

Laserscanning in der Kriminalistik*

Ursula Buck

Zusammenfassung

Seit Ende der 90er Jahre wird die Photogrammetrie zur Vermessung von Ereignisorten und seit einigen Jahren auch bei der Rechtsmedizin zur Dokumentation von Verletzungen eingesetzt. Heute hat sich das Laserscanning als hilfreiches Messverfahren im forensischen Aufgabengebiet etabliert. Neben dem Laserscanning für die Vermessung der Örtlichkeit, wird das optische Oberflächenscanning für die Dokumentation von Tatwerkzeugen, Unfallfahrzeugen und Verstorbenen eingesetzt. Zur Dokumentation der Befunde im Körperinneren werden beim Zentrum für Forensische Bildgebung & Virtopsy® am Institut für Rechtsmedizin Bern radiologische, bildgebende Verfahren eingesetzt.

Die dokumentierten, virtuellen Daten des Unfall- oder Tatortes, der Verstorbenen und der Tatmittel sind Grundlage für weiterführende forensische Analysen und geometrische Rekonstruktionen. So ist durch den computergestützten Vergleich der hochauflösenden Modelle eine geometrische Zuordnung des verletzungsverursachenden Tatwerkzeuges zur Verletzung möglich. Zur Klärung des Tat- oder Unfallhergangs können virtuelle Rekonstruktionen unter Einbezug der dokumentierten Daten, Spuren und Befunde am Ereignisort, des Verstorbenen/Tatverdächtigen und des Tatwerkzeuges durchgeführt werden. Als Beispiel werden eine tödliche Schussabgabe und eine Flugunfallrekonstruktion gezeigt.

Die 3D-Rekonstruktion von Unfall- und Tathergängen ist am Institut für Rechtsmedizin Bern und bei der Kantonspolizei Bern zu einem bedeutenden Arbeitsbereich geworden, welcher noch hohes Entwicklungspotential bietet.

Summary

Since the late 90s, photogrammetry is used for the measurement of accident sites and crime scenes, and in recent years it has also been applied in forensic medicine for the documentation of injuries. Today, laser scanning is established as a useful measuring method in the forensic work field. In addition to laser scanning for the measurement of the location, 3D optical surface scanning is applied for the documentation of tools, accident vehicles and the deceased. At the Center of Forensic Imaging & Virtopsy® of the Institute for Forensic Medicine Bern the internal findings of the body are documented using radiological imaging procedures.

The virtual data of the accident or crime scene, of the deceased and the injury-causing instruments are the basis for further forensic analyses and geometric reconstructions. By

comparison of the high-resolution 3D models, geometric mapping of the injury to the injury-causing instrument is possible.

To clarify the course of crime or accident, virtual reconstructions can be performed under inclusion of the documented data of the traces and findings at the site, of the deceased/suspects and the injury-causing instruments. As an example, a shooting case and an air crash reconstruction are shown.

The 3D reconstruction of the course of accident or crime has become a major working area at the Institute for Forensic Medicine in Bern and the Canton Police Bern, which still has great potential of development.

1 Einleitung

In der Forensik sind zur Unfalldokumentation seit den 30er Jahren photogrammetrische Messsysteme (Stereomesskammern) im Einsatz. Ende der 90er Jahre wurde in vielen Ländern die Nahbereichsphotogrammetrie eingeführt. Die Mehrbildphotogrammetrie eröffnete neue Möglichkeiten für die Kriminaltechnik. So wurde auch bei Kapitaldelikten die Photogrammetrie eingesetzt, beispielsweise zur Vermessung von Tatorten und zum Erstellen von 3D-Plänen sowie bei der Größenbestimmung von Straftätern mittels Aufnahmen von Überwachungskameras (Buck 2001). Auch in der Rechtsmedizin wurde dieses Verfahren zur Dokumentation von äußeren Verletzungen und zum Vergleich mit dem mutmaßlichen Tatwerkzeug angewandt (Brueschweiler et al. 1997).

Heute hat sich das 3D-Laserscanning als hilfreiches Messverfahren im forensischen Aufgabengebiet etabliert. Immer mehr Länder setzen das Laserscanning zur Unfall- und Tatortdokumentation ein (Petershans et al. 2007). In der Schweiz gibt es zwei zentrale Stellen, bei der Stadtpolizei Zürich und bei der Kantonspolizei Bern. Die Stadtpolizei Zürich setzt einen HDS 6000/Z+F 5006 ein und bei der Kantonspolizei Bern ist eine Leica Scanstation 2 im Einsatz.

Neben dem Laserscanning für die Vermessung der Örtlichkeit, wird das optische Oberflächenscanning für die Dokumentation von kleinen Objekten wie zum Beispiel von Tatwerkzeugen und Unfallfahrzeugen eingesetzt. Zur Anwendung kommt hier das TRITOP/ATOS III System der Firma GOM (Gesellschaft für optische Messtechnik).

Wie die Photogrammetrie, so finden auch diese modernen Messmethoden nicht nur bei der Polizei, sondern auch im Bereich der Rechtsmedizin ihre Anwendung.

Im Zentrum für Forensische Bildgebung am Institut für Rechtsmedizin der Universität Bern wird, unter der Leitung von Direktor Prof. Dr. med. M. Thali, im Projekt

* Überarbeitete Fassung des Vortrages beim 91. DVW-Seminar »Terrestrisches Laserscanning (TLS 2009). Yes, we Scan!« am 19. und 20. November 2009 in Fulda. Die Seminarbeiträge sind als Band 60 in der Schriftenreihe des DVW erschienen und können beim Wißner-Verlag bestellt werden.

Virtopsy® (www.virtopsy.com) die Anwendung moderner Techniken für die postmortale Dokumentation von forensischen Befunden und für Analysen im Rahmen einer virtuellen Autopsie mit minimal-invasiven Eingriffen erforscht (Brodgon 1998, Thali et al. 2003, Buck 2005, Thali et al. 2005, Buck et al. 2007, Thali et al. 2008). Für die Dokumentation der Befunde des Körperinneren werden die bildgebenden Verfahren Multi Sliced Computed

2 Aufgabengebiet der Forensik

Anwendungsgebiete in der Forensik sind insbesondere die Unfallaufnahme, Spurendokumentation, Tatortvermessung, Körpergrößenbestimmung und Gesichtsvergleich (Messung in Überwachungsaufnahmen) und die Vermessung bei größeren Schadensereignissen und Umweltdelikten (Abb. 1).

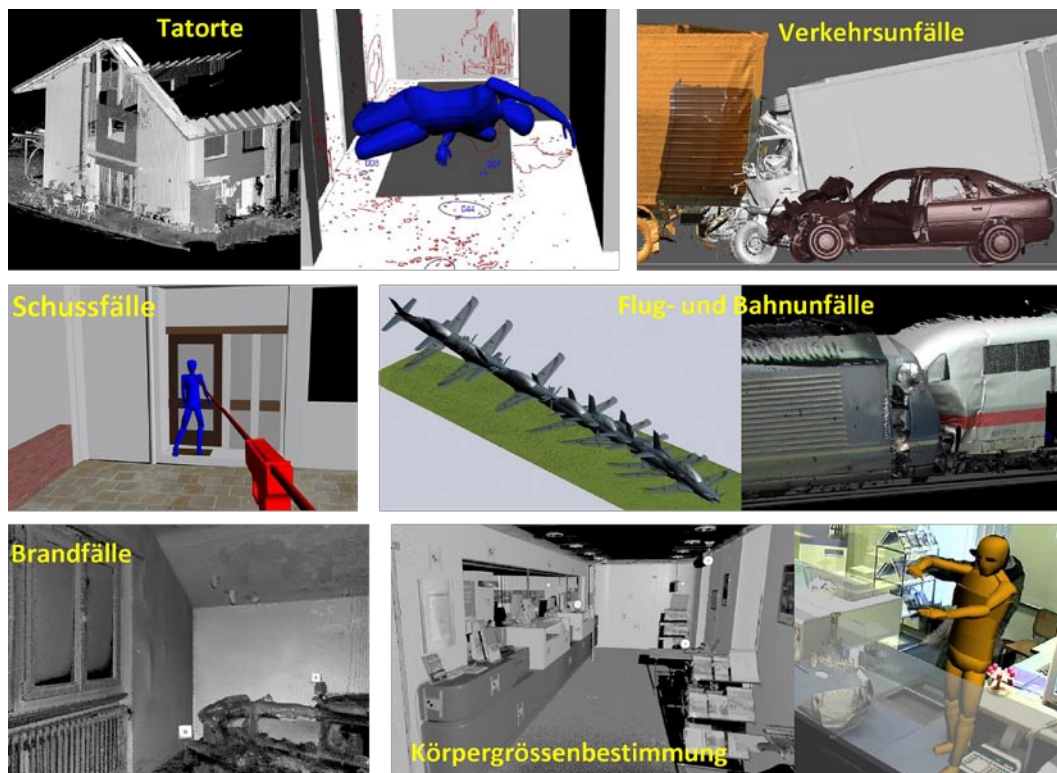


Abb. 1:
Aufgabengebiete der
Fachstelle Vermessung
der Kantonspolizei
Bern

Tomographie (MSCT) und Magnet Resonance Imaging (MRI) eingesetzt. Für die Erfassung der Körperoberfläche mit allen äußeren Befunden sowie für die Dokumentation mutmaßlicher Tatmittel kommt die hochpräzise 3D-Digitalisierung mittels Streifenlichttopometrie zum Einsatz.

Mit Hilfe der erhobenen digitalen 3D-Daten des Körperinneren und der Körperoberfläche werden forensische Rekonstruktionen durchgeführt. Hierbei wird beispielsweise bei einem Tötungsdelikt untersucht, ob ein mutmaßliches Tatwerkzeug die dokumentierten Verletzungen verursacht hat. Bei einem Verkehrsunfall ist es für die Rekonstruktion des Unfallhergangs bedeutsam, die Aufprallsituation geometrisch zu ermitteln.

Bei diesen Analysen und Rekonstruktionen ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Medizinern, Polizisten und Vermessungsingenieuren von großer Bedeutung. Einige Fallbeispiele aus dem Bereich der Rechtsmedizin und Polizei sollen die Messaufgaben und Auswerteverfahren im forensischen Anwendungsgebiet vorstellen.

Beim Institut für Rechtsmedizin wird in außergewöhnlichen Todesfällen, in denen rekonstruktive Fragen offen sind, eine 3D-Dokumentation durchgeführt. Des Weiteren werden lebende Personen dokumentiert, welche geformte Verletzungen vorweisen, beispielsweise eine Verletzung, welche von einem Schuhtritt stammt, oder Bissverletzungen.

3 Forschungsprojekt Virtopsy® – Zentrum für Forensische Bildgebung

Zu den Untersuchungsmethoden der virtuellen Autopsie von Verstorbenen (Virtopsy®) im Zentrum für Forensische Bildgebung zählen die radiologischen Methoden (MSCT/MRI), 3D-Oberflächendigitalisierung, bildgesteuerte Biopsie und postmortale Angiographie (Abb. 2).

Zur Untersuchung wird der Verstorbene auf den CT-Tisch gelegt und im Computertomograph gescannt. In gleicher Position wird auch die Körperoberfläche mit dem Oberflächenscanner erfasst. Dieser ist an einen Roboterarm montiert und kann so die Körperoberfläche vollauto-



Abb. 2: Virtobot 1.0 – der moderne Obduktionssaal des Instituts für Rechtsmedizin Bern

matisch erfassen. Danach werden je nach Indikation die Angiographie und die Biopsie durchgeführt.

4 In der Forensik angewendete Messmethoden

4.1 Unfallort- und Tatortvermessung

Für die Vermessung der Örtlichkeit im Rahmen der Polizeiarbeit ist neben der digitalen Photogrammetrie vor allem der Laserscanner im Einsatz. Aber auch andere Messtechniken wie GPS und Tachymetrie werden angewendet, um einen Unfallort oder Tatort zu vermessen. Oft werden die Verfahren in Kombination eingesetzt. Für die photogrammetrischen Aufnahmen ist auch ein ferngesteuerter Helikopter (AirRobot) mit kalibrierter Kamera im Einsatz, um Messaufnahmen aus der Luft zu fertigen. Aus den erhobenen Daten wird der Ereignisort mittels CAD-Software in 3D modelliert und in Situationsplänen und 3D-Ansichten dargestellt. Die erstellten 3D-Modelle des Unfallortes bilden die Grundlage für geometrische, virtuelle 3D-Rekonstruktionen.

4.2 Dokumentation von Körperoberflächen und Tatinstrumenten

Die exakte dreidimensionale Erfassung der Körperoberfläche eines Unfall- oder Gewaltopfers mit allen Verletzungen sowie die Dokumentation mutmaßlicher Tatwerkzeuge oder der an einem Unfall beteiligten Fahrzeuge werden mit dem GOM TRITOP/ATOS III System (www.gom.com) durchgeführt. Dieses zuverlässige System liefert eine hochauflösende, exakte 3D-Geometrie des Objektes, wobei selbst kleinste Strukturen erkennbar sind. Es ist zur farbechten 3D-Digitalisierung kleinster Verletzungen, aber auch größerer Objekte – wie beispielsweise eines PKW – anwendbar.

GOM TRITOP ist ein industrielles, optisches Messsystem, welches auf dem Prinzip der digitalen Mehrbild-photogrammetrie basiert und für die vollautomatische, hochgenaue Messung von 3D-Koordinaten diskreter Objektpunkte benutzt wird. Die flexible optische Messmaschine GOM ATOS III basiert auf dem Triangulationsprinzip. Zwei Kameras beobachten projizierte Streifenmuster. Für jedes Kamerapixel werden 3D-Koordinaten hochpräzise berechnet und ein Polygonnetz der Oberfläche generiert. Da in der forensischen Anwendung die Farbinformation des Messobjektes für weitere Analysen sehr wichtig ist, wird in TRITOP jedem Punkt des in ATOS erstellten 3D-Oberflächenmodells der entsprechende Farbwert aus den photogrammetrischen Aufnahmen zugewiesen. Das Ergebnis ist ein farbiges maßstäbliches 3D-Modell des Objektes (Abb. 3).

Der Oberflächenscanner kann sowohl stationär an einem Roboterarm montiert als auch mobil mit Stativ und Laptop betrieben werden. So ist es beispielsweise auch möglich, lebende Personen im Spital zu scannen. Auch das Scanning von Unfallfahrzeugen erfolgt extern in einer Autowerkstatt oder Garage der Polizei.

4.3 Dokumentation des Körperinneren

Die bildgebenden Verfahren der Medizin haben in der modernen, ärztlichen Diagnostik und Therapie eine zentrale Bedeutung. Aufgaben dieser diagnoseunterstützenden Bildanalyse sind die Abgrenzung, Analyse, Visualisierung und Identifizierung medizinischer Bildobjekte, z.B. Gewebe, Tumore und Gefäßsysteme. Im Forschungsprojekt Virtopsy® werden MSCT und MRI zur Analyse von Todes-

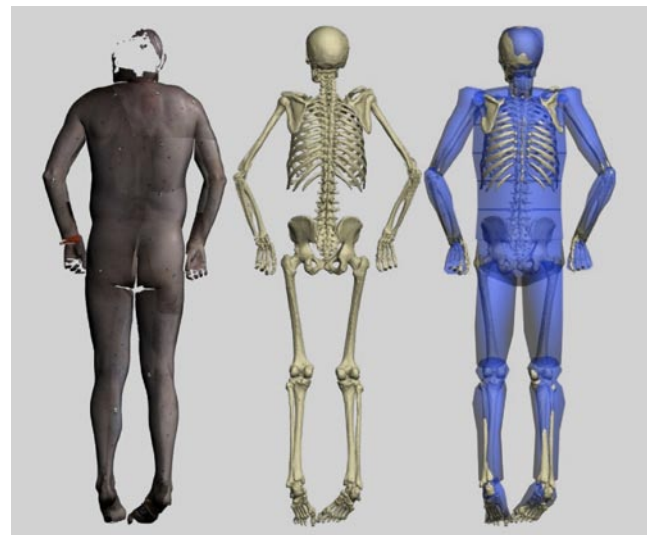


Abb. 3: Maßstäbliches 3D-Modell des Verstorbenen, erstellt mittels Photogrammetrie, Oberflächenscanning (links) und Computertomographie (Mitte). An den Knochenbau wird ein anatomisch korrekt, bewegliches Computermodell angepasst (rechts). Mit Hilfe dieses Modells können die Originaldaten bewegt werden.

art und Todesursache und zum objektiven Beschreiben der inneren Morphologie und Traumata eingesetzt.

Die Computertomographie ist eine Untersuchungstechnik basierend auf Röntgenstrahlen. Dabei wird aus den von einem Computer aufbereiteten Messergebnissen ein Dichteverteilungsgrad der untersuchten Schichten rekonstruiert. Das Ergebnis sind 2D-Schichtbilder des Körperinneren in einer 3D-Bildfolge. Im CT erhält man einen guten Kontrast von Materialien mit unterschiedlichen Dichtewerten wie Knochen, Flüssigkeit und Gas.

Im Gegensatz zu den CT-Bildern weisen die MRI-Schichtbilder einen wesentlich besseren Kontrast im Weichteilbereich auf. Das Magnetresonanzverfahren, auch Kernspintomographie genannt, beruht auf dem Kernspintomographie-Resonanz-Effekt. Mit Hilfe elektromagnetischer Wellen wird die Darstellung von Körperschichten ermöglicht.

Zum Erstellen von 3D-Modellen des Knochenbaus einschließlich vorhandener Knochenverletzungen (Frakturen) und der Hautoberfläche des Verstorbenen aus den CT-Schichtbildern (Abb. 3) wird das Programm Osirix eingesetzt. Dieses Programm arbeitet mit dem Schwellenwertverfahren zur Segmentierung von medizinischen 2D-Schichtbildern in einer 3D-Bildfolge.

5 Geometrische 3D-Rekonstruktionen

5.1 Verkehrsunfall

5.1.1 Fallbeschreibung

Ein Mann wurde am Fusse einer Böschung einer Überlandstraße tot aufgefunden. Tage später konnte ein Fahrzeug sichergestellt werden, welches Beschädigungen aufwies, die für einen Fußgängerunfall typisch sind. Mittels der geometrischen Rekonstruktion sollte herausgefunden werden, ob der Verstorbene von dem sichergestellten Fahrzeug angefahren wurde und wenn ja, in welcher Position er erfasst wurde und wie die Verletzungen entstanden sind.

5.1.2 Analyse und Ergebnisse

Grundlage der dreidimensionalen, geometrischen Rekonstruktion sind die erstellten 3D-Modelle der Körperoberfläche und des Körperinneren des Verstorbenen sowie die Beschädigungen des mutmaßlichen Unfallfahrzeuges (Abb. 4 und 5). Computergestützt werden die 3D-Modelle der Verletzungen und Beschädigungen geometrisch zusammengeführt und auf Übereinstimmung nach Lage zueinander, Maß und Form überprüft. Die Verletzungen am rechten Bein sowie die Wadenbeinfraktur konnte einem Zusammenprall mit der Stoßstange rechtsseitig zugeordnet werden (Abb. 6). Die Verletzungen des Rumpfes rechtsseitig und die Quetschwunde am Hinterkopf mit darunterliegender Schädelfraktur stammten von dem Auf-

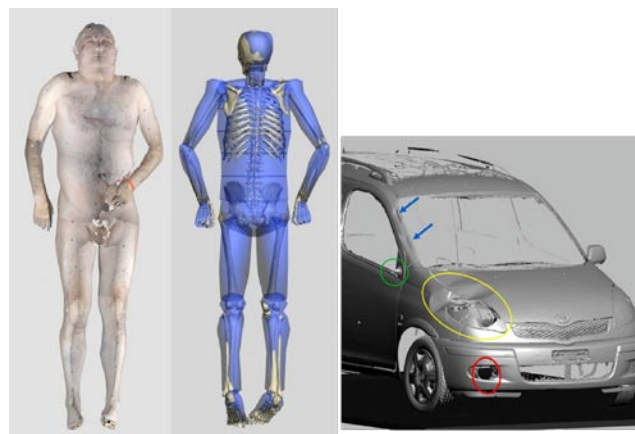


Abb. 4: Maßstäbliches 3D-Modell des Verstorbenen und des mutmaßlichen Unfallfahrzeuges

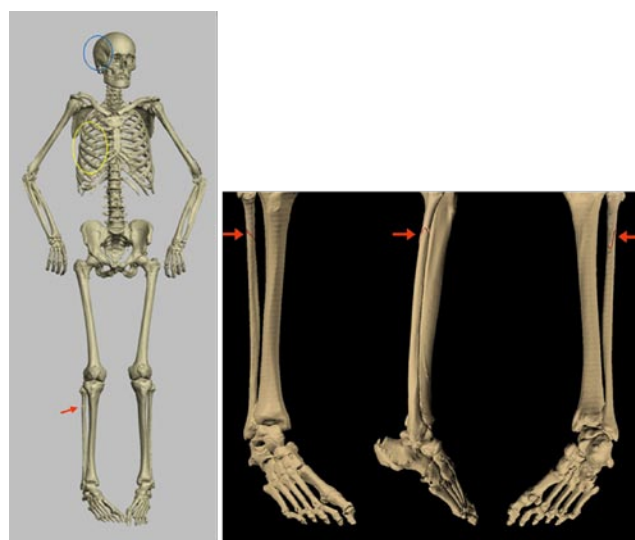


Abb. 5: 3D-Modell des Knochenbaus des Verstorbenen, erstellt aus den CT-Schichtbildern. Der Verstorbene weist eine Schädelfraktur rechts hinten (blauer Kreis), zahlreiche Rippenfrakturen rechtsseitig (gelbe Ellipse) und einen Bruch des rechten Wadenbeins (roter Pfeil) auf. Am Modell des Wadenbeins wurden die Frakturlinien mit roter Farbe verstärkt, um sie deutlich darzustellen.

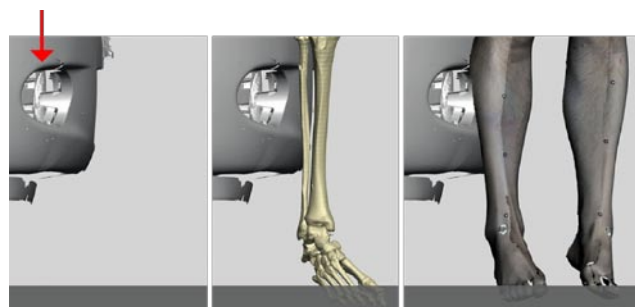


Abb. 6: Darstellung der primären Kollisionsstellung, wie das rechte Bein von der Stoßstange rechtsseitig erfasst wurde. Die Beschädigung der Stoßstange (roter Pfeil) befindet sich auf Höhe der Fraktur des Wadenbeins.

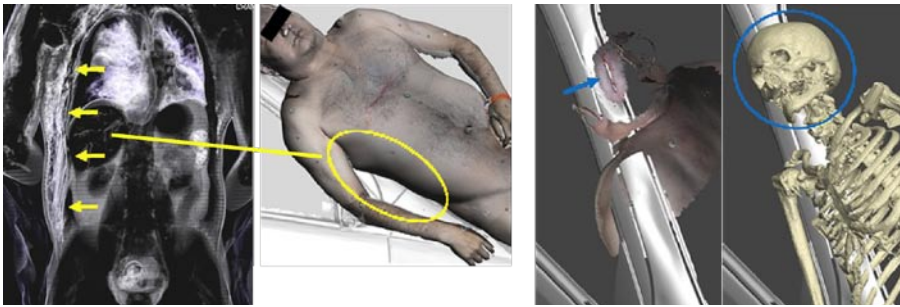


Abb. 7: Auf dem CT-Bild links sind die inneren Verletzungen des Rumpfes ersichtlich. Diese Verletzungen sind durch den Aufprall der rechten Rumpffseite gegen die A-Säule erklärbar. Die Kopfverletzung stammte ebenfalls vom Aufprall mit der A-Säule.

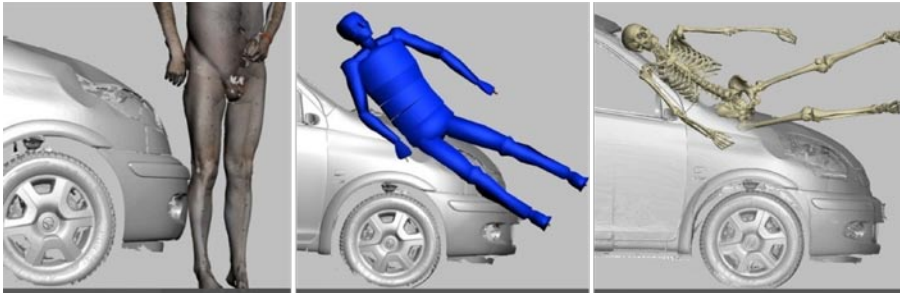


Abb. 8: Darstellung des ermittelten Kollisionsablaufes in 3D

prall der rechten Körperseite des Verstorbenen im Bereich der A-Säule (Abb. 7).

Durch den Vergleich der Verletzungen mit den verursachenden Fahrzeugstrukturen konnte der Kollisionsvorgang ermittelt werden. Der am rechten Straßenrand stehende Mann wurde von rechts von der rechten Fahrzeugseite erfasst und aufgeladen. Die Beschädigungen am Fahrzeug konnten den Verletzungen des Verstorbenen zugeordnet werden. Abb. 8 zeigt die Ergebnisse der geometrischen Unfallrekonstruktion.



Abb. 9: CT-Bild des Beckens. Der rote Pfeil zeigt das Projektil.

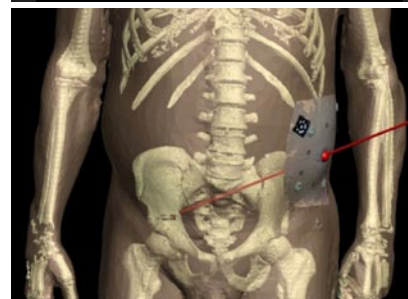


Abb. 10: Rekonstruierter Schussverlauf durch den Körper

5.2 Tötungsdelikt

5.2.1 Fallbeschreibung

Bei einer Auseinandersetzung wurde ein Mann durch einen Steckschuss in den Rumpf tödlich verletzt. Der Beschuldigte sagte gegenüber der Polizei aus, es handelte sich um einen unglücklichen Unfall. Der Schuss habe sich gelöst, als er vom Opfer auf das Bett gestoßen wurde. Der Ablauf der Tat sollte mittels der beschriebenen Methode geklärt werden.

5.2.2 Methode

Die Verletzungsbefunde des Verstorbenen wurden mittels CT (innere) und Photogrammetrie (Einschusswunde) dokumentiert. Aus diesen Daten wurde ein 3D-Modell des Verstorbenen erstellt. Die Einschusswunde befand sich an der linken Flanke und das Projektil steckte im Beckenknochen (Abb. 9, roter Pfeil). Anhand der Einschussverletzung, der Weichteilverletzungen und der Endlage des Projektils wurde die Schussrichtung durch den Körper rekonstruiert (Abb. 10). Je nach Körperhaltung während der Schussabgabe (gebeugt oder aufrecht) ändert sich die Schussrichtung leicht. Auch dies wurde im Computer rekonstruiert und ist in Abb. 11 dargestellt.

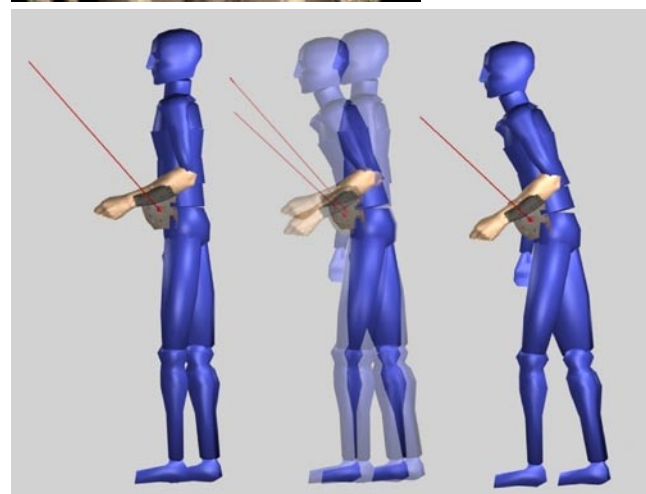


Abb. 11: Die Schussrichtung wurde in aufrechter und gebeugter Körperhaltung rekonstruiert. Es zeigt sich, dass sich bei gebeugter Körperhaltung die Schussrichtung leicht ändert, aber immer noch von oben nach unten verläuft.



Abb. 12:
3D-Punktewolke des Tatortzimmers, erstellt mit der Scanstation 2

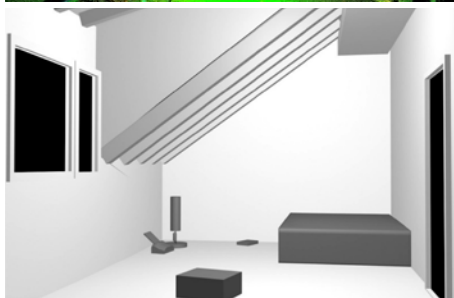


Abb. 13:
Auf Basis der Punktewolke erstelltes 3D-Modell des Tatortzimmers

Der Tatort sowie der Beschuldigte wurden mittels Laserscanner eingescannt (Abb. 12). Aus der erstellten Punktewolke wurde sowohl ein 3D-Modell vom Tatort (Abb. 13) als auch ein Computermodell des Beschuldigten (Abb. 14b) erstellt.

Konfiguration bei Schussabgabe kann ermittelt und visualisiert werden. Aussagen des Beschuldigten oder von Zeugen können somit bestätigt oder widerlegt werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden in Situationsplänen, Grafiken und Animationen präsentiert.

Im vorliegenden Fall wurde seitens der Polizei eine Rekonstruktion des Tatablaufs vor Ort mit dem Beschuldigten durchgeführt. Dieser gab an, dass der Schuss sich gelöst hätte, als er vom Opfer gestoßen wurde und aufs Bett fiel (Abb. 14a). Diese Täter-Opfer-Konfiguration wurde anhand des Fotos in 3D nachgestellt (Abb. 14b). In der Rekonstruktion konnte gezeigt werden, dass die Angaben des Beschuldigten bezüglich der Schussabgabe nicht stimmen und eine andere Täter-Opfer-Konfiguration vorgelegen haben muss. Abb. 15 zeigt diese Täter-Opfer-Konfiguration aus verschiedenen Richtungen, wo ersichtlich ist, dass die Schussrichtung mehr von links und absteigend verläuft und nicht aufsteigend, wie es nach Angaben des Beschuldigten sein müsste. Mittels der virtuellen 3D-Szene können nun gemeinsam mit den Ermittlern und der Untersuchungsbehörde weitere Hypothesen überprüft und letztlich mögliche Stellungen ermittelt werden.



Abb. 14:
Bei der Rekonstruktion vor Ort erstelltes Foto, wie der Schuss abgegeben wurde nach Angaben des Beschuldigten (a). Diese Täter-Opfer-Konfiguration wurde in 3D nachgestellt (b).

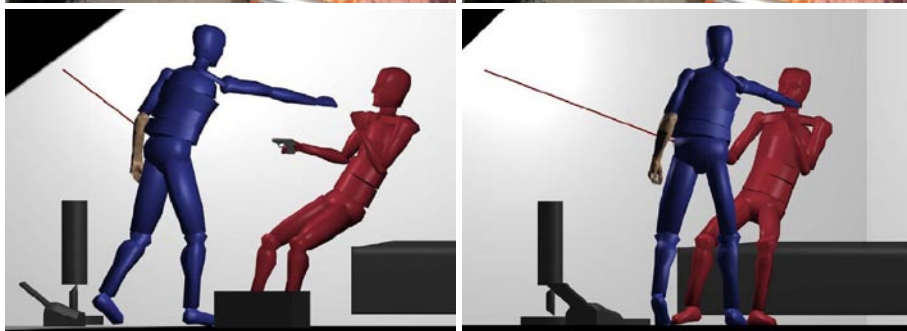


Abb. 15:
Nach Angaben des Beschuldigten rekonstruierte Täter-Opfer-Konfiguration, dargestellt aus verschiedenen Richtungen. Diese Konfiguration stimmt nicht mit den Verletzungsbefunden des Opfers überein.

5.2.3 Analyse und Resultate

Zur Rekonstruktion einer tödlichen Schussabgabe werden die digitalen Daten der Befunde des Verstorbenen zurück in den virtuellen Tatort gebracht. Ein an die Körpergröße des Täters bzw. Tatverdächtigen angepasstes Computermodell wird ebenfalls in die Szene integriert. Unter Berücksichtigung aller Spuren sowie der forensischen und polizeilichen Erkenntnisse kann der Hergang des Geschehens schrittweise rekonstruiert werden. Die Opfer-Täter-

5.3 Flugunfallrekonstruktion

5.3.1 Fallbeschreibung

Bei einem Trainingsflug als Vorbereitung für eine geplante Flugschau sollte ein Kunstflugprogramm von zwei Pilatus PC-21 Prototypen trainiert werden. Während einer der beiden Prototypen ein Looping über der Pistenachse ausfuhr, flog das zweite Flugzeug einen Vollkreis nach rechts. Gegen Ende des Vollkreises ging das Flugzeug in einen flachen Sinkflug über und prallte mit hoher Geschwindigkeit auf dem Boden auf.

Die Unfallstelle erstreckte sich vom Flugplatz über einen Fluss bis zur Endlage des Cockpits auf einem hinter dem Fluss befindlichen Feld (Abb. 16). Die Distanz von der ersten Aufprallspur bis zum letzten vermessenen Teil betrug ca. 520 m, bei einer seitlichen Ausdehnung von ca. 110 m.

definiert. Die mit post-processing korrigierte Datengenauigkeit liegt bei 30 cm.

Eine weitere Aufgabe bestand in der Dokumentation der primären Aufprallspur. Diese wurde mit einem 3D-Laserscanner Leica HDS3000 hochauflösend, dreidimensional aufgenommen. Die vom Scanner gemessene



Abb. 16:
Luftaufnahme der Unfallstelle mit den Aufprallspuren. Der rote Pfeil zeigt die Flugrichtung des abgestürzten Flugzeuges, die gelben Pfeile die Absturzspuren am Boden.



Abb. 17:
3D-Modell der mittels Laserscanning erfassten Aufprallspur des Flugzeuges

5.3.2 Vermessung des Unfallortes

Mittels Photogrammetrie ELCOVISION (www.elcovision.com) wurden die Aufschlag- und Rutschspuren, das Flugzeugheck, der Flügelteil und das Cockpit vermessen. Zur Erstellung der Messaufnahmen diente eine kalibrierte digitale Messkamera.

Die Tachymetrie wurde zur Positionsbestimmung der gekennzeichneten Leichteile, der technischen Teile und des besonderen Streugutes verwendet. Weiter wurden Verknüpfungspunkte zur Photogrammetrie, Tachymetrie und zum Laserscanning erfasst. Als Tachymeter wurde ein Leica TCR 405 Power eingesetzt.

Das GPS diente zur Positionsbestimmung der weit entfernten Teile und der Georeferenzpunkte, die zur Transformation des lokalen Systems in das schweizerische Landeskoordinatensystem dienen.

Es wurde ein DGPS der Marke Leica GS20 mit 12-Kanal-Empfänger Code/Phase verwendet. Die aufgenommenen Punkte wurden über eine fachspezifische Codeliste

nen Punkte wurden polygonisiert und in eine 3D-Oberfläche konvertiert, in der die kleinsten durch den Aufprall entstandenen Mulden genau erkennbar sind (Abb. 17).

5.3.3 Auswertung und Analyse

Im Auswertebüro wurden die am Unfallort gesammelten Daten sämtlicher verwendeter Messgeräte mit Softwares wie ELCOVISION, Cyclone, Auto CAD, Terrano, 3D Studio Max ausgewertet und zu einer Einheit zusammengefügt. Ein 3D-Modell sowie Pläne der PC-21 erhielten wir von den Pilatus Werken zur Verfügung gestellt. Das 3D-Modell wurde zusätzlich mit den vier Racks, welche maßgeblich zur Spurenzeichnung der Aufprallspuren verantwortlich waren, vervollständigt (Abb. 18).

Im CAD wurde ein 3D-Plan der Unfallsituation erstellt. In 3D Studio Max konnte dann die Aufprallsituation der PC-21 mittels der Flugzeugmodelle und der Aufprallspuren (welche spezielle Merkmale aufwiesen) exakt bestimmt werden (Abb. 19).



Abb. 18: 3D-Modell des abgestürzten Prototypen PC-21

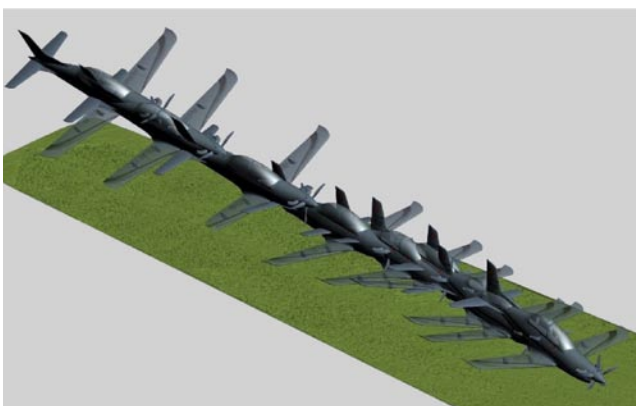


Abb. 19: Rekonstruktion der Positionen des Flugzeuges vom Zeitpunkt der ersten Bodenberührung bis zum erneuten Abheben im Bereich der ersten Aufschlagstelle

Als Grundlage für die Flugbahnrekonstruktion diente das digitale Geländemodell mit aufprojiziertem Orthophoto. Das abgestürzte Flugzeug hatte weder ein Aufzeichnungsgerät noch eine Videokamera installiert. Anhand der Auswertung der Videoaufzeichnung des Flugzeuges, welches den Looping flog, konnte dessen Flugbahn rekonstruiert werden (blaue Linie). In Anlehnung an diese Flugbahn sowie an Aussagen von Zeugen und die ermittelten Aufprallwinkel wurde die Flugbahn des abgestürzten Flugzeuges gezeichnet (rote Linie) (Abb. 20).



Abb. 20: Rekonstruktion der beiden Flugwege. Diese Flugbahnen wurden in Echtzeit animiert. Es wurden Videos aus der Vogelperspektive und aus Sicht der Piloten erstellt. Damit konnte gezeigt werden, zu welcher Zeit sich die beiden Flugzeuge gesehen haben müssten.

Des Weiteren wurde auch das Audiosignal der Aufzeichnung ausgewertet und mit den rekonstruierten Flugbahnen synchronisiert und visualisiert (Abb. 21). Dadurch konnte genau überprüft werden, was die Piloten sprachen und wo sie sich zu diesem Zeitpunkt befanden.

5.3.4 Ergebnisse

Es konnte ermittelt werden, dass es sich bei dem Flugunfall um kein technisches oder medizinisches Problem handelte, sondern um einen Pilotenfehler. Der Pilot, welcher den Looping flog, war der Leader. Er berücksichtigte die Mindestflughöhe nicht und der Looping wurde nicht sauber ausgeführt. Der Pilot des abgestürzten Flugzeuges orientierte sich am Leader und kam infolge dessen am Ende seines Horizontalkreises in einen Sinkflug, der bei hoher Geschwindigkeit zum Bodenkontakt mit dem rechten Flügel führte.

Die Rekonstruktionen waren ein wichtiger Bestandteil zur Ermittlung der Ursache des Flugunfalles durch das Bundesamt für Flugunfalluntersuchungen (BFU).

6 Fazit und Ausblick

Das Laserscanning hat sich in der Polizeiarbeit im Kanton Bern als schnelles, flexibles und genaues Hilfsmittel etabliert. Vor allem die Auswertzeit konnte im Vergleich zur Photogrammetrie deutlich reduziert werden. Komplexe Spurenlagen können mit hoher Auflösung erfasst werden.

Durch die hervorragende Zusammenarbeit von Polizei und Rechtsmedizin und den dort verwendeten Dokumentationsverfahren können zusätzliche Erkenntnisse über Ereignisse gewonnen werden.

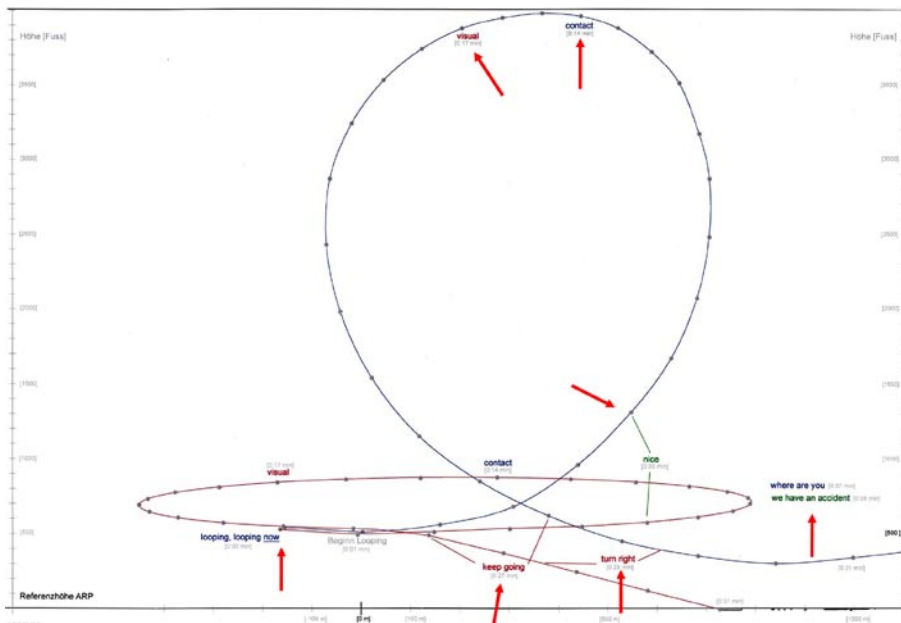


Abb. 21:
Darstellung der Flugpfade der zwei
Flugzeuge, synchronisiert mit dem
Audiosignal

Der 3D-Dokumentations- und Analyseprozess ist objektiv, die Daten werden gesichert und können jederzeit zu einer weiteren Befunderhebung herangezogen werden.

Die forensischen Analysen und geometrischen Rekonstruktionen, welche auf den virtuellen Daten des Verstorbenen, der Tatwerkzeuge und der polizeilichen 3D-Dokumentation des Ereignisortes basieren, führen zu Ergebnissen, welche zur Wahrheitsfindung wesentlich beitragen können. Die Qualität und Aussagekraft von Experten konnte so wesentlich gesteigert werden.

Die Illustration der Ergebnisse der forensischen Rekonstruktionen mittels grafischer Bilder und erklärendem Text ermöglicht es, die Analyseergebnisse Dritten anschaulicher und objektiver zu vermitteln, als es ein Protokoll erlaubt. Hinzu kommt die Möglichkeit, die Daten zu animieren und in Videoclips zu präsentieren. Dabei ist es für den Betrachter auch nicht unwesentlich, dass die Darstellungen von Unfallopfern erheblich unblutiger sind als fotografische Aufnahmen.

Die Dokumentation von Körperoberflächen und die 3D-Rekonstruktion von Unfall- und Tathergängen ist am Institut für Rechtsmedizin Bern zu einem bedeutenden Arbeitsbereich geworden, welcher noch hohes Entwicklungspotential bietet.

Die anhand der geometrischen Rekonstruktionen erstellten Gutachten finden großen Anklang bei der Justiz, was eine erhöhte Auftragslage mit sich zieht. Der Einsatz moderner Messmethoden wie Oberflächen- und Laserscanning verbessert die Analysemöglichkeiten eines Forensikers. So werden die Methoden für immer mehr und neue Aufgaben eingesetzt, beispielsweise die Gesichtserkennung, den Formspurenvergleich und die Blutspurenanalyse.

Literatur

- Brogdon, B.G.: Forensic Radiology. CRC Press, 496 Seiten, ISBN 0849381053, 1998.
- Brueschweiler, W., Braun, M., Fuchser, H.J., Dirnhofer, R.: Photogrammetrische Auswertung von Haut- und Weichteilwunden sowie Knochenverletzungen zur Bestimmung des Tatwerkzeuges; grundlegende Aspekte. Rechtsmedizin; 7: 1976–83, 1997.
- Buck, U.: Anwendung der Photogrammetrie bei der Polizei des Landes Baden-Württemberg. Wittwer, Stuttgart, 160 S., Deutscher Verein für Vermessungswesen, Heft 2, ISSN 0940-2942, 48. Jahrgang, 2001.
- Buck, U.: 3D-Dokumentation und Visualisierung forensisch relevanter Befunde an Körperoberflächen und im Körperinneren. Der Vermessungsingenieur, Heft 5, ISSN 0042-4099, S. 384–388, 2005.
- Buck, U., Naether, S., Braun, M., Bolliger, S., Friederich, H., Jackowski, C., Aghayev, E., Christe, A., Vock, P., Dirnhofer, R., Thali, M.J.: Application of 3D Documentation and Geometric Reconstruction Methods in Traffic Accident Analysis: With High Resolution Surface Scanning, Radiological MSCT/MRI Scanning and Real Data Based Animation, Forensic Sci. Int. 170 20–28, 2007.
- Petershans, S., Abel, M., Mayerle, U.: Tätergrößenvermessung mit Laserscanner. Die Kriminalpolizei, Heft 4, 135–138, 2007.
- Thali, M.J., Yen, K., Schweitzer, W., Vock, P., Boesch, C., Ozdoba, C., Schroth, G., Ith, M., Sonnenschein, M., Doernhofer, T., Scheurer, E., Plattner, T., Dirnhofer, R.: Virtopsy, a New Imaging Horizon in Forensic Pathology: Virtual Autopsy by Postmortem Multislice Computed Tomography (MSCT) and Magnetic Resonance Imaging (MRI) – a Feasibility Study. JForensic Sci 48(2): 386–403, 2003.
- Thali, M.J., Braun, M., Buck, U., Aghayev, E., Jackowski, C., Vock, P., Sonnenschein, M., Dirnhofer, R.: VIRTOPSY – Scientific Documentation, Reconstruction and Animation in Forensic: Individual and Real 3D Data Based Geo-Metric Approach including Optical Body/Object Surface and Radiological CT/MRI Scanning. J Forensic Sci 50(2): 428–424, 2005.
- Thali, M.J., Dirnhofer, R., Vock, P.: The Virtopsy Approach, Crc Pr Inc; pp. 159–166, 2008.

Anschrift der Autorin

Ursula Buck
Institut für Rechtsmedizin, Uni Bern + Kantonspolizei Bern
Bühlstr. 20, 3012 Bern, Schweiz
ursula.buck@irm.unibe.ch