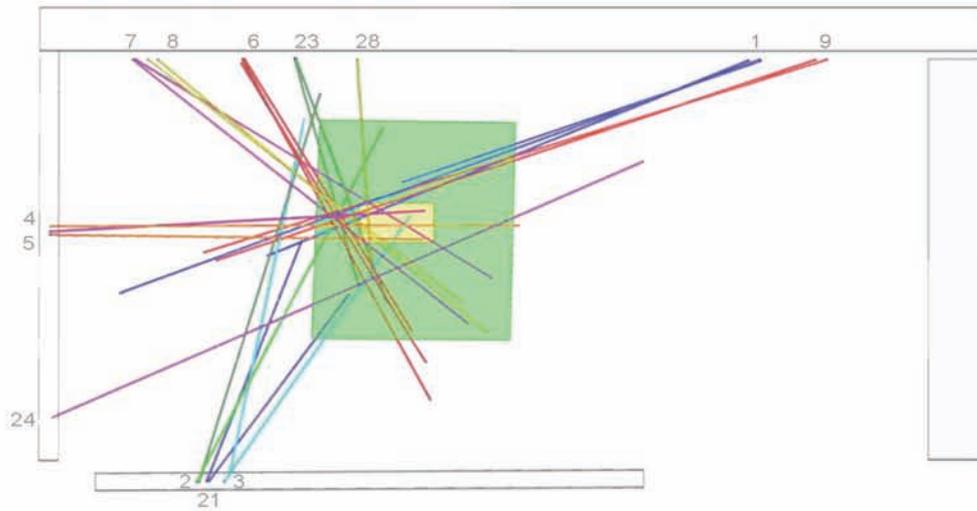


Abb. 10: CAD-Darstellung Versuch 2 Draufsicht

Legende: 1 - 28 = Blutspurenbereiche, farbige Linien = Blutropfenflugbahnen,
Tisch = rechteckige Fläche

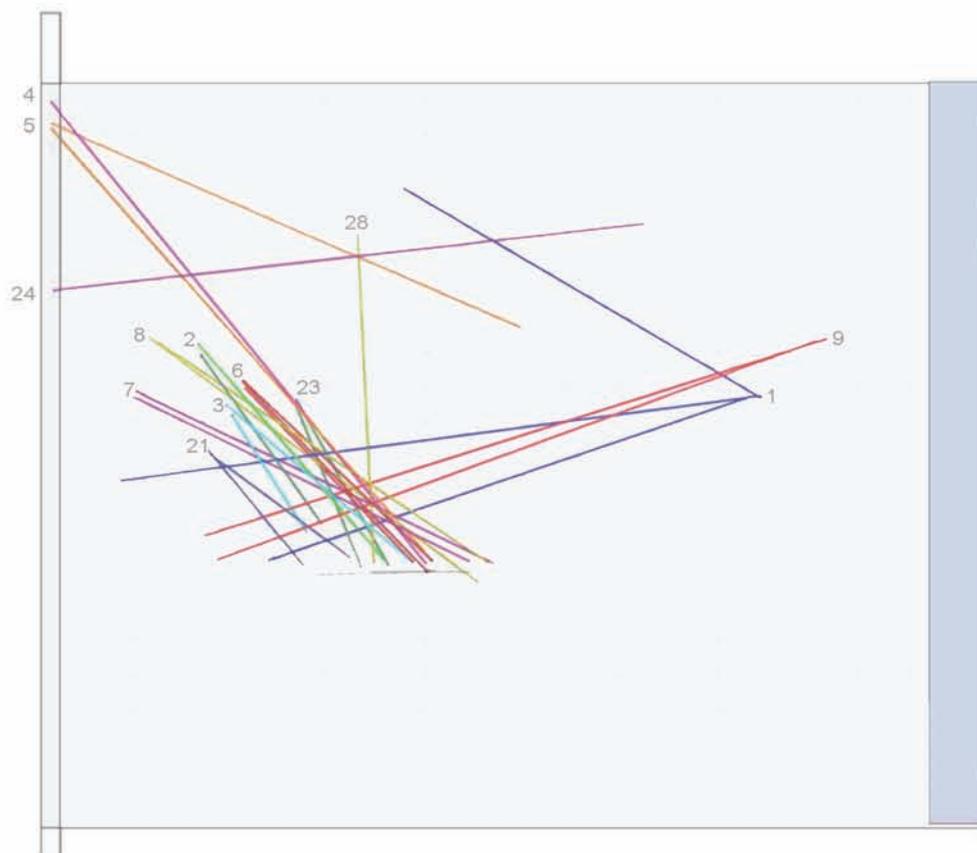


Abb. 11: CAD-Darstellung Versuch 2 Frontansicht

Legende: 1 - 28 = Blutspurenbereiche, farbige Linien = Blutropfenflugbahnen,
Tisch = rechteckige Fläche

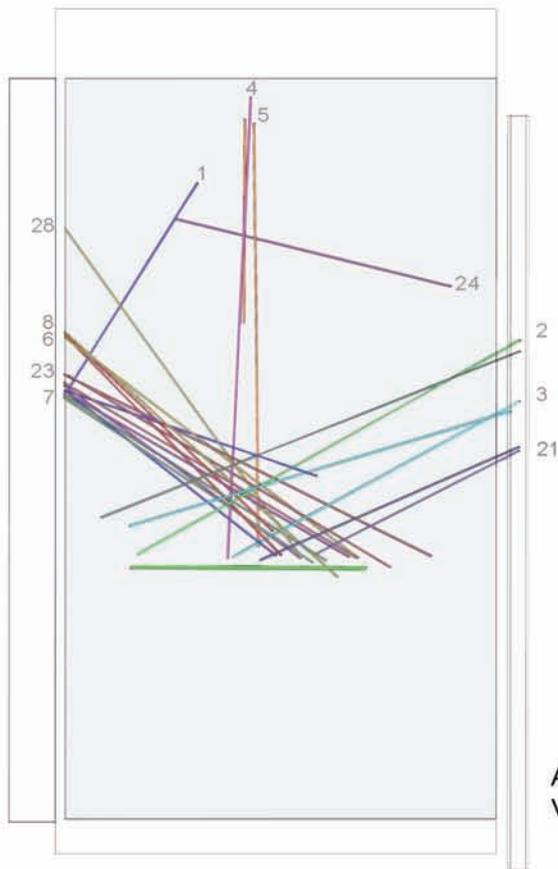


Abb. 12: CAD-Darstellung Versuch 2 Seitenansicht

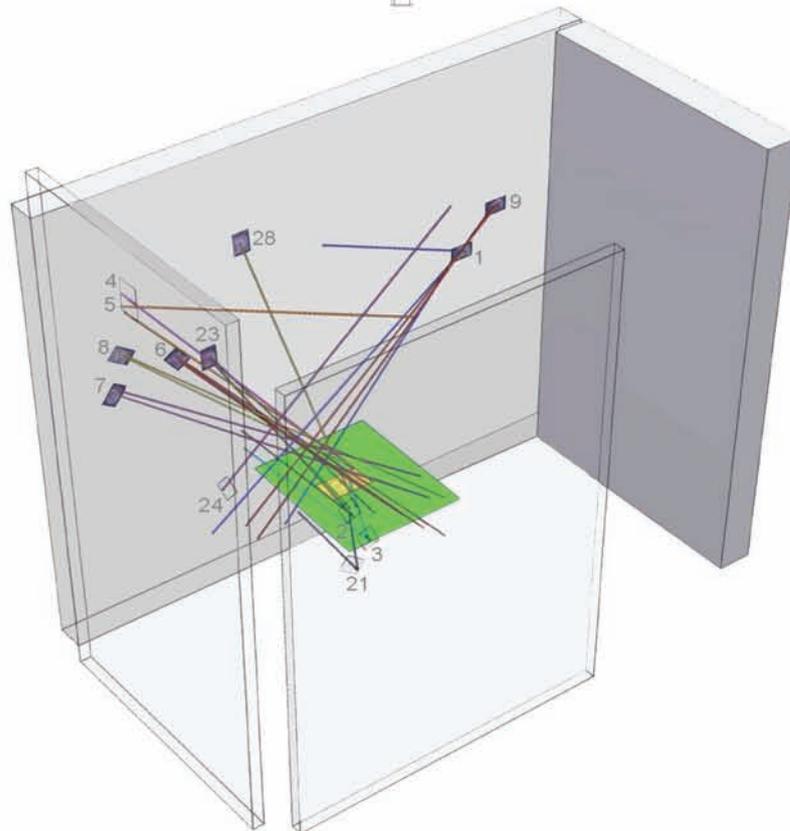


Abb. 13: CAD-Darstellung Versuch 2 Perspektive

Legende: 1 - 28 = Blutspurenbereiche, farbige Linien = Blutropfenflugbahnen,
Tisch = rechteckige Fläche

Den Vergleich zwischen dem makroskopischen Bild der einzelnen 27 Spuren und ihrem Verlauf in der CAD-Konstruktion stellt die folgende Tabelle 3 dar.

Tab. 3: Vergleich von makroskopischem Blutspurenbild und CAD-Linienverlauf, Aufprallwinkel sowie Position Versuch 2

Spur	Position	Makroaufnahme (Ellipse)	Aufprallwinkel	CAD (Linie)
1	Kachelwand, dritte Kachel re Höhe Wasserhahns	teils rechts absteigend, teils absteigend	24° 23° 18°	Ursprungswolke, eine Linien zur Decke über Ursprungswolke
2	Plexiglastür	aufsteigend	51° 62°	Ursprungswolke, eine Linie zieht vor Tisch
3	Plexiglastür	aufsteigend	69° 50°	Ursprungswolke, eine Linie zieht vor Tisch
4	Plexiglaswand	aufsteigend	38°	Schalenursprungswolke
5	Plexiglaswand	aufsteigend	38° 66°	Schalenursprungswolke, andere weit oberhalb Schale, absteigend
6	Kachelwand, dritte Kachel li Höhe Wasserhahn	aufsteigend	51° 43° 29°	Ursprungswolke
7	Kachelwand, fünfte Kachel li Höhe Wasserhahn	aufsteigend	38° 33°	Ursprungswolke
8	Kachelwand, fünfte Kachel li Reihe über Wasserhahn	aufsteigend	32° 35°	Ursprungswolke
9	Kachelwand, vierte Kachel re Reihe über Wasserhahn	aufsteigend	20° 18° 20° 27°	Ursprungswolke
21	Plexiglastür	aufsteigend	49° 60°	Ursprungswolke, eine Linie zieht vor Tisch
23	Kachelwand, zweite Kachel li Höhe Wasserhahn	aufsteigend	52° 53°	Ursprungswolke
24	Plexiglaswand	absteigend	64°	Horizontal über Ursprung hinweg
28	Kachelwand, erste Kachel li drei Reihen über Wasserhahn	aufsteigend	34°	Ursprungswolke

Legende: li = links, re = rechts, rund= kreisförmig, oval = elliptisch

4.3 Diskussion des zweiten Versuches

Von insgesamt 18 im Einzelnen betrachteten Blutspuren zeigten 13 eine eher elliptische statt runde Form - das sog. Ausrufezeichen. Bei einem Teil der Tropfen sammelte sich am unteren, zum Boden weisenden Rand eine größere Blutmenge als in der übrigen Spur. Diese Blutansammlung könnte die Bestimmung der Ellipse oder Annahmen bezüglich der Tropfenaufreicherung beeinflusst haben. Allerdings zeigte der zweite Versuch den Ursprung sicherer als der erste Versuchsaufbau. Ursächlich dafür könnte auch die Auswahl der Spuren sein, denn bis auf einen Anteil der Spuren 3 und 24 waren alle Ellipsen eindeutig bestimmbar.

Die Ausreißer der Spurenbereiche 1, 4, 5 und 24 verweisen alle auf einen etwas erhöht über der Ursprungswolke am Tisch gelegenen Ursprung. Die Aufnahmen der Hochgeschwindigkeitskamera zeigten deutliche Schwingungen der Tischplatte. Es ist möglich, dass die Ausreißer sich von der Schale gelöst haben, als die Tischplatte sich konvex zur Decke formte. Somit wäre ein höher gelegener Ursprung plausibel. Andererseits könnten sie auch auf dem Fehlen der parabelförmigen Flugbahndarstellung beruhen.

Ähnliches könnte den Ausreißern der Bereiche 2, 3, und 21 zu Grunde liegen. Sie befanden sich alle an der Plexiglastür, welche möglicherweise durch das Auftreffen weiterer und größerer Tropfen in Bewegung geriet und somit den Verlauf der Spuren beeinflusste. Diese Annahme widerspricht jedoch COURTNEY (1991) - der zufolge kollidieren die Tropfen untereinander kaum im Flug.

Durch die Einführung der neuen Markierungen, welche aus einer Kombination von zwei Lightning Powder Co., INC bestanden und zusätzlich mit Millimeterangaben ausgestattet waren, war direktes Parallelentzerren in MSR an Stelle von zeitaufwendigen Wechseln der Software möglich. Somit konnten zunächst in der Übersicht sowie in den Makroaufnahmen Punkte über CDW vergeben und darauf basierend eine Orientierung durchgeführt werden.

Die in den Bildern der Hochgeschwindigkeitskamera beobachteten Schwingungen der Tischplatte, welche ursächlich für Tropfenflugbahnabweichungen sein könnten, sollten durch den Einsatz eines stabileren Tisches im nachfolgenden Versuch beseitigt oder zumindest reduziert werden.

Des Weiteren zeigten die Aufnahmen der Hochgeschwindigkeitskamera dass Tropfen, welche auf die Kamera zu flogen, die Tropfenflugbeobachtung behinderten. Ein einzelnes Bild dieser Kamera benötigte einen Datenspeicher von 60 KB, was eine zahlreiche Vergrößerung der Aufnahmen zudem einschränkte. Für den folgenden Versuch sollten sich die Spuren in ähnlichen Bereichen wie in dem vorausgegangenen Versuch befinden und der Aufnahmewinkel der Kamera leicht verrückt werden, so dass die Tropfen bei der Beobachtung weniger irritierend wirken.

Auch im Folgeversuch sollten für die Vergleichbarkeit der Versuche und zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Daten ähnliche Blutspurenbereiche vermessen werden.

5. Versuch 3

5.1 Material und Methoden Versuch 3

Wie im zweiten Versuch fand die Rohrkonstruktion inklusive dem 2 kg Hammerkopf erneut Anwendung. Ergänzend kam ein stabilerer Tisch mit einer Höhe von 86,4 cm und einer Fläche von 61 cm x 41 cm zum Einsatz. Die Schale für die blutgetränkten Schlinggazetupfer hatte in diesem Versuch Maße von 20 cm x 20 cm und einen Rand von 0,5 cm. Alle weiteren Materialien entsprachen denen des ersten Versuches.

5.1.1 Versuchsaufbau Versuch 3

Den zuvor beschriebenen Versuchen entsprechend fand der Versuch in der Duschkabine des LKA 38 statt. Auf dem Tisch erhielt die Halterung des Laufrohres eine mittige Befestigung und das Rohr worüber die Schale, welche mit den zwei Schlinggazetupfern und 20 ml Blut befüllt war, eingehakt wurde. Die Fallhöhe des Hammerkopfes betrug 114,4 cm, wobei die letzten 25,6 cm nicht mehr vom Rohr geführt waren. Der Tisch stand in der Duschkabine mit einem Abstand von 49,4 cm zur Plexiglaswand, 24,6 cm zur den Wasserhahn tragenden Kachelwand und 30,9 cm zu der Plexiglastür. Der Aufnahmewinkel der Hochgeschwindigkeitskamera wurde um wenige Zentimeter nach links verrückt.

5.1.2 Auswahl der Spuren Versuch 3

Wie schon im zweiten Versuch wurden die Markierungen horizontal um die gewählten Tropfen geklebt und mit Nummern versehen. Die gewählten Spuren sollten sich - in Anlehnung an den vorherigen Versuch - in den ähnlichen Bereichen befinden und in den Aufnahmen der Hochgeschwindigkeitskamera identifizierbar sein. Unter den 21 ausgewählten Spuren befanden sich mehr runde und weniger eindeutig konturierte Spuren.

Im Versuch 3 waren auf den Aufnahmen der Hochgeschwindigkeitskamera die Tropfen der resultierenden Spurennummern 1 bis 5 zu identifizieren.

Ein einzelnes Bild dieser Kamera benötigte einen Datenspeicher von 60 KB. Die Bereiche 2, 3, 8, 12, 13, 16 und 18 hatten Bezug zu den Spurenbereichen des zweiten Versuches. Wie im ersten Versuch wurden auch Spuren von der Decke miteinbezogen.

5.1.3 Photogrammetrische Messung Versuch 3

Entsprechend den beiden Versuchen zuvor wurde die Fotodokumentation des dritten Versuches, ausgerichtet an dem *ROLLEIMETRIC*-System, mit der KODAK DCS proSLRn Digitalkamera durchgeführt. Erneut fanden die neuen Spurenmarkierungen Anwendung. Im dritten Versuch war der höchste Aufnahmestandpunkt bei 2,20 m von einer Leiter, der niedrigste lag bei 70 cm über dem Boden.

5.1.4 Auswertung der Daten Versuch 3

Insgesamt resultierten 63 Aufnahmen, wovon 21 Detailaufnahmen waren und im jpg-Format auf dem Computer gespeichert wurden. Für die Auswertung und Weiterverarbeitung der 23 importierten Bilder in CDW erfolgte eine Umwandlung zum bmp-Format. Die photogrammetrischen Aufnahmen nahmen einen Datenspeicher von 3 GB ein, wurden über die *ROLLEIMETRIC*-Software im Raum orientiert und mit *MICROSTATIONV8* dargestellt. Der Zeitaufwand für die einmalige Aufnahme der Bilder lag bei ca. 60 min, inklusive Auswahl und Markierung lag er bei 90 min. Die Auswertung unterlag denselben Bedingungen wie im ersten Versuch und umfasste eine Dauer von 29 Stunden. Sie wurde ergänzt durch die Hochgeschwindigkeitsbilder und den Vergleich zwischen dem zweiten und dritten Versuch.

5.2 Ergebnisse des dritten Versuches

Das **primäre Ergebnis** des dritten Versuches ergab zunächst das durch die Rohr-Hammerkopf-Installation erzeugte Blutspurenmuster, von dem 21 Bereiche für die Auswertung gewählt wurden. Unter diesen Spuren befanden sich - im Vergleich zu den Bildern der vorherigen Versuche - mehr runde und weniger klar konturierte Spuren. Diese befanden sich in ähnlichen Bereichen wie die vorhergehenden Spuren. Zudem wurden Spuren von der Decke miteinbezogen.

Der mittlere Spurendurchmesser in diesem Versuch lag bei 3,7 mm in der Länge und 2,9 mm in der Breite. Die Spuren des dritten Versuches waren im Schnitt 2 mm kürzer und 0,7 mm schmaler als die des zweiten Versuches, sowie 1,5 mm kürzer und 0,6 mm schmaler als die im ersten Versuch.

Bei einem mittleren Auftreffwinkel von 51° präsentiert der dritte Versuch ein runderes Spurenbild mit zum Teil wellenförmigen Rändern. Im Vergleich zu den vorherigen Versuchen wurden für diesen Versuch insgesamt eher kleine Spuren zur Auswertung gewählt.

Die Makroaufnahmen (vgl. Abb. 23a/b, Anhang S. 81f) der Spuren 4 und 6 wiesen eine ovale, längliche Form auf und hatten beide eine fingerförmige Ausziehung. Von ovaler bis rundlicher Gestalt waren die Spuren 7 bis 10 und 14 bis 18, wobei die Spuren 7 und 16 zusätzlich fingerförmige Ausziehungen zeigten. Eine runde Form hatten die Spuren 1 bis 3, 11 bis 13 sowie 20 und 21. Wellenförmige Ränder zeigten zudem die Spuren 1, 5 und 6.

Die Spur 16 stellte den größten Fleck in diesem Versuch dar. Sie traf in einem Winkel von 55° auf und zeigte eine ovale Form mit fingerförmigen Ausziehungen. Die kleinste Spur war 2.3 mit einer runden Form und einem Auftreffwinkel von 71° . Die Ellipsenkonstruktion der Spuren 1, 5.1, 7.1 und 16.1 war nicht sicher durchführbar, da klare Grenzen der Blutspuren fehlten und somit die Längen- und Breitenmessung dieser Spuren nicht eindeutig waren. Ein makroskopischer Unterschied der Blutspurenmorphologie in Abhängigkeit von der getroffenen Fläche war nicht ersichtlich.

Das **abschließende CAD-Ergebnis** des dritten Versuches zeigte die 41 Einzelspurenflugbahnen und ihren jeweiligen Ursprung. Der Versuch ergab keinen gemeinsamen Ursprungspunkt, sondern vielmehr zwei Ursprungswolken, welche sich etwas erhöht über dem Tisch befanden und nicht direkt in die Schale mündeten.

Die Abbildungen 14 bis 17 (vgl. S. 51f) bilden beispielhaft die Ansichten von oben (Draufsicht), der Plexiglastür (Frontansicht), die Plexiglaswand-Seitenansicht und eine Perspektive der CAD-Darstellung des dritten Versuches ab. Die farbigen Linien entsprechen den Flugbahnen der Blutropfen deren resultierende Blutspurenbereiche von 1 bis 21 durchnummeriert sind.

Von oben betrachtet mündet die Mehrzahl der Fluglinien über dem Versuchstisch. Die Bereiche 12 (blau), 16 (grau) und 17 (dunkelblau), sowie ein Teil von 15 (gelb) und 11 (hellblau) weichen seitlich neben den Tisch ab.

Von der Seitenansicht aus erweckt die Konstruktion den Eindruck, dass zwei Ursprungswolken existieren. Beide befinden sich in unterschiedlichen Höhen über dem Tisch. Die untere der beiden Wolken wird von den Spurenbereichen 1 (dunkelblau), 2 (rot), 3 (grün), 5 (orange), 6 (hellblau), 8 (gelb) bis 10 (braun), 15 (gelb) bis 17 (dunkelblau) und 19 (schwarz) gebildet. In der darüber gelegenen Wolke kreuzen sich die Spuren aus den Bereichen 4 (rot), 7 (dunkelblau), 12 (blau) und 18 (schwarz). Die Linien von den Spuren 20 (hellblau) und 21 (rostrot) durchziehen beide Wolken und münden im Tisch.

Von der Plexiglastür (Frontansicht) aus betrachtet münden alle Linien, bis auf vier Spurenbereiche, in der Ursprungswolke. Von den abweichenden Spuren ziehen Nummer 7 (dunkelblau), 8 (gelb), 10 (braun) und 11 (hellblau) neben die Spurenwolke. Die Spuren 13 (grün), 14 (dunkelgrün) und ein Anteil von 11 (hellblau) hingegen zeigen einen horizontalen Verlauf durch die Wolke über den Tisch hinweg. Der jeweils zweite Anteil aus den Bereichen 11 (hellblau) und 15 (gelb) verläuft von der Plexiglaswand aus unter den Tisch.

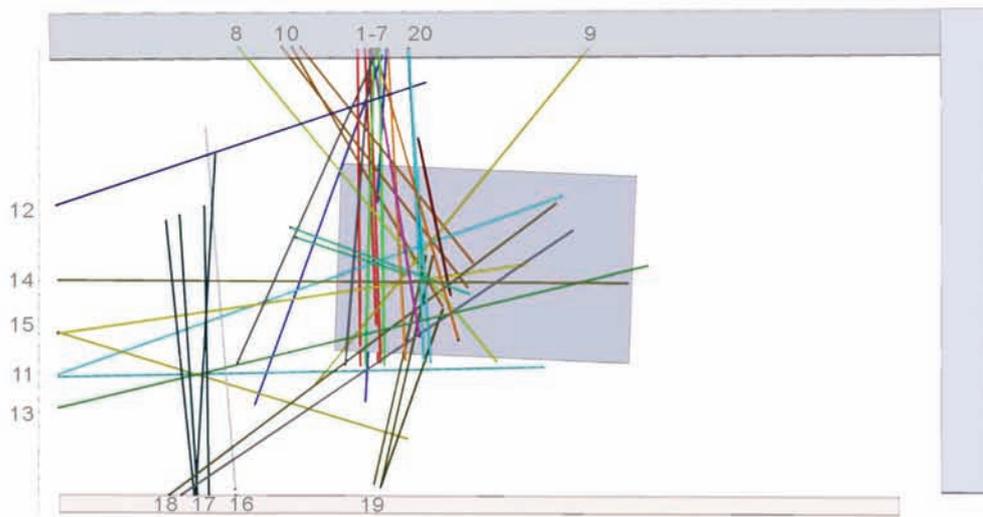


Abb. 14: CAD-Darstellung Versuch 3 Draufsicht

Legende: 1-21 = Blutspurenbereiche, farbige Linien = Blutropfenflugbahnen,
Tisch = rechteckige Fläche

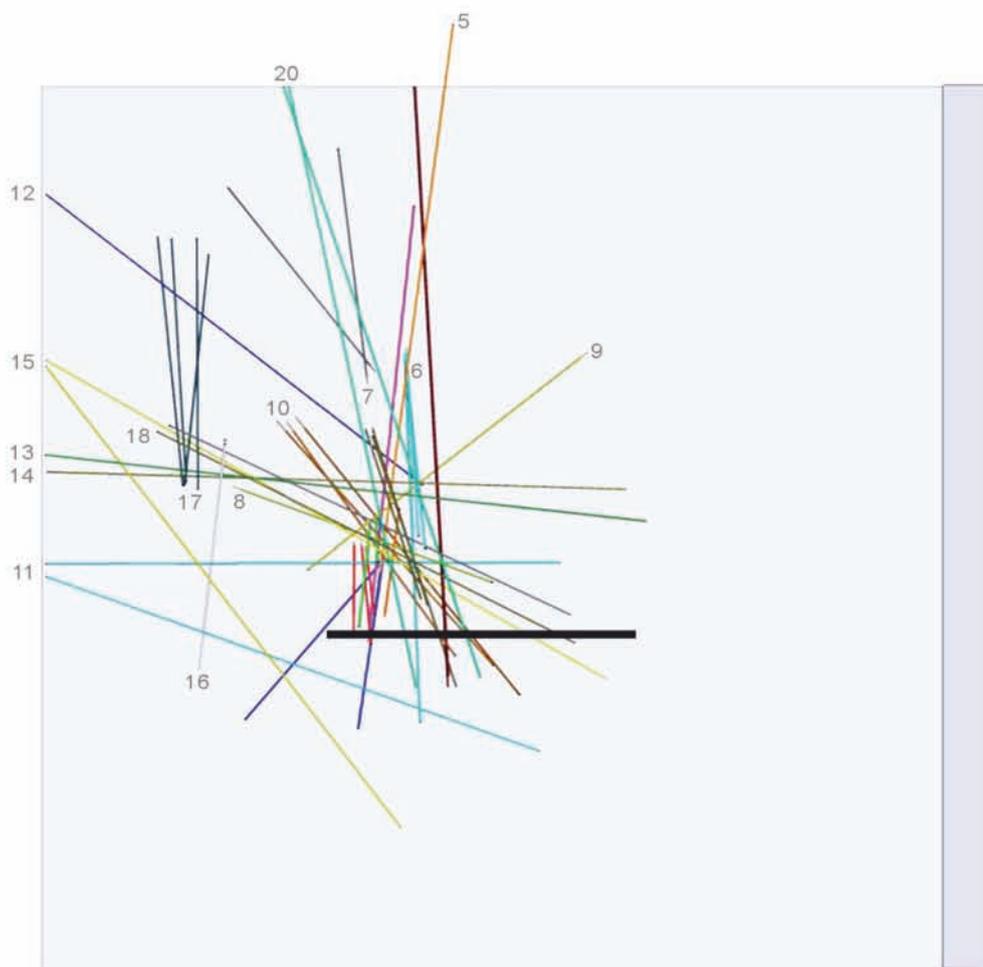


Abb. 15: CAD-Darstellung Versuch 3 Frontansicht

Legende: 1-21 = Blutspurenbereiche, farbige Linien = Blutropfenflugbahnen,
Tisch = rechteckige Fläche

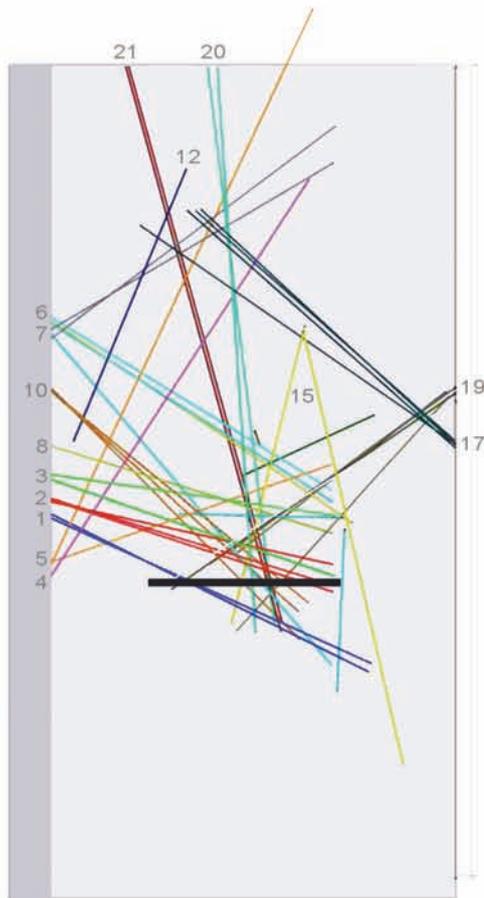


Abb. 16: CAD-Darstellung Versuch 3 Seitenansicht

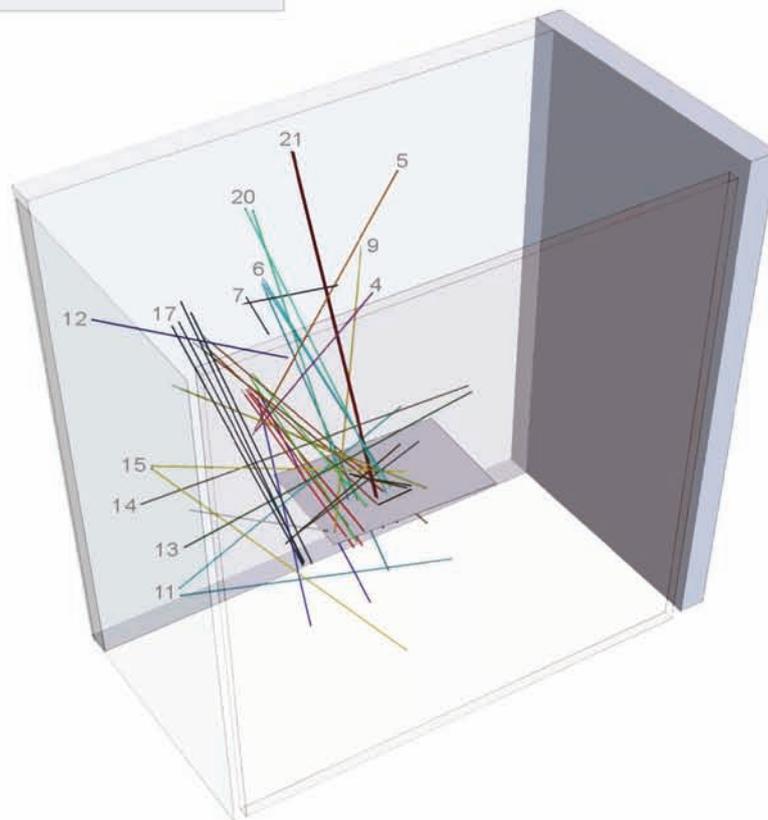


Abb. 17: CAD-Darstellung Versuch 3 Perspektive

Legende: 1- 21 = Blutspurenbereiche, farbige Linien = Blutropfenflugbahnen,
Tisch = rechteckige Fläche

Der Aufnahmewinkel der Hochgeschwindigkeitskamera wurde um wenige Zentimeter verrückt, so dass Tropfen, welche auf die Kamera zu flogen, weniger irritierend wirkten. Erneut zeigte der Blickwinkel der Kamera eine Weite von 46,5 cm. Sie stellte das Aufprallen des Hammers in der Schale dar und zeigte letztendlich den Flug der Tropfen für die resultierenden Spurennummern 1 bis 5. In diesem Versuch zeigten sich eindeutige parabelförmige Verläufe, und jede Spur, welche über die Kamera zu verfolgen war, mündete über dem Tisch.

Den Vergleich zwischen dem aus dem makroskopischen Bild der einzelnen Spur erwarteten Verlauf und dem über den Winkel berechneten Verlauf der CAD-Konstruktion beschreibt die Tabelle 4. Sie zeigt, dass sich die Spuren in ihrem erwarteten makroskopischen Verlauf zum CAD-Vektor verhielten.

Tab. 4: Vergleich von makroskopischem Blutspurenbild und CAD-Linienvverlauf, Aufprallwinkel sowie Position Versuch 3

Spur	Position	Makroaufnahme (Ellipse)	Aufprallwinkel	CAD (Linie)
1	Kachelwand, erste Kachel li neben Wasserhahn	senkrecht zur Wand	58° 61°	Tischwolke
2	Kachelwand, erste Kachel li neben Wasserhahn	senkrecht zur Wand	76° 70° 71°	Tischwolke
3	Kachelwand, erste Kachel li neben Wasserhahn	senkrecht zur Wand	70° 81°	Tischwolke
4	Kachelwand, erste Kachel li zwei Reihen unter Wasserhahn	absteigend	22° 30°	Wolke doppelter Höhe
5	Kachelwand, erste Kachel li eine Reihe unter Wasserhahn	absteigend	67°	Tischwolke
6	Kachelwand, erste Kachel li, drei Reihen über Wasserhahn	aufsteigend	55° 54° 37°	Tischwolke
7	Kachelwand, erste Kachel li drei Reihen über Wasserhahn	Aufsteigend	52° 50°	Wolke doppelter Höhe

8	Kachelwand, dritte Kachel li Reihe über Wasserhahns	aufsteigend	49°	Tischwolke
9	Kachelwand, erste Kachel re drei Reihen über Wasserhahn	aufsteigend	42°	Tischwolke
10	Kachelwand, zweite Kachel li zwei Reihen über Wasserhahns	aufsteigend	35° 41° 37°	Tischwolke
11	Plexiglaswand links	senkrecht zur Wand	66° 70°	horizontal über Tisch untere Wolke, andere unter Tisch
12	Plexiglaswand oben re	senkrecht zur Wand	44°	Wolke doppelter Höhe
13	Plexiglaswand li	senkrecht zur Wand	74°	horizontal über Tisch durch untere Wolke
14	Plexiglaswand li	aufsteigend	90°	horizontal über Tisch durch untere Wolke
15	Plexiglaswand li	aufsteigend	54° 31°	Tischwolke, andere unter Tisch
16	Plexiglastür / Plexiwand	rechts aufsteigend	55°	Neben Tischwolke
17	Plexiglastür / Plexiwand	links aufsteigend	39° 47° 39° 40°	Neben Wolke doppelter Höhe
18	Plexiglastür / Plexiwand	rechts aufsteigend	33° 32°	Tischwolke
19	Plexiglastür mittlere	senkrecht zur Wand	38° 47° 49°	Tischwolke
20	Raumdecke im Winkel zwischen Kachelwand und Plexiglastür	senkrecht zur Wand	73° 81°	Von Decke durch beide Wolken auf Tisch
21	Raumdecke im Winkel zwischen Kachelwand und Plexiglastür	senkrecht zur Wand	74° 74°	Von Decke durch beide Wolken auf Tisch

Legende: li = links, re = rechts, rund= kreisförmig, oval = elliptisch

5.3. Diskussion des dritten Versuches

Im dritten Versuch wurden 21 Spurenbereiche ausgewertet, von denen die Hälfte der Spuren eine runde, weniger klar konturierte Form zeigte. So war die Ellipse der Spuren 1, 5.1, 7.1, und 16.1 nicht eindeutig abzugrenzen.

Ausreißer stellten die Spurenbereiche 12, 16, 17 und jeweils ein Anteil von 11 und 15 dar. Auffällig in diesem Versuch war, dass erneut Anteile von Spurenbereichen (16, 17, 18 und 19) an der Plexiglastür abwichen. Im Unterschied zum zweiten Versuch verweisen sie zusätzlich auf einen Ursprung oberhalb ihrer Position sowie neben dem Tisch.

Wie bereits in den vorherigen Versuchen beschrieben, ist dieses Spurenbild wahrscheinlich Resultat eines parabelförmigen, wenige Zentimeter vor den Versuchsauslöser versetzten Fluges und macht damit eine Kollision der Tropfen als Ursache unwahrscheinlich.

Selbiges gilt für den Eindruck der zwei Ursprungswolken in der Ansicht der Plexiglaswand. Die oberen Tropfen befinden sich vermutlich am Scheitelpunkt ihres parabelförmigen Fluges oder wurden durch Schalenbewegungen beschleunigt.

Im Unterschied zu den vorherigen Versuchsaufbauten wurde hier ein stabilerer Tisch gewählt, da auf den vorausgegangenen Hochgeschwindigkeitsaufnahmen deutlich schwingende Bewegungen der Tischplatte ersichtlich waren. Dennoch zeigten sich zwei Ursprungswolken in der CAD-Darstellung, was den Scheitelpunkt der parabelförmigen Flugbahn als Ursache für die höher gelegene Ursprungswolke bekräftigt. Eine Abgrenzung könnte unter Umständen im wirklichen Tatgeschehen schwierig werden.

Durch die Neupositionierung der Hochgeschwindigkeitskamera ergab sich die Möglichkeit, die Flugbahnen der Spurenbereiche 1 bis 5 nachzuvollziehen. Sie zeigten einen deutlich parabelförmigen Verlauf mit ihrem Ursprung in den Wolken über dem Tisch und präsentierten keine Tropfenkollisionen. Auch dies unterstreicht die Scheitelpunktannahme.

Da die Tropfen in diesem Versuch weniger Volumen im Flug hatten, waren die resultierenden Flecken im Schnitt kleiner als in den vorausgegangenen Versuchen. Auf Tropfen mit geringerem Volumen wirken der Luftwiderstand und die Erdanziehungskraft früher bremsend, so dass sich der parabelförmige Verlauf unter Umständen schneller zeigte und den unterschiedlichen Flug der Tropfen im zweiten und dritten Versuch erklärt.

6. Vergleichende Ergebnisdiskussion

Die Ergebnisse der drei Versuche sollen im Folgenden analysiert werden. Tabelle 5 vergleicht die drei Versuche hinsichtlich ihres Auftreffwinkels, ihrer Spurenpositionen sowie dem Verlauf in der CAD-Zeichnung.

Tab. 5: Übereinstimmungen zwischen den drei Versuchen in Abhängigkeit von den Blutspurpositionen

Versuch	Spur	Winkel	Position	Verlauf in CAD
1	6	14°/18°/17°	Plexiglastür	Ursprung über dem Tisch
	7	42°/ 51°/19°	Decke	Ursprungsbereich
2	2	51°/ 62°	Plexiglastür	Ursprungswolke
	3	69°/ 50°		Ursprungswolke
	21	49°/ 60°		Ursprungswolke
	6	51°/43°/29°	Kachelwand	Ursprungswolke
	8	32°		Ursprungswolke
	23	52°/53°		Ursprungswolke
	24	64°	Plexiglaswand	Horizontal über den Ursprung
	4	34°		Schalenursprungswolke
	5	38°/ 66°		Schalenursprungswolke
	6	5°/43°/29°	Hochgeschwind.	Ursprungswolke
3	23	52°/53°	Kamera	Ursprungswolke
	16	55°	Plexiglastür	Neben Tischwolke
	17	39°/39°/47°/40°		Neben Wolke in doppelter Höhe
	18	33°/ 32°		Tischwolke
	19	38°/47°/49°		Tischwolke
	20	73°/81°	Decke	Durch beide Wolken
	21	74° /74°		Durch beide Wolken
	8	49°	Kachelwand	Tischwolke
	3	70°		Tischwolke
	2	76°/70°/70°		Tischwolke
	13	74°	Plexiglaswand	Untere Tischwolke
	15	54° / 31°		Tischwolke / unter den Tisch
	12	44°		Wolke in doppelter Höhe
1	58°/ 61°	Hochgeschwind.	Tischwolke	
5	57°	Kamera	Tischwolke	

Legende: Gliederung in Graustufen, zur Verdeutlichung der Gemeinsamkeiten in der Fleckenposition.

Der Näherungswert des Aufprallwinkels eines Blutropfen, der über den umgekehrten Sinus von Breite zu Länge der Blutfleckmaße in Grad berechnet wurde, enthält nach BEVEL UND GARDENER (2002) eine Fehlermarge von $\pm 5^\circ$ bis zu $\pm 7^\circ$. Zu beachten ist, dass sich die jeweiligen Spurenbereiche nicht genau in ihrer Position entsprechen. Somit können keine absoluten Vergleiche gezogen werden. Unterschiedliche Versuchsaufbauten führten zu einer Verspritzung des Blutes in konträre Richtungen.

Die CAD-Konstruktion des ersten Versuchs stellte Abweichungen bei den Spuren an der Plexiglastür dar. Diese verwiesen, im Gegensatz zu den übrigen Flugbahnen, auf einen Ursprung an der Decke. Zur Analyse der Ursache wurden auch im zweiten und dritten Versuch Spuren von den Plexiglastüren gewählt und die Auslöseposition des Hammers um 180° gedreht.

Erneut fanden sich Abweichungen der Spuren an der Plexiglastür; doch waren es stets nur Anteile der einzelnen Spurenbereiche. Der Großteil der Spuren verwies auf die allgemeine Ursprungwolke. Die Spurenbereiche 2, 3 und 21 der Plexiglastür aus Versuch 2 trafen in einem Durchschnittswinkel von 57° auf. Sie kreuzten die Ursprungwolke, wobei einzelne Spuren auf einen Bereich vor den Tisch berechnet wurden.

Die Spurenbereiche 16, 17, 18 und 19 aus Versuch 3 zeigten einen Durchschnittswinkel von 42° . Sie kreuzten die Ursprungwolke, wobei 16 und 17 neben den Tisch zielten. Die Spuren beider Versuche hatten, gemäß ihrem Winkel, eine ovale, kreisförmige Form. Entsprechend zeigten sie die Fallrichtung an und verliefen an der Plexiglastür.

Die Spuren des Bereiches 6 der Plexiglastür aus Versuch 1 zeigten hingegen deutlich kleinere Winkel, von durchschnittlich 16° und verwiesen auf einen Ursprung an der Decke. Sie erschienen dem Winkel entsprechend länglich, oval geformt, mit einer die Fallrichtung andeutenden, fingerförmigen Ausziehung.

Alle Flecken an der Plexiglastür, unabhängig von der Auslöseseite, wichen zumindest teilweise von ihrem Ursprung ab. Sie verwiesen auf eine Quelle in Richtung Decke, von der versuchsauslösenden Person entfernt und wenige Zentimeter versetzt. Es ist denkbar, dass dort der Scheitelpunkt ihrer wahrscheinlich parabelförmigen Flugbahn lag, auf deren allgemeines Vorkommen schon FISCHER (2001), SELLIER UND KNEUBUEHL (2001), CARTER ET AL. (2005) und PACE (2005) verwiesen. Während ihres Aufpralles befanden sich die einzelnen Tropfen

vermutlich im absteigenden Schenkel ihres parabelförmigen Fluges. Sie spiegelten so die absteigende Fallrichtung wieder.

Im CAD-Bild wird lediglich die Flugbahn veranschaulicht, nicht jedoch die Richtung, aus der ein Tropfen entsprang. Somit könnte beim alleinigen Betrachten der CAD-Bilder eine Fehlinterpretation erfolgen, wenn eine weitere Blutungsquelle für die Spuren ursächlich wäre, deren Tropfen ebenfalls in den ermittelten Bereich traf. Das hauptsächliche Erscheinen dieser Abweichungen an der Plexiglastür könnte auch mit deren Beweglichkeit zusammenhängen. Möglicherweise ist die Plexiglastür durch das Auftreffen größerer Tropfen in Bewegung geraten und hat darüber den Verlauf der Tropfen beeinflusst. Nach COURTNEY (1991) kollidieren Tropfen untereinander jedoch kaum im Flug.

Im Vergleich der Vektorenresultate aus allen drei Versuchen ließ sich feststellen, dass für jeden der Versuche Ursprungsbereiche einzugrenzen sind, die Ermittlung **eines** Ursprungspunktes allerdings unmöglich war. Alle Ursprungswolken zeigten sich zudem etwas erhöht über dem bekannten Ursprung des Versuchsaufbaus. Vor allem im dritten Versuch bestätigte sich zudem der Eindruck von zwei Ursprungswolken. Die Tropfen der oberen Wolke befanden sich mutmaßlich am Scheitelpunkt ihres parabelförmigen Fluges oder wurden durch Schalenbewegungen beschleunigt oder umgelenkt.

Die Aufnahmen der Hochgeschwindigkeitskamera des zweiten Versuches zeigten deutlich Schwingungen der Tischplatte. Es ist möglich, dass die Ausreißer sich von der Schale gelöst haben, als die Tischplatte sich konvex zur Decke formte. Somit wäre ein höher gelegener Ursprung plausibel. Andererseits könnten sie auch auf der fehlenden Einbeziehung der parabelförmigen Flugbahn beruhen. In der Routine könnte eine derartige Konstellation unter Umständen zu Fehldeutungen führen.

Der Vergleich (siehe Tab. 6) zwischen den resultierenden Spurengrößen der Tropfen - welche relativ über die Hochgeschwindigkeitskamera im zweiten und dritten Versuch nachvollzogen werden konnten - zeigt, dass sich die Mittelwerte dieser Versuche in der Länge um 0,3 mm und in der Breite um 0,2 mm unterscheiden.

Tab. 6: Vergleich von Spurendurchmesser, Aufprallwinkel und Verlauf der über die Hochgeschwindigkeitskamera nachvollziehbaren Tropfen aus Versuch 2 und 3

Versuch 3 Spur	Länge / Breite	Aufprall- winkel	Versuch 2 Spur	Länge / Breite	Aufprall- winkel
1	1) L: 9,2 B: 7,8 2) L: 1,5 B: 1,3	58° 61°	6	1) L: 7 B: 5,5 2) L: 4,7 B: 3,2 3) L: 4,1 B: 2	51° 45° 29°
2	1) L: 5,2 B: 5 2) L: 1,4 B: 1,3 3) L: 0,8 B: 0,7	76° 70° 70°	23	1) L: 4,2 B: 3,3 2) L: 3,9 B: 3,1	52° 53°
3	1) L: 5,8 B: 5,4 2) L: 3,6 B: 3,6	70°			
4	1) L: 10,3 B: 3,9 2) L: 2,1 B: 1	22° 30°			
5	1) L: 5 B: 4,6	57°			
Mittelwert	L:4,5 B:3,7	51°	Mittelwert	L:4,8 B: 3,5	46°

Legende: L = Länge, B = Breite , in Millimetern

Auf Grund der teils ungenauen Ellipsenbestimmung und die vom Betrachter abhängige Beurteilung der Maße, stellen diese geringen Millimeterangaben keinen nennenswerten Größenunterschied der Tropfen dar.

Es ist anzumerken, dass ein Fehler von bis zu einem Millimeter bei den Längenmessungen für die Berechnungen von Auftreffwinkeln $< 50^\circ$ unerheblich ist. Bei größeren Winkeln hingegen macht sich ein kleiner Messfehler deutlich bemerkbar. Die Studie von MCGUIRE (2004) ergab, dass Auftreffwinkel, die sich bis zu 10° nähern, genauer kalkulierte Ursprünge ergeben als größere Winkel.

Während die Blutropfen 6 und 23 im zweiten Versuch - soweit das Auflösungsvermögen und der unscharfe Kontrast der Hochgeschwindigkeitskamera eine genaue Betrachtung ermöglichten - scheinbar linear von der Quelle zur Wand flogen, zeigten die Tropfen 1 bis 5 des dritten Versuches die deutliche parabelförmige Flugbahn.

Die geringen Größenunterschiede in den durchschnittlich resultierenden Spuren widersprechen der Vermutung, dass der unterschiedliche Flug auf verschiedene Geschwindigkeiten zurückzuführen ist. Interessant zu beobachten ist dennoch, dass beide in direkter Beziehung mit ihrer jeweiligen Ursprungswolke stehen. Somit scheint ein Größenunterschied der Tropfen in diesem Fall nicht der entscheidende Faktor für den Flugbahnunterschied zu sein.

Im zweiten Versuch lag der Abstand zu der den Wasserhahn tragenden Kachelwand bei 41 cm, im dritten Versuch hingegen bei nur 26,4 cm. Dies unterstützt nicht die Annahme, dass die nähere Spur noch einen geraden Verlauf zeigen kann, da sie sich, wie oben dargestellt, im aufsteigenden Schenkel der Parabel befand. Allerdings wurden die Abstände abgehend von der Tischkante gemessen und nicht von der Schale, wodurch eine genaue Schlussfolgerung nicht möglich ist. Wie bereits angemerkt, könnten einige Tropfen durch die Bewegung der Schale oder der Tischplatte beschleunigt worden sein, was ihren geringeren Abfall und scheinbar geraderen Verlauf erklären würde.

Dies sind jedoch nur Spekulationen, da die Spuren in ihrem Verlauf über die Kameradaten nicht klar zu differenzieren waren.

7. Auswertung der Methodik - Blutspurenanalyse und Software

7.1 Gesamtbetrachtung

Die Blutspurenversuche in Zusammenarbeit zwischen dem Landeskriminalamt 38 Hamburg und dem Institut für Rechtsmedizin in Hamburg haben gezeigt, dass die CAD-Bearbeitung von photogrammetrisch erhobenen Blutspurenanalysedaten im Versuch grundsätzlich möglich ist.

Bei der Vorstellung der in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse muss allerdings, gemäß der ursprünglichen Fragestellung, besonders auf die Anwendbarkeit und den Aspekt des physikalischen Verhaltens von Bluttröpfen im Flug eingegangen werden, folglich auf ihr parabelförmiges Flugverhalten.

Die Darstellungen und Berechnungen der Flugbahnen müssen erheblich optimiert werden. Die hier aufgeführten Versuche hatten v.a. eine orientierende Funktion. Sie sollten prüfen, ob sich mit Hilfe dieser Methode prinzipiell die Blutspurendaten erheben und mit CAD darstellen lassen.

An einem realen Tatort würde es aller Voraussicht nach mühevoll werden, die verschiedenen Einflussfaktoren und möglichen Abläufe klar und sicher zu differenzieren.

Der Person, welche die Daten auswertete, war der gesuchte Ursprung bekannt. Auch die Auswahl der einzelnen Spuren erfolgte im Hinblick auf die bekannte Quelle des Blutes. Des Weiteren unterliegt die Spurenauswahl für die Untersuchung ebenso subjektiven Eindrücken, wie die Bestimmung der Blutspurenellipsen und kann demnach zahlreiche Interpretationsfehler bergen.

Prinzipiell ist die CAD-Darstellung eine Verlagerung des Stringings in den Computer. Die Stringing-Methode findet seit vielen Jahren - v.a. im angloamerikanischen Raum - ihre Anwendung und erfährt zunehmend Zulässigkeit vor Gericht. In Deutschland wird gegenwärtig nur in sehr individuellen Fällen eine Blutspurenanalyse vollzogen.

Es ist schwierig, die in dieser Arbeit getestete Methode als fehlerbehaftet und unzulässig zu betiteln, obgleich eine ähnliche manuelle Methode seit Jahren Anwendung findet, welche von geraden, anstatt parabelförmigen Flugbahnen ausgeht.

Die drei Versuche haben gezeigt, dass zwar kein Ursprungspunkt, wohl aber eine Ursprungswolke zu ermitteln ist, innerhalb derer die ursächliche Blutung stattgefunden haben muss. Auf die Tatsache, dass sich schwer ein einzelner Ursprungspunkt als Quelle definieren lässt, verwiesen auch verschiedene Autoren, unter ihnen WONDER (2001) und MACDONELL (2005).

Die subjektiven makroskopischen Betrachtungen der einzelnen Spuren der drei Versuche korrelierten relativ gut mit den resultierenden Aufprallwinkeln und darüber mit den Verläufen der CAD-Vektoren; keine der Spuren nahm einen anderen Verlauf als makroskopisch erwartet wurde. Anzumerken bleibt, dass auch die CAD-Darstellungen sehr vielen subjektiven Eindrücken unterliegen. Begonnen mit der Wahl der Ellipse jeder einzelnen Spur, über die Längen- und Breitenmessungen, bis hin zum Zeichnen der Vektoren im CAD-Programm.

Die Verfolgung der Blutropfen in den Hochgeschwindigkeitsaufnahmen gestaltete sich relativ schwierig - dies bestätigten bereits Aufnahmen des Bundeskriminalamtes. Lag der Fokus auf einzelnen Tropfen, fand sich in der resultierenden Aufnahme nur ein kleiner Ausschnitt der Flugbahn, eine Verlaufbetrachtung über die gesamte Flugbahn war somit nicht möglich. In größeren Ausschnitten stellten sich die Tropfen dagegen als zu klein und nicht klar voneinander differenzierbar dar.

Die Anzahl von 500 Bildern, welche die Kamera pro Sekunde aufzeichnete, erwies sich für die der Arbeit zu Grunde gelegten Zwecke als zu gering. Der überwiegende Teil der Aufnahmen machte jedoch erkennbar, dass der parabelförmige Verlauf der Tropfen schon kurz nach dem Abgang von der Quelle einsetzte. Ausnahmen fanden sich bei sehr kurzen Strecken im zweiten Versuch - dort waren die Krümmungen der Tropfenflugbahnen so gering, dass sie den Anschein eines linearen Flugbahnverlaufes erzeugten. Im dritten Versuch lässt sich der parabelförmige Flug eindeutig feststellen.

Spuren, deren verursachende Tropfen nur eine sehr kurze Strecke zurückgelegt hatten, ließen sich in allen drei Versuchen relativ genau einem Ursprung zuordnen. Sie befanden sich zumeist im Bereich des Wasserhahns. D.h. sie hatten vom Tisch, im rechtem Winkel abgehend, maximal ein Strecke von 41 cm zurückgelegt und zeigten einen durchschnittlichen Auftreffwinkel von 31° (Versuch 1 und Versuch 2) und 53° (Versuch 3). Diese Feststellung entspricht der Empfehlung von PACE ET AL. (2005), Ellipsen mit einem Auftreffwinkel von $\leq 50^\circ$

zu verwenden, da in diesem Bereich Fehler geringere Auswirkungen haben. Zudem war mit der Hochgeschwindigkeitskamera ein annähernd linearer Flug für diese kurze Strecke nachweisbar.

In der Gesamtbetrachtung der drei Blutspurenversuche fällt auf, dass:

- der zweite Versuch den Ursprung der Blutspuren am genauesten zeigte;
- runde Spuren die Ursprungsquelle sicherer angeben als elliptische, längliche Spuren, sich somit runde Spuren am ehesten für die durchgeführte Methode der Auswertung eignen;
- Spuren, die einen kürzeren Weg bis zum Auftreffen zurückgelegt haben, den Ursprung sicherer zeigen;
- gut definierte Blutspuren für die spätere Messung und Kalkulation zu bevorzugen sind;
- die Darstellungen der Spurenflugbahnen als gerade Linien dem wirklichen Verhalten der Tropfen im Flug nicht gerecht werden und somit die Berechnungen kein reales Abbild ermöglichen - lediglich die Draufsicht repräsentiert die zweidimensionale Lage der Blutungsquelle
(In einer Studie von CARTER ET AL. (2005) haben unabhängige Blutspurenanalysten das BackTrack®-Programm zur Bestimmung des Ursprungs von gleichen Spuren getestet. Auch dort wurde kritisiert, dass Erdanziehungskraft sowie Luftwiderstand nicht mit einbezogen wurden und daraus gerade Linien resultierten. Außerdem bliebe Größe und Gewicht der Tropfen unberücksichtigt);
- eine Archivierung der Tropfen mit photogrammetrischen Aufnahmen eine breite Grundlage für weitere und spätere Betrachtungen bzw. Ermittlungen der Blutspuren ermöglicht, da sie als metrisch korrekte Methode die gemessenen Daten absolut und maßstabsgetreu verwaltet, so wie sie im vermessenen Objekt vorhanden waren;
- die mit dem Computer ermittelten Daten immer so richtig sind, wie die ihnen zu Grunde liegenden Messungen und Berechnungen.

Die photogrammetrische Vermessung ermöglicht es, Blutspuren aus jeder Position zu fotografieren, später am PC durch MSR/CSW zu entzerren und so exakt zu vermessen. Es konnte hier allerdings keine deutliche Überlegenheit der photogrammetrischen Dokumentation gegenüber allen bisher in der medizinischen Literatur beschriebenen Verfahren zur Blutspurenanalyse bzw. deren Archivierung aufgezeigt werden.

ROLLEIMETRIC in Kombination mit *MICROSTATIONV8* erwies sich als aufwendiges, zeitintensives Verfahren, das die Flugbahnen in einem einzelnen Vektor darstellt. Genaue, sichere Ermittlungen des Ursprunges bzw. des Standortes der Blutungsquelle sind nur eingeschränkt möglich. Die dabei erreichte Näherung an den Ursprung liegt im Bereich von mehreren Zentimetern. In der vergleichenden Studie von GARDENER (1995), in der *Backtrack/Strings®* und *No more Strings®* getestet wurden, wichen beide um 20 cm vom eigentlichen Ursprungsbereich ab. Keines dieser Programme findet bisher Anwendung in Routineuntersuchungen.

Es können mit Hilfe der in dieser Arbeit geprüften Methode keine exakten Angaben über den Ursprungspunkt getroffen werden, sie eignet sich jedoch zur Archivierung für tatortunabhängige, zeitlich flexible und individuelle Betrachtungen, ohne Spuren zu manipulieren oder gegebenenfalls neue Spuren zu legen.

Des Weiteren rechtfertigen die Ergebnisse nicht die hohen Kosten für die Programme und auch nicht den Aufwand, den das Erstellen einer Versuchsübersicht mit allen Blutropfen und ihren zugehörigen Flugbahnen beinhaltet. Dieser lag beispielhaft im dritten Versuch mit 21 Spurenbereichen bei ca. 30,5 Stunden. Ein ungeübter Mitarbeiter dürfte deutlich länger brauchen und würde vermutlich neue Interpretationsfehler einflechten.

Schlussfolgernd lässt sich sagen, dass die evaluierte computergestützte Blutspurenanalyse durch CAD-Bearbeitung photogrammetrisch erhobener Blutspurendaten noch nicht für den routinemäßigen Einsatz reif ist. Zumindest nicht bis eine grundlegende Optimierung unter Einbezug von physikalisch korrekten, eindeutigen Rekonstruktionen der Flugbahnen erreicht wurde.

Ungeachtet dieser Einwände, bietet die computergestützte Blutspurenanalyse in der Gerichtsmedizin ein neues und leistungsstarkes Werkzeug, dessen Einsatz von großem Wert sein wird.

7.2 Ausblick

Die angewandte Methode bedarf folglich der Modifikation und weiteren Evaluation, um den Ursprung von Blutspuren objektiv erfassen zu können.

Die beschriebenen Versuche wurden nicht mit etablierten manuellen Methoden, wie z.B. dem Stringing, kontrolliert. In die Folgearbeit wäre eine interne Qualitätskontrolle einzubeziehen, in der gegebenenfalls im Blindverfahren unter standardisierten Bedingungen mindestens 100 künstliche Spuren anzulegen, auszuwerten und mit etablierten Methoden zu vergleichen wären. Des Weiteren sollte der durch das Berechnen der Ellipse entstehende Fehler bestimmt werden, indem man z.B. Blutspuren mehrmals nacheinander und durch unterschiedliche Personen vermessen ließe. So wäre es denkbar, Abweichungen vom wirklichen Aufprallwinkel zu diskutieren.

Eine angestellte Studie könnte sich mit den subjektiven Eindrücken und Einflüssen auf die Methode befassen und sie in verblindeten Versuchen testen sowie parabelförmige Flugbahnberechnungen zur Integration bringen. Eine Möglichkeit, Trugschlüsse zu reduzieren, wäre, die jeweils andere mögliche Verlaufsrichtung der Spur, ausgehend von der Ellipsenberechnung, mit einzuzeichnen und aus der Zusammenschau Schlussfolgerungen zu ziehen.

Für eine Arbeitszeitverkürzung bei der Datenvermessung sollte die Verwendung von Tachymetern oder Laserscannern, anstelle der photogrammetrischen Vermessung der Spuren in Erwägung gezogen werden.

8. Zusammenfassung

In Zusammenarbeit des Landeskriminalamtes 38 Hamburg mit dem Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikum Hamburg - Eppendorf wurde die Methode der computergestützten Blutspurenanalyse durch CAD-Bearbeitung photogrammetrisch erhobener Blutspurendaten in drei Versuchen auf ihre Anwendbarkeit geprüft.

In der Routine werden momentan v.a. das manuelle Stringing und die Tangentmethode eingesetzt. Die vorliegende Arbeit belegt, dass die computergestützte Auswertung der Blutspuren diesen momentan in der gerichtsmedizinischen Praxis angewandten Verfahren nicht eindeutig überlegen ist.

Die notwendigen Schritte bei der photogrammetrischen Datengewinnung und ihre Verarbeitung, d.h. die Aufnahme der Blutspurenbilder und ihre Vorbereitung, das Entzerren und Orientieren der einzelnen Aufnahmen im Raum, das Bestimmen der Blutspurenellipse und darüber den Aufprallwinkel für jede einzelne gewählte Spur, und schließlich das Konstruieren der Blutspurenflugbahnen sowie die Ermittlung des Ursprungsbereiches in CAD, werden in der vorliegenden Arbeit anhand von drei Versuchen beschrieben und durch Abbildungen verdeutlicht.

Sowohl das Stringing als auch die Tangentmethode haben den Nachteil, dass sie den Tatort blockieren, gegebenenfalls verunreinigen und keine Archivierung der gewonnenen Informationen beinhalten. Die photogrammetrischen Aufnahmen hingegen ermöglichen eine räumliche, metrisch exakte Darstellung einzelner Blutspuren im Raum, deren Auswertung und CAD-Bearbeitung im Versuch grundsätzlich möglich ist - dies muss jedoch noch weiter an forensische Erfordernisse angepasst werden.

Die photogrammetrisch ermittelten Daten werden digital archiviert und können weiterbearbeitet werden, ohne Manipulationen oder Zerstörungen der Spuren zu bewirken. Die Vermessung ist allerdings ein aufwendiges und zeitintensives Verfahren, das zudem einen Experten benötigt, der die Spuren bewertet.

Ein reales Abbild des Geschehens wird hierbei nicht ermöglicht, da die CAD-Konstruktion die Blutspurenflugbahnen als gerade Linien behandelt, was dem physikalischen Verhalten der Tropfen im Flug nicht gerecht wird.

Insgesamt betrachtet, lässt die Durchführung dieser Arbeit folgende Schlussfolgerungen zu:

- Die Übereinstimmung zwischen dem makroskopisch erwarteten Auftreffwinkel und dem Ergebnis in der CAD-Zeichnung war insgesamt sehr deutlich.
- Die Methode stellte sich durch das benötigte Equipment (spezielle Kameras, Software und geschultes Personal) als sehr teuer und vom Zeitfaktor als sehr aufwändig heraus.
- Mit Hilfe dieser Technik können keine exakten Angaben über den Ursprungspunkt getroffen werden - es kann jedoch ein Ursprungsbereich ersichtlich werden.
- Die hier angewendete Methode scheint noch zuwenig ausgereift und birgt Fehlerquellen, so dass eine Routineanwendung zu diesem Zeitpunkt nicht empfohlen wird.
- Den wesentlichen Kritikpunkt an dieser Methode stellt das Außerachtlassen des parabelförmigen Fluges von Blutropfen dar.
- Die Methode eignet sich zur Archivierung tatortunabhängiger, zeitlich flexibler und individueller Betrachtungen, ohne Spuren zu manipulieren oder gegebenenfalls neue Spuren zu legen und möglicherweise nach einer Überarbeitung auch zur Analyse von Blutspurendaten.

Zur Lösung genannter Probleme werden verschiedene Strategien angedacht. Darunter die Einbeziehung von Parabelberechnungen in die CAD-Zeichnungen sowie eine Tachymeter- oder Laserscanner-Verwendung an Stelle der Photogrammetrie zur Blutspurenvermessung.

9. Literatur

BALTHAZARD V, PRÉDELIÈVRE R, DESOILLE H, DÈROBERT L (1939) Etude Des Gouttes De Sang Projetè. Presented at the 22nd Congress of Forensic Medicine of the French Language, Directeur de L'Institut de Médecine Légale Université René Descartes, Professeur A. Hadengue: Paris, pp. 265-323

BEVEL T, GARDNER RM (2002) Bloodstain pattern analysis: With an introduction to crime scene reconstruction. 2nd edn. CRC Press: Boca Raton Boston London New York Washington DC

BRINKMANN B (1988) Expertisen an biologischen Spuren - Bestandsaufnahme, zukünftige Trends. Z Rechtsmedizin 100:39-54

BRINKMANN B, MADEA B, S.RAND (1985) Charakterisierung von Mikroblutspuren. Z Rechtsmedizin 94:237-244

BRINKMANN B, MADEA B, RAND S (1986a) Zu den Einflußfaktoren auf die Morphologie der Blutspur. Beitr Gerichtl Med XLIV:67-73

BRINKMANN B. MADEA B. RAND S. (1986b) Zur Systematik des Spurenbildes bei Schlagspritzspuren. Beitr Gerichtl Med XLIV:75-80

BRÜSCHWEILER W, Braun M, Fuchser HJ (1997) Photogrammetrische Auswertung von Haut- und Weichteilwunden sowie Knochenverletzungen zur Bestimmung des Tatwerkzeuges - grundlegende Aspekte. Z Rechtsmedizin 7:76-83

BUNKER J L (2001) Identification of stain and pattern characteristics. Blood stain evidence manual: Practical guide to examination of bloodstains and patterns. Volume 3, Center for Public Safety, Northwestern University, DOJE's Press: Evanston Illinois

CARTER AL (2001) The directional analysis of bloodstain patterns - Theory and experimental validation. Can Soc Forens Sci J 34 (4):173-189

CARTER AL (2005a) Directional analysis of bloodstain patterns with a computer. In: JAMES SH, KISH P, SUTTON E, PAULETTE T (ed) Principles of bloodstain pattern analysis: Theory and practice. Taylor & Francis-CRC Press: Boca Raton Florida, pp. 241-261

CARTER AL, ILLES M, MALONEY K, YAMASHITA AB, ALLEN B, BROWN B, DAVIDSON L, ELLIS G, GALLANT J, GRADKOWSKI A, HIGNELL J, JORY S, LATURNUS PL, MOORE CC, PEMBROKE R, RICHARD A, SPENARD R, STEWART C (2005b) Further validation of the BackTrack™ computer program for bloodstain pattern analysis – Precision and accuracy. IABPA News 21(3):15-22 (<http://www.iabpa.org>)

CHAFE F (2007) Technical article, the tangent method and spreadsheets, determining point or area of origin in bloodstain pattern analysis. IABPA News 23:4-14 (<http://www.iabpa.org>)

CHRISTMAN DV (1993) The collection and preservation of bloodstain evidence found on sheetrock surfaces. IABPA News 9 (1):6-10 (<http://www.iabpa.org>)

CLARK K (2006) Differentiating high velocity blood spatter patterns, expired bloodstains, and insect activity. IABPA News September, p. 8-20 (<http://www.iabpa.org>)

COURTNEY M (1991) Blood spatter evidence and reconstruction of events. Retrieved Oct.26.2003. Forensic Consultant Services: Fort Worth TX (<http://www.acfei.com>)

DUCHESNE A (2003) Spuren: Erkennung, Sicherung, morphologische Blutspurenanalyse. In: Madea B, Brinkmann B (Hrsg) Handbuch gerichtliche Medizin. Band 2, Springer: Berlin Heidelberg New York, S. 235-249

ECKERT WG, JAMES SH (1993) Interpretation of bloodstain evidence at crime scenes. CRC Press: Boca Raton Florida

FISCHER W (2001) Velocity problems and pressure differentials in the formation of bloodstains. Letter to the Editor, IABPA News, Juni, p. 5-8 (<http://www.iabpa.org>)

GARDENER RM (1995) Computer aided analysis: capabilities and limitations. Part I. IABPA News 11:15-22 (<http://www.iabpa.org>)

GRIFFIN TJ, ANDERSON JW (1993) Out on a tangent with bloodstain pattern interpretation. IABPA News 9(1):3-5 (<http://www.iabpa.org>)

Homepage der Firma AICON: <http://www.aicon.de/Fotogrammetrie>, 21. Mai 2007

HULSE-SMITH L, MEHDIZADEH NZ, CHANDRA S (2005) Deducing dropsize and impact velocity from circular bloodstains. J Forensic Sci 50:54-63

JAMES SH, ECKERT WG (1999) Interpretation of bloodstain evidence at crime scenes. 2nd edn. CRC Press: Boca Raton Boston London New York Washington DC

JAMES SH, KISH PE, SUTTON TP, PAULETTE T (2005) Principles of bloodstain pattern analysis: Theory and practice. Taylor & Francis-CRC Press: Boca Raton Florida

KARGER B, NÜSSE R, BRINKMANN B, SCHROEDER G, WÜSTENBECKER S (1996) Backspatter from experimental close-range shots to the head, I. Macrobackspatter. Int J Legal Med 109:66-74

KARGER B, NÜSSE R, TRÖGER HD, BRINKMANN B (1997) Backspatter from experimental close range shots to the head-II. Microbackspatter and the morphology of bloodstains. Int J Legal Med 110:27-30

KARGER B, RAND SP, BRINKMANN B (1998) Experimental bloodstain on fabric from contact and from droplets. Int J Legal Med 111(1):17-21

KERCHEVAL J (1999) Basic bloodstain concepts for area of origin calculations. Part I. MAAFS Newsletter 27(2) (<https://www.aafs.org>)

KRAUS K (1994) Fotogrammetrie, Grundlagen und Standardverfahren. 5. Auflage, Band 1, Dümmler: Bonn

LABER TL (1985) Diameter of bloodstains as function of origin, distance fallen and volume of drop. IABPA News 2:12-16 (<http://www.iabpa.org>)

LINDNER W (2004) Digitale Photogrammetrie am PC. Aktuelle Entwicklungen und Anwendungen in den Geowissenschaften. Habilitationsschrift, Düsseldorf

LOCHTE TH (1933) Über die Kronenbildung des auffallenden Blutropfes und ihre Beziehung zu sekundären Blutspritzern. Dtsch Z ges Gerichtl Med 22:387-397

LUHMANN T (2000) Nahbereichsphotogrammetrie: Grundlagen, Methoden und Anwendungen. 1. Auflage, Wichmann: Heidelberg

LYTLE LT, HEDGECOCK DG (1978) Chemiluminescence in the visualization of forensic bloodstains. J Forensic Sci 23:550-555

MACDONELL HL (1971) Flight characteristics and stain patterns of human blood. U.S. Department of Justice, L.E.A.A., National Institute of Law Enforcement and Criminal Justice (Nile CIPR71-74): Washington DC

MACDONELL HL (1982) Bloodstain pattern interpretation. Laboratory of Forensic Science: Corning New York

MACDONELL HL (1999) Dr. John H. Göhringer Bloodstain pattern pionier. Laboratory of Forensic Science: Corning New York

MACDONELL HL (2005) Blutspuren Bilder. 2. Aufl., übers. von Schweizer Andreas, Golos Printing: New York Zürich

MCGUIRE A, ROWE W (2004) On Blood stain pattern analysis dropped from known height on to an angled medium. Department of Forensic Science, The George Washington University: Washington DC

MESSER J (1997) Abstract art or hardcore evidence: Modern interpretation of blood spatter evidence and its admissibility in court. Iowa State Medical examiner's Newsletter Sept.- Oct., Iowa

MESSLER H, BERGHAUS G, DOTZAUER G (1982) Der Einfluss textiltechnischer Größen eines Spurenträgers auf die Aufnahmefähigkeit für Blut. Arch Kriminol 169:99-113

PACE A (2005) The Relationship between errors in ellipse fitting and the increasing degree of error in angle of impact calculation. IABPA News 21:12-22 (<http://www.iabpa.org>)

PACE A, CARTER AL, MOORE C, YAMASHITA B (2006) Another treatment of three-dimensional bloodstain pattern analysis. IABPA News, March 2006, p.4-11 (<http://www.iabpa.org>)

PIOTROWSKI E (1895) Über Entstehung der Blutspuren nach Hiebwunden des Kopfes. Virchows Jahresber I:449

PIZZOLA PA, ROTH S, DE FOREST PR (1986a) Blood droplet dynamics -I. J Forens Sci 31(1):36-49

PIZZOLA PA, ROTH S, DE FOREST PR (1986b) Blood droplet dynamics -II. J Forens Sci 31(2):50-64

RAYMOND MA, SMITH ER, LIESEGANG J (1996) The physical properties of blood-forensic considerations. Sci Justice 36:153-160

ROLLEI FOTOTECHNIK, Benutzerhandbuch RolleiMetric CDW/MSR. Version 4.0, Abteilung RolleiMetric: Braunschweig

ROWE WF (2005a) Errors in the determination of the point of origin of bloodstains. Forensic Sci Int 161:47-57

ROWE WF (2005b) The distribution of shotgun pellets after ricochet from an intermediate target surface. Forensic Sci Int 155:188-192

SELLIER K UND KNEUBUEHL BP (2001) Wundballistik und ihre ballistischen Grundlagen. Springer: Berlin

STROPPE H (2003) Physik für Studenten der Natur- und Ingenieurwissenschaften. 12. Auflage, Carl Hanser: Leipzig

SURWALD C, WARD-BOOTH P (2000) Initial experiences with digital 3-dimensional stereophotogrammetry imaging. Mund Kiefer Geschtschir 4 (3):183-6

WIEGAND P, ROLF B (2003) Analyse biologischer Spuren, Teil I: Funktionelle Blutspurenmorphologie, Körpersekrete, Haare. Detektions- und Nachweismethoden. Z Rechtsmedizin 13:103-106

WOLSON TL (1995) Documentation of bloodstain pattern evidence. J Forensic Ident 45 (4):396-408

WONDER A (2001) Blood dynamics. Academic Press: San Diego CA

ZIEMKE E (1914) Die Untersuchung von Blutspuren. In: Th Lochte (Hrsg) Gerichtsärztliche und polizeiärztliche Technik. Bergmann: Wiesbaden, S.152-215

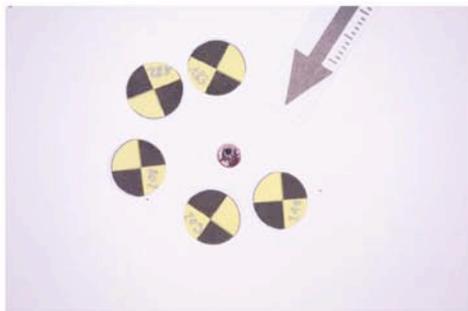
10. Anhang

Abbildung 18 zeigt die Anordnungen der Blutspuren im Raum für den ersten Versuch. Die grünen Nummerierungen entsprechen dem jeweiligen Blutspurenbereich.

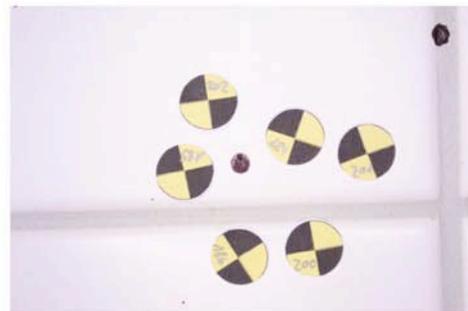


Abb. 18: Anordnung der Blutspuren im Raum Versuch 1

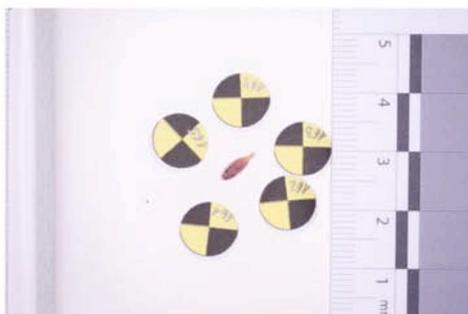
Abbildung 19 zeigt die entzerrten Makroaufnahmen der Blutspuren 1 bis 8 des ersten Versuches mit ihren durchnummerierten, in gelb-schwarze Sektoren untergliederten Bezugspunkten.



Spur 1



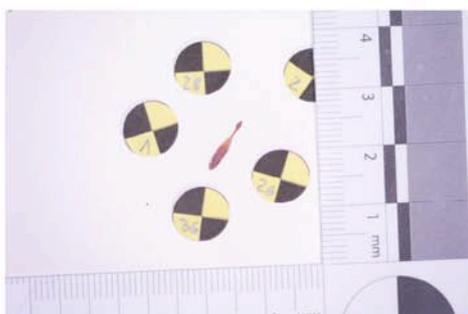
Spur 1



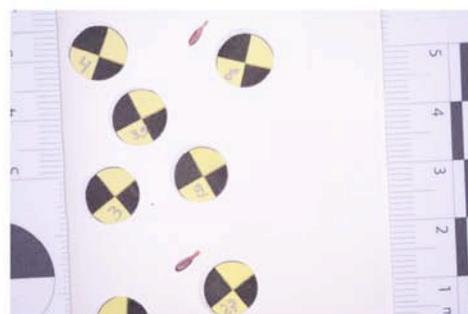
Spur 2.1



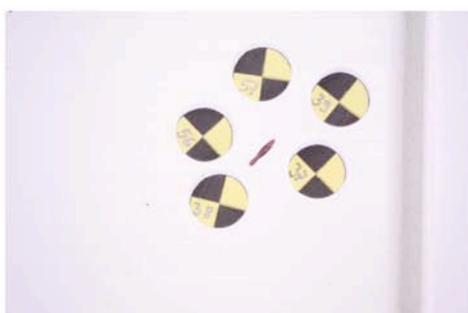
Spur 2.2



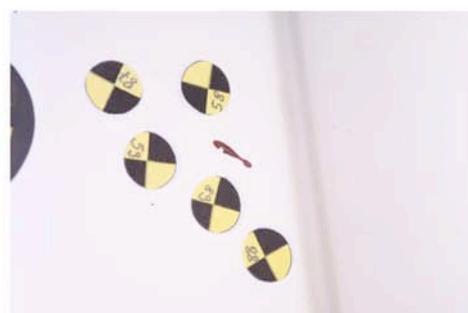
Spur 3.1



Spur 3.2 + 3.3

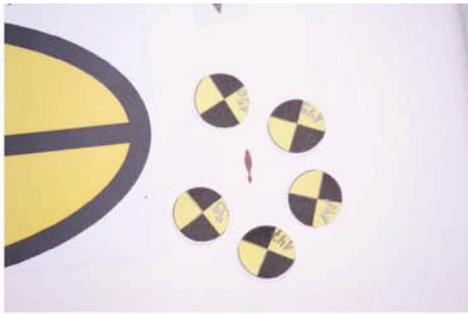


Spur 4.1

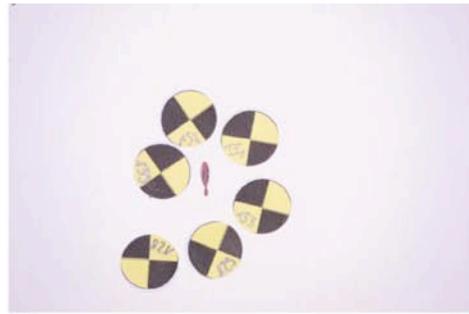


Spur 4.2

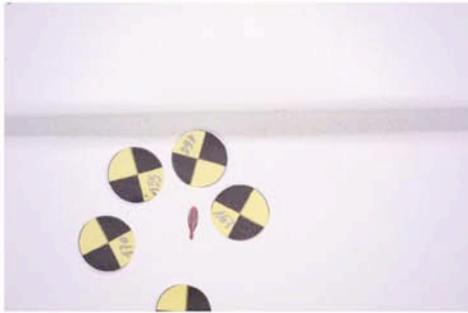
Abb. 19a: Makroaufnahmen Versuch 1 Spuren 1 bis 4.2



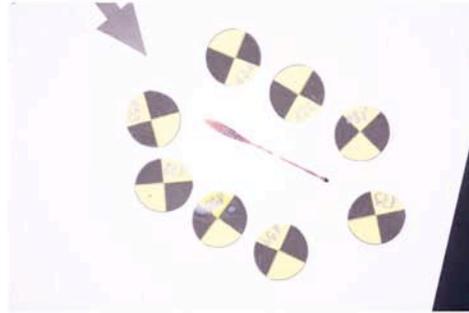
Spur 5.1



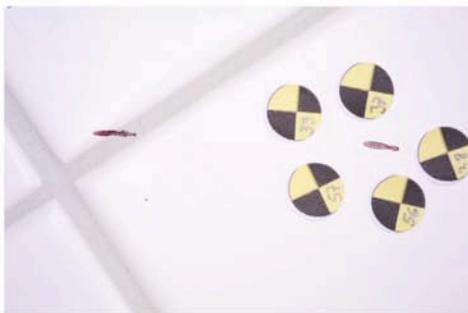
Spur 5.2



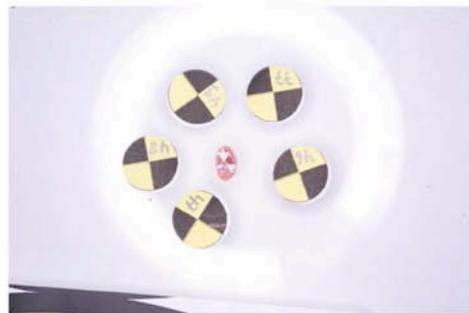
Spur 5.3



Spur 6.1



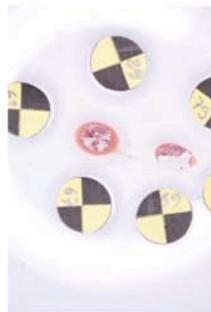
Spur 6.2 + 6.3



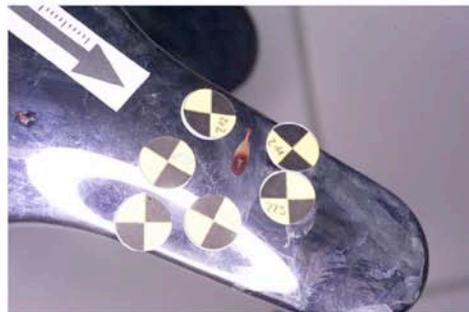
Spur 7.1



Spur 7.2



Spur 7.3



Spur 8

Abb. 19b: Makroaufnahmen Versuch 1 Spuren 5.1 bis 8

In Abbildung 20 sind die Anordnungen der Blutspuren im Raum für den zweiten Versuch fotografiert. Die grünen Nummerierungen entsprechen dem jeweiligen Blutspurenbereich. Zudem ist die Rohr-Hammerkopf-Installation abgebildet.

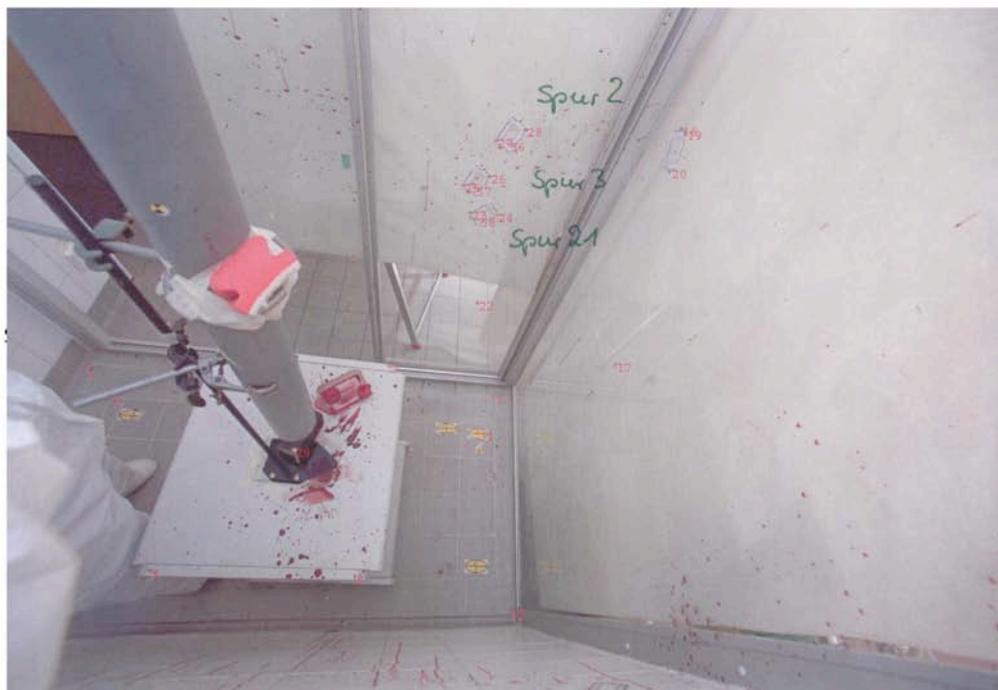
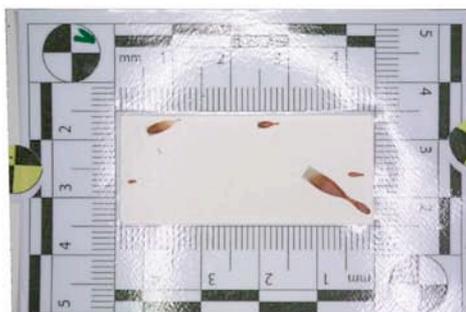


Abb. 20a: Anordnung der Blutspuren im Raum Versuch 2



Abb. 20b: Anordnung der Blutspuren im Raum Versuch 2

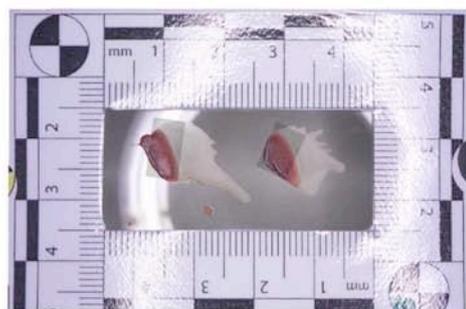
Abbildung 21 zeigt die entzerrten Makroaufnahmen der Blutspuren 1 bis 28 des zweiten Versuches mit ihren durchnummerierten Markierungen.



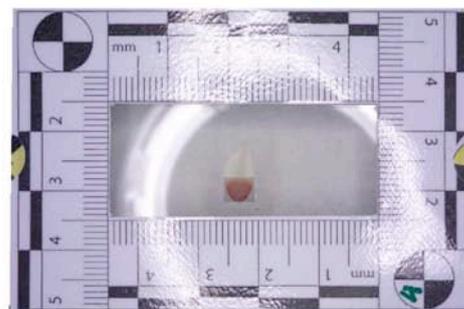
Spur 1



Spur 2

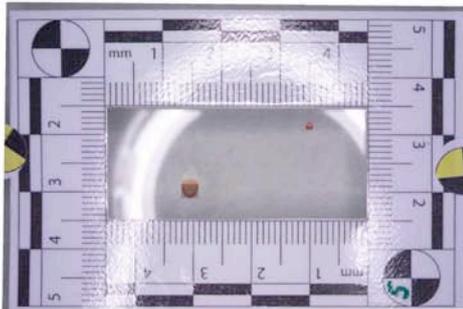


Spur 3



Spur 4

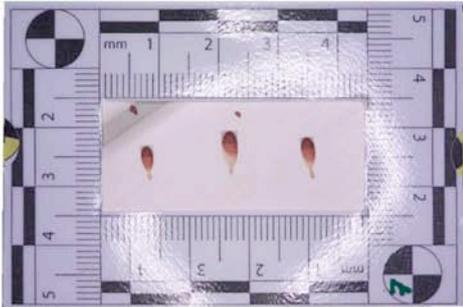
Abb. 21a: Makroaufnahmen Versuch 2 Spuren 1 bis 4



Spur 5



Spur 6



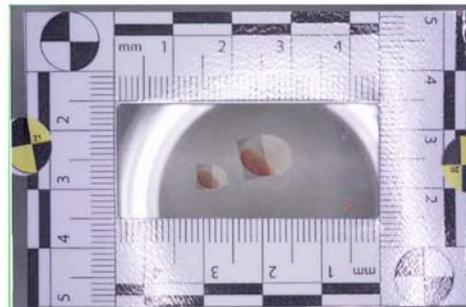
Spur 7



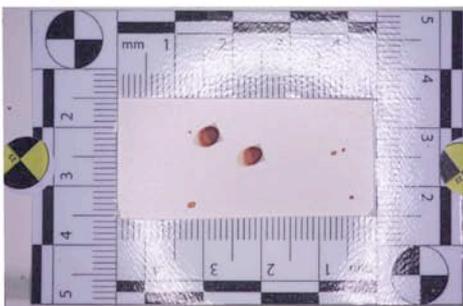
Spur 8



Spur 9



Spur 21



Spur 23



Spur 24



Spur 28

Abb. 21b:

Makroaufnahmen

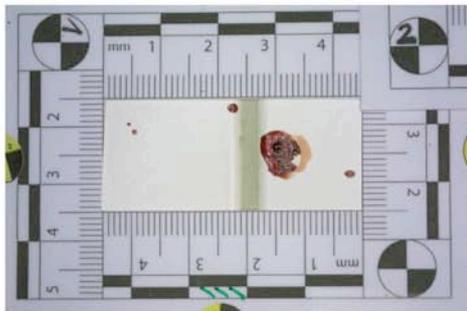
Versuch 2 Spuren 5 bis 28

In Abbildung 22 sind die Anordnungen der Blutspuren im Raum für den dritten Versuch fotografiert. Die grünen Nummerierungen entsprechen dem jeweiligen Blutspurenbereich.

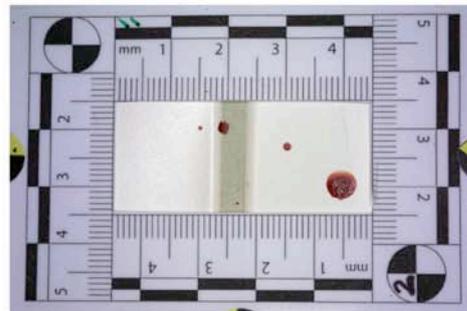


Abb. 22: Anordnung der Blutspuren im Raum Versuch 3

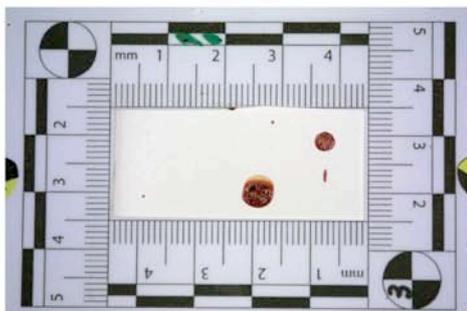
Abbildung 23 zeigt die entzerrten Makroaufnahmen der Blutspuren 1 bis 21 des dritten Versuches und ihre durchnummerierten, mit Millimeterangaben versehenen Markierungen.



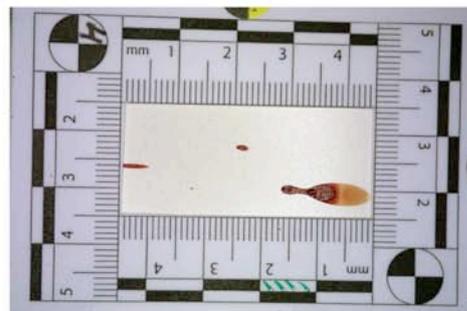
Spur 1



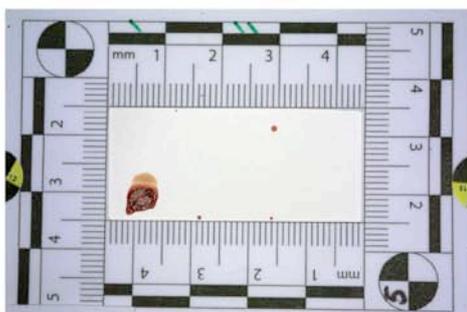
Spur 2



Spur 3



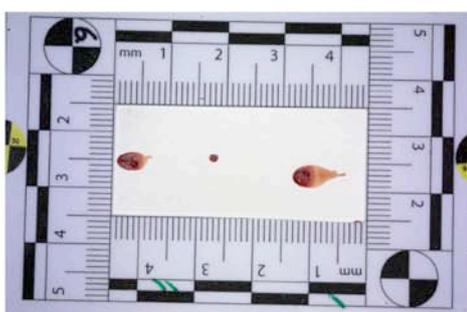
Spur 4



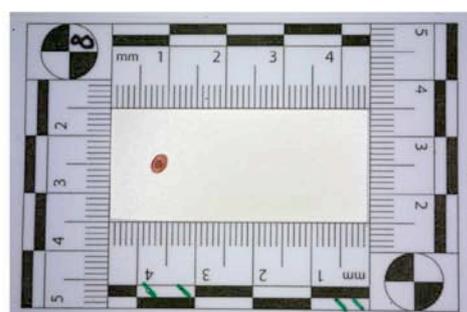
Spur 5



Spur 6

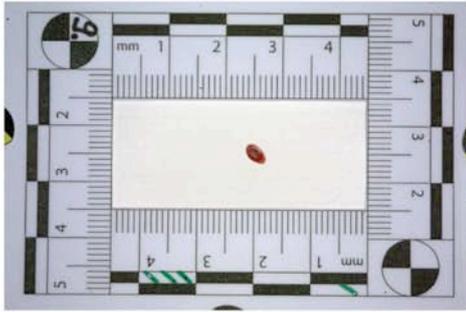


Spur 7

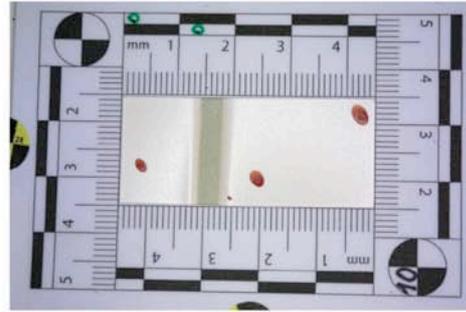


Spur 8

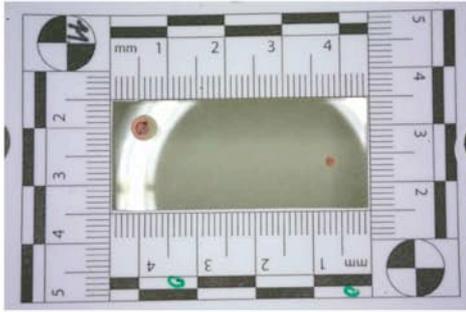
Abb. 23a: Makroaufnahmen Versuch 3 Spuren 1 bis 8



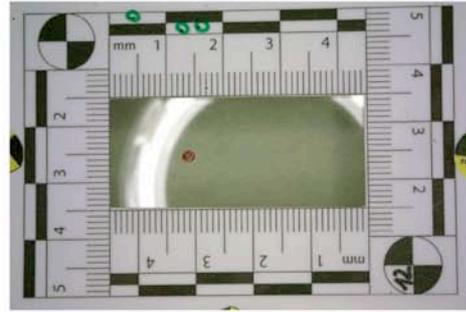
Spur 9



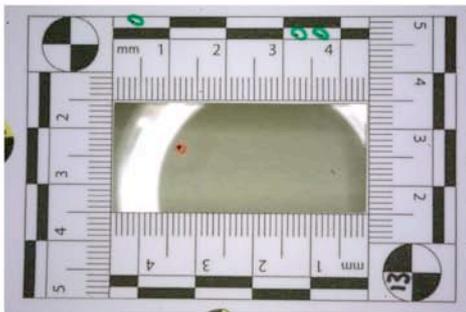
Spur 10



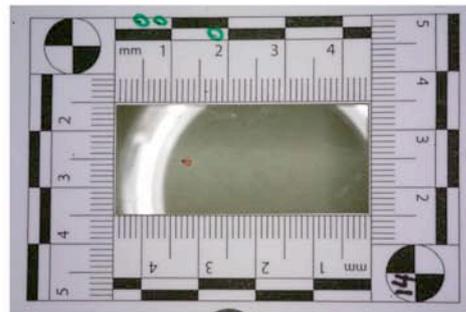
Spur 11



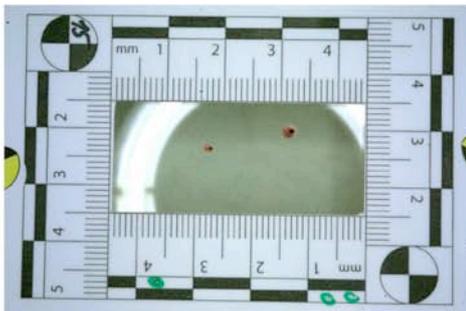
Spur 12



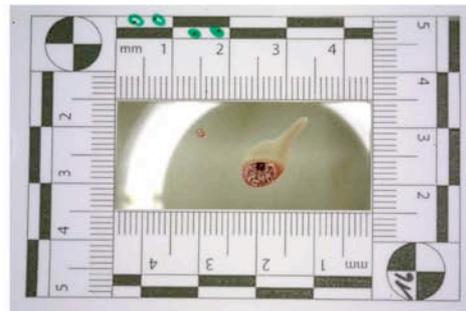
Spur 13



Spur 14



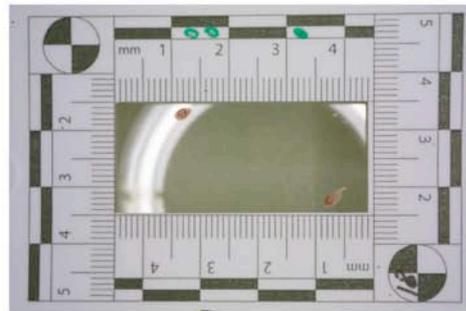
Spur 15



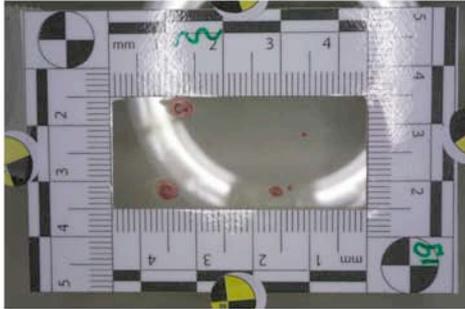
Spur 16



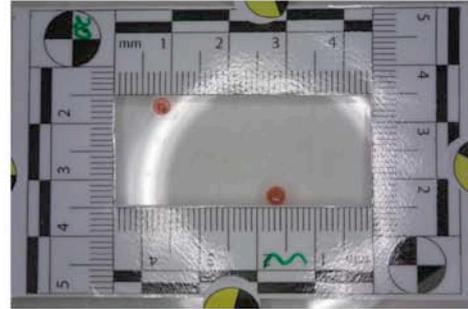
Spur 17



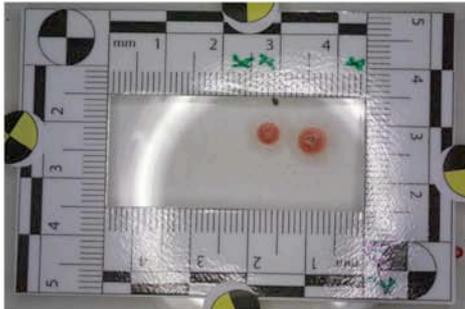
Spur 18



Spur 19



Spur 20



Spur 21

Abb. 23b:

Makroaufnahmen

Versuch 3 Spuren 9 bis 21

Tabellen 7 bis 9 zeigen die Übersichten der Längen- und Breitenmessung der einzelnen Blutspurenellipsen in Millimetern und deren Blutspurenbereichszugehörigkeit für alle drei Versuche.

Tab. 7: Übersicht der Blutspurenellipsenmaße in Millimetern Versuch 1

Spur Nr.	Länge und Breite
Spur 1	1.1) L: 4,4 B: 4,1 1.2) L: 3,5 B: 3,3
Spur 2	2.1) L: 6,6 B: 2,4 2.2) L: 3,1 B: 1,4 2.3) L: 6,5 B: 2,9
Spur 3	3.1) L: 5,5 B: 1,9 3.2) L: 4,9 B: 1,8 3.3) L: 3,4 B: 1,4
Spur 4	4.1) L: 4,4 B: 1,2 4.2) L: 4,8 B: 1,7
Spur 5	5.1) L: 3,9 B: 1,3 5.2) L: 4,3 B: 1,5 5.3) L: 4,5 B: 1,9
Spur 6	6.1) L: 6,9 B: 1,7 6.2) L: 8,4 B: 2,7 6.3) L: 3,8 B: 1,1
Spur 7	7.1) L: 6 B: 4 7.2) L: 7,6 B: 5,9 7.3) L: 5,3 B: 1,7
Spur 8	8.1) L: 6,8 B: 2,7
Mittelwert	L: 5,2 B: 2,3

Legende: L = Länge, B = Breite. Die Auflistung innerhalb der Längen- / Breiten-Spalte für jede einzelne Spurenzeile gibt die Anzahl der Einzelspuren und deren jeweilige Größe, in Millimetern, für jeden Spurenbereich wieder.

Tab. 8: Übersicht der Blutspurenellipsenmaße in Millimetern Versuch 2

Spur Nr.	Länge und Breite
Spur 1	1.1) L: 4,5 B: 1,8 1.2) L: 2,9 B: 1,1 1.3) L: 8,2 B: 2,5
Spur 2	2.1) L: 6 B: 4,6 2.2) L: 6,3 B: 5,6
Spur 3	3.1) L:10,4 B: 9,8 3.2) L: 10,6 B: 8
Spur 4	4.1) L: 8,2 B: 5
Spur 5	5.1) L: 4,8 B: 3 5.2) L: 1,4 B: 1,3
Spur 6	6.1) L: 7 B: 5,5 6.2) L: 4,7 B: 3,2 6.3) L: 4,1 B: 2
Spur 7	7.1) L: 4,2 B: 2,6 7.2) L: 4,2 B: 2,3
Spur 8	8.1) L: 3,6 B: 1,9 8.2) L: 4 B: 2,3
Spur 9	9.1) L: 13 B: 4,4 9.2) L: 5,3 B: 1,6 9.3) L: 5,9 B: 2 9.4) L: 2,2 B: 1
Spur 21	21.1) L: 5,4 B: 4,1 21.2) L: 8,4 B: 7,3
Spur 23	23.1) L: 4,2 B: 3,3 23.2) L: 3,9 B: 3,1
Spur 24	24.1) L: 5,6 B: 5
Spur 28	28.1) L: 4,4 B: 2,4
Mittelwert	L: 5,7 B: 3,6

Tab. 9: Übersicht der Blutspurenellipsenmaße in Millimetern Versuch 3

Spur Nr.	Länge und Breite	Spur Nr.	Länge und Breite
Spur 1	1.1) L: 9,1 B: 7,8 1.2) L: 1,5 B: 1,3	Spur 12	12.1) L: 2,6 B: 1,8
Spur 2	2.1) L: 5,2 B: 5 2.2) L: 1,4 B: 1,3 2.3) L: 0,8 B: 0,7	Spur 13	13.1) L: 2,5 B: 2,4
Spur 3	3.1) L: 5,8 B: 5,4 3.2) L: 3,6 B: 3,6	Spur 14	14.1) L: 1,5 B: 1,5
Spur 4	4.1) L: 10,2 B: 3,9 4.2) L: 2,1 B: 1	Spur 18	18.1) L: 3,4 B: 1,8 18.2) L: 3 B: 1,6
Spur 5	5.1) L: 5 B: 4,6	Spur 19	19.1) L: 3 B: 1,8 19.2) L: 4,8 B: 3,5 19.3) L: 4,7 B: 3,5
Spur 6	6.1) L: 4,8 B: 3,9 6.2) L: 1,8 B: 1,5 6.3) L: 5,3 B: 3,2	Spur 20	20.1) L: 3,6 B: 3,4 20.2) L: 3,2 B: 3,2
Spur 7	7.1) L: 3,7 B: 2,9 7.2) L: 2,7 B: 2,1	Spur 21	21.1) L: 5,4 B: 5,2 21.2) L: 4,3 B: 4,2
Spur 8	8.1) L: 3,6 B: 2,8		
Spur 9	9.1) L: 3,8 B: 2,5		
Spur 10	10.1) L: 4,3 B: 2,4 10.2) L: 3,4 B: 2,24 10.3) L: 2,8 B: 1,7		
Spur 11	11.1) L: 5 B: 4,6 11.2) L: 2 B: 1,9		
		Mittelwert	L: 3,7 B: 2,9

Legende: L = Länge, B = Breite. Die Auflistung innerhalb der Längen- / Breiten-Spalte für jede einzelne Spurenzeile gibt die Anzahl der Einzelspuren und deren jeweilige Größe, in Millimetern, für jeden Spurenbereich wieder.

Begriffsklärung der Photogrammetrie

Bildraum: Bildkoordinatensystem, bei Aufnahmen mit Digitalkamera gegeben durch den Sensor. Gegenteil => Objektraum

Block: Bildverband; Summe aller zu einem Projekt gehörender Bilder.

Homologe Punkte: Übereinstimmende Positionen von Objektpunkten in zwei oder mehr Bildern.

Kalibrierung: Ermittlung der systematischen geometrischen und/oder radiometrischen Fehler eines Gerätes (Kamera).

Kalibrierungszertifikat: Auskunft über Parameter der inneren Orientierung einer Kamera; enthält Angaben zur Brennweite, den Rahmenmarken-Sollkoordinaten, der Objektverzeichnung usw.

Messkamera (metrische Kamera): Kamera, bei der die innere Orientierung bekannt ist.

Objektraum: "Reale Welt", beschrieben durch das Objektkoordinatensystem (z.B. Landeskoordinaten). Gegenteil => Bildraum.

Orientierung: Beschreibung der geometrischen Parameter der Kamera (innere Orientierung), des Stereomodells (relative Orientierung) und seiner Lage im Objektraum (absolute Orientierung). Zur inneren Orientierung gehören die Kamerakonstante, die Verzeichnung des Objektes und die Lage des Bildhauptpunktes. Die Parameter der inneren Orientierung werden bei der Kalibrierung des Aufnahmesystems durch den Hersteller ermittelt.

Passpunkt: Punkt, dessen Koordinaten (x, y, z) bekannt sind und der in einem Bild oder mehreren Bildern eindeutig identifiziert werden kann. Durch Messung von Passpunkten im Bild kann dieses orientiert oder entzerrt werden.

LINDNER W. (2004)

Bündeltriangulation (Bündelblockausgleichung, Mehrbildtriangulation, Mehrbildorientierung): Dabei werden einzelne Bilder mit Hilfe korrespondierender Punkte zu einem Gesamtmodell verknüpft, indem das Objekt bereits vollständig dreidimensional rekonstruiert werden kann. Sie ist das genaueste und leistungsfähigste Verfahren zur Bildorientierung und Punktbestimmung in der Photogrammetrie, da alle beobachteten Größen und alle unbekannt Parameter eines photogrammetrischen Bildverbandes in einem simultanen Berechnungsvorgang berücksichtigt werden.

LUHMANN (2000)

Bildverband: Gruppe von Messbildern, für die in einem Auswerteschritt die Mehrbildorientierung bzw. Bündelausgleichung durchgeführt werden soll.

Mehrbildorientierung: Verfahren zur Rekonstruktion der Aufnahmesituation eines Bildverbandes.

Projektionszentrum: Punkt im Objektiv, in dem sich alle Strahlen bei der Zentralperspektive schneiden.

ROLLEIMETRIC HANDBUCH

DANKSAGUNG

Herzlich bedanken möchte ich mich bei allen Personen, die direkt und indirekt zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen haben, im Besonderen bei:

Herrn Prof. Dr. med. Püschel für die Überlassung dieses interessanten Themas.

Frau Dr. med. A. Klein und Herrn Dr. med. A. Gehl für die sehr angenehme Betreuung, immer zur Verfügung stehende Hilfsbereitschaft sowie tatkräftige Unterstützung bis zur endgültigen Niederschrift dieser Arbeit.

Frau A. Schröder und Herrn F. Dawidzinski, auch stellvertretend für das gesamte Team der Abteilung für Fotografie und Tatortrekonstruktion des Landeskriminalamtes LKA 38 in Hamburg, für die reibungslose und sehr unkomplizierte Zusammenarbeit bei den photogrammetrischen Vermessungen, den Bearbeitungen der Daten zu CAD-Zeichnungen sowie für die geduldigen Erläuterungen und technischen Beratungen.

Herrn Prof. Dr. rer. nat. Beck-Bornholdt für die wertvollen Ratschläge und anhaltende Ermutigung die Arbeit abzuschließen.

M. Leßmöllmann für seine unverzichtbare grafische Unterstützung und liebevolle Begleitung in allen Phasen dieser Arbeit, aber vor allem für seinen unerschütterlichen Glauben in mich.

Schließlich möchte ich meiner Familie danken, ohne die für mich das Studium der Humanmedizin nicht möglich gewesen wäre.

LEBENS LAUF

Aufgrund datenschutzrechtlicher Bestimmungen ist der Lebenslauf in der Onlineversion der Dissertation nicht verfügbar.

EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe. Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Hamburg, den

(Carmen Lange)