

Aus dem Institut für Gerichtliche Medizin
der Universität Tübingen
Direktor: Prof. Dr. med. Dipl.-Phys. H.-D. Wehner

**Maßgetreue Dokumentation der Wundtopografie
auf der Oberfläche der individuellen
virtuellen Leichenpuppe**

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
JOHANNES KRUSE
aus Ravensburg

2004

Dekan: Prof. Dr. med. Claus D. Claussen

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Dipl.-Phys. H.-D. Wehner

2. Berichterstatter:

	Seite
1. Einführung	5
2. Fragestellung	9
3. Herkömmliche Methoden der Wunddokumentation	11
3.1 Verbal beschreibende Wunddokumentation und Skizzen zur Wundtopografie	11
3.2 Fotografische Wunddokumentation und deren Weiterentwicklungen	14
3.2.1 Maßgetreue Sofortaufnahmen	14
3.2.2 Automatisierung von Übersichts- und Detailfotografie	15
3.2.3 Digitale Fotografie	15
3.2.4 Videoaufnahmen	17
3.2.5 Optische Spezialaufnahmen in der Fotografie	19
3.3 Dreidimensionale fotogrammetrische Wunddokumentation	19
3.4 Andere dreidimensionale Oberflächenmessverfahren in der Medizin	23
4. CT- und MRT-Daten als Mittel zur „inneren“ Verletzungsdokumentation und deren mögliche Integration in die virtuelle Leichenpuppe	26
5. Streifenlichttopometrie	28
5.1 Das Verfahren: Graucodierung, Triangulation, Lichtschnittverfahren, Integration der Farbinformation	28
5.2 Die beiden Aufnahmesysteme, die verwendete Software, die Computer	35
5.3 Die Verarbeitung der gemessenen Daten	39
5.4 Das Matchen der einzelnen Aufnahmen zu größeren Oberflächen	40
5.5 SLT-Aufnahmetechnik bei Werkzeugen und Gegenständen	49
5.6 SLT-Aufnahmetechnik bei Leichen	52
6. Bei SLT-Aufnahmen und der folgenden Verarbeitung auftretende Probleme sowie deren Lösungen	53
6.1 Das Prematching	53
6.1.1 Hilfsmittel bei der Umlagerung	55
6.1.2 Prematching am Probanden	58

6.1.3	Prematching an der Leiche	64
6.2	Die Vermeidung von „hidden points“ bei der Aufnahme	69
6.3	Die ungleichmäßige Ausleuchtung von Oberflächen und drei Lösungsansätze für dieses Problem	72
7.	Erstellung der individuellen virtuellen Leichenpuppe	77
7.1	Die Nachbearbeitung der gematchten Punktwolken	77
7.2	Die individuelle, bedarfsorientierte Visualisierung: Schnitt- und Drahtmodelle	85
7.3	Das Herausarbeiten der einzelnen Wunden und Verletzungen	88
7.4	Das Einfügen von Schädelbasis, Gehirnscheiben und CT- Daten	90
7.5	Die Benennung der Verletzungen in der virtuellen Leichenpuppe	93
7.6	Vermessungen an der virtuellen Leichenpuppe	93
8.	Streifenlichttopometrische Aufarbeitung von fünf tödlichen Unfallgeschehen	96
8.1	SLT-Aufarbeitung eines tödlichen Sturzes von einem Baugerüst	97
8.2	SLT-Aufarbeitung eines tödlichen Sturzes von einem Hausdach	99
8.3	SLT-Aufarbeitung eines Fußgänger-PKW-Unfalls	101
8.4	SLT-Aufarbeitung eines Fahrradfahrer-PKW-Unfalls	103
8.5	SLT-Aufarbeitung eines Sturzes aus geringer Höhe	106
9.	Diskussion der Ergebnisse	110
10.	Zusammenfassung	112

Literatur- und Quellenverzeichnis

Danksagungen

Lebenslauf

1. Einführung

Trotz aller Erweiterungen, die das Fach Gerichtsmedizin in den vergangenen Jahrzehnten erfahren hat, ist und bleibt die Kerntätigkeit des Gerichtsmediziners die klassische Leichenschau. Diese dient im Wesentlichen der Klärung der Todesursache.

Die erhobenen Befunde der Leichenschau müssen durch den Gerichtsmediziner in einem Obduktionsprotokoll festgehalten werden. Darin werden Besonderheiten benannt und im Folgenden auch Befunde wertend beschrieben. Bei diesem Protokoll ist zu berücksichtigen, dass es nicht zu sehr in der medizinischen Fachsprache verhaftet bleibt. So wird sichergestellt, dass auch medizinische Laien, wie beispielsweise Juristen, die erhobenen Befunde nachvollziehen können. Das Obduktionsprotokoll hat auch die Funktion einer Objektivierung und Standardisierung der vorliegenden Sachverhalte.

Unterstützend bei der Leichenschau steht in der Gerichtsmedizin heute eine Reihe von technischen Hilfsmitteln zur Verfügung, vor allem bildgebende Verfahren. Diese wurden im Laufe der Zeit ständig verbessert.

Seit fast einhundert Jahren wird nun schon Objektivierung mittels Fotografie bei der Leichenschau eingesetzt. KRATTER stellte 1912 fest: „In immer größerem Umfange wird das Lichtbild zur Festhaltung sichtbarer und auffälliger Veränderungen an der Körperoberfläche verwendet.“ (nach WALZ et al., 1983). Heute nimmt die Fotografie eine wesentliche Rolle bei der unterstützenden Dokumentation von Obduktionen ein, in einer Empfehlung des Europarates (No. R (99) 3) wird vorgeschlagen, sie in der täglichen Routine einzusetzen. Dem jeweiligen Stand der Technik entsprechend fanden Weiter- und Neuentwicklungen in der Fotografie Eingang in die rechtsmedizinische Praxis.

WALZ et al. entwickelten 1983 eine automatische Fotoeinrichtung. Diese koppelt die Verwendung eines Normal- und eines Teleobjektivs zur Erstellung von Übersichts- und Detailaufnahmen während der Leichenschau. Zusammengesetzt ergeben die Aufnahmen ein vollständiges Bild der Leiche sowie einen guten Eindruck über die Lage der einzel-

nen Verletzung. Die jeweilige Detailaufnahme erlaubt hierbei eine gute Darstellung des Befunds in Bezug auf Ausdehnung, Form und Farbe.

Der Gebrauch einer Videokamera zur forensischen Dokumentation, aber auch zur Lehre, wurde 1995 von SCHYMA et al. beschrieben. Die Verwendung dieser Technik erlaubt – bei gleichzeitiger Aufnahme eines Vergleichsmaßstabs – gute Aussagen über Form, Farbe, Größe und Lage einzelner Strukturen. Zudem kann hier die Möglichkeit genutzt werden, das Obduktionsgeschehen auch akustisch festzuhalten oder zu kommentieren. Obwohl SCHYMA et al. betonen, dass sich durch Videoaufzeichnungen der Leichenschau ein guter Eindruck über die Lage einzelner Strukturen im Raum gewinnen lässt, kann dieses Verfahren noch nicht zu den eigentlichen dreidimensionalen Dokumentationsmethoden gerechnet werden.

Ein erstes dreidimensionales Verfahren zur Dokumentation in der Rechtsmedizin formulieren 1996 BRÜSCHWEILER et al. Mittels fotogrammetrisch ermittelter Punkte auf der Leichenoberfläche kann eine computergestützte Auswertung der Verletzung erfolgen. Die digital im Computer vorhandenen Daten lassen sich dann auf vielfältige Art und Weise weiterverwenden. So können Zuordnungen von Wunde zu Tatwerkzeug oder von Hautabdrücken zu Fahrzeugreifen vorgenommen werden, ohne die jeweilige Verletzung oder den entsprechenden Gegenstand tatsächlich berühren zu müssen. Die Gefahr, durch manuelle Manipulation eine Spur zu verändern oder zu „schaffen“ ist auf diesem Wege ausgeschlossen.

Die fotogrammetrische Aufnahme beinhaltet jedoch nicht die Möglichkeit, Farbinformationen zu dokumentieren.

Eine Wunddokumentation, die sowohl die dreidimensionale Struktur der Verletzung wiedergibt als auch Farbinformationen enthält, beschrieben 1998 SUBKE et al. Durch Streifenprojektion und spätere Verrechnung im Computer kann sowohl die dreidimensionale Beschaffenheit der einzelnen Verletzung dargestellt werden als auch deren fotorealistische Farbe. Die hier erstmals beschriebene Streifenlichttopometrie (SLT) ist die Grundlage für die Oberflächenvermessung der Leichen in der vorliegenden Arbeit.

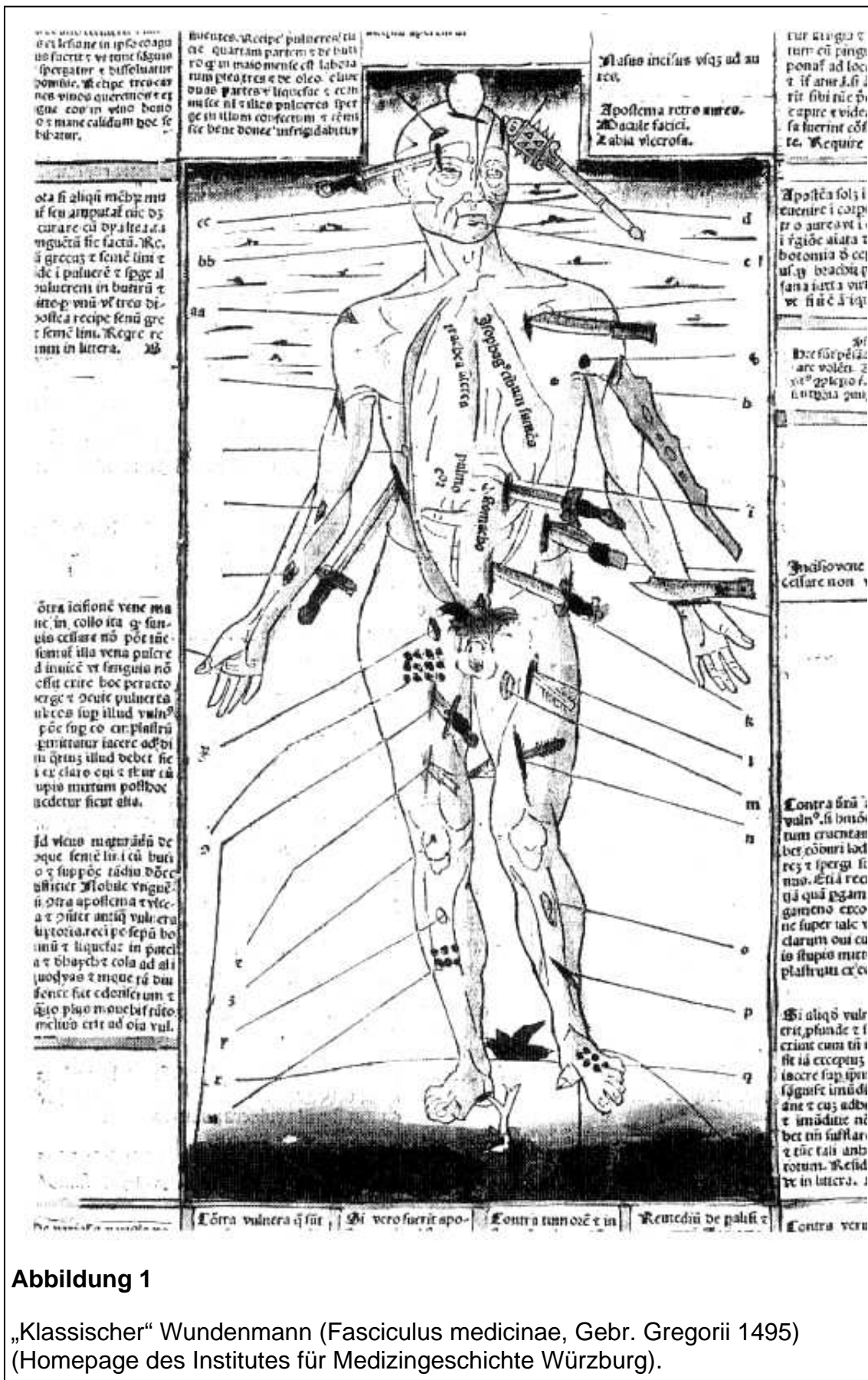
Sowohl die Fotogrammetrie als auch die Streifenlichttopometrie sind metrisch korrekte Verfahren. Beide Techniken verwalten die gemessenen Daten absolut und maßstabsgetreu, so wie diese also tatsächlich im Messobjekt vorhanden waren.

Alle anderen in der gerichtsmedizinischen Literatur beschriebenen und verwendeten Verfahren besitzen diesen Vorteil nicht. Die durch diese Techniken erhobene Daten sind relativ. Das bedeutet, dass Messungen die in – durch die fotografische Techniken aufgenommenen – Bildern durchgeführt werden, nie absolut, sondern immer relativ sind. Strecken-, Flächen-, oder Volumenmessungen können nur durch schwierige Berechnungen und anhand mit aufgenommener Vergleichsobjekte erfolgen.

Die Verwendung von Streifenlichttopometrie zur Wunddokumentation ist eine Technik, deren Anwendung aus zwei Gründen geschieht. Dies sind:

- **Morphologische.** So können sie mittels SLT Verletzungen in ihrer Form und Farbe dokumentiert und archiviert werden. Das virtuelle Einpassen des traumatisierenden Werkzeugs auf die Verletzung bleibt somit zu jedem späteren Zeitpunkt möglich. Dieses kann dazu beitragen, die Jahrhunderte alte Frage nach dem morphologischen Zusammenhang von Wunde und verletzendem Werkzeug virtuell zu klären (Abbildung 1).
- **Dynamische.** Aus der Morphologie kann zu einem späteren Zeitpunkt auf die dynamischen Aspekte der Traumatisierung geschlossen werden. Da jede Wunde als Ergebnis einer Energieübertragung betrachtet werden kann, kann vom Trauma auf die Art und Intensität der Traumatisierung geschlossen werden (KÖNIG 1998).

Ein weiterer Aspekt der streifenlichttopometrischen Messung und der Weiterverarbeitung der gemessenen Daten ist die Individualität der entwickelten virtuellen Leichenpuppe. Bisherige Techniken der Wunddokumentation, beispielsweise die Handskizze oder die verbale Beschreibung im Obduktionsprotokoll, mussten sich auf wenige, herausragende physiognomische Merkmale (großer oder kleiner, dicker oder schlanker Mensch) beschränken. Die Weiterverarbeitung der SLT-Daten zur virtuellen Leichenpuppe führt zum höchsten Grad der Individualität. Die „virtuelle Leiche“ ist in ihrer Morphologie und Wundtopographie ein im Submillimeterbereich exaktes Abbild der „reellen Leiche“



... et sic in ipso coagu-
 no facit e vt tunc lignis
 spergatur e diffusatur
 domine. Recipe tres car-
 nes vincto quereone e
 gna cor in vino bono
 o e mane calidum hoc se-
 bibatur.

buentes. Recipe puluerem tu-
 ric quarant partem e de buti-
 ro e in maso mente est labeta-
 rum pteores e de oleo. elate
 duas partes e liquefac e cum
 melle si e illico puluerem sper-
 ge in illum confectum e rem-
 sic bene donec infrigidabitur

Vasus incisus vsqz ad au-
 rea.
 Apositema retro aureo.
 Ad ducit faciei.
 Labia viccrofa.

tur ut iugis e
 tum cu pangi
 ponat ad locu
 e si anu. h. h. d
 rit sibi tuc pi
 e capre e vide
 sa fuerint col-
 te. Requie

ota si aliqui mchye mu-
 al seu amputat tuc dy-
 curare cu dyaltea a
 ngueta sic facta. Rec.
 a grecas e fenic sim e
 de i puluer e spge al
 sulcrem in butru e
 ano. p. vnu vt tres di-
 dostra recipe fenic gre-
 e fenic lmi. Regre re-
 imn in litera. B

Apositema soly i
 euenire i corp
 p o aureo vt i
 i rgioc aiaa e
 boronia d cel
 ul. y brachia e
 sana iacta vni
 ve siue d i qz

otra icsione vene ma-
 ne in collo ita qz fan-
 uio cellare no pot tuc
 semel illa vene pulcre
 d inuic e vt sanguis no
 offu erit hoc peracto
 serge e ducit puluerem
 ulcea sup illud vnu
 p e sup eo cr. plastru
 pmitatur facere ad bi-
 m qmz illud debet sic
 i ce claro cui e stur cu
 upio mirum post hoc
 uedetur sicut alia.

Ad hoc super p e
 are volent. e
 vt p p p p p p
 e. ut qz p p p

Id vniu magnitudi de-
 que fenic lmi cu buti-
 o e sup p e tachu d d e
 uisier. Ad hoc vngu-
 si otra apositema e vte-
 a e pnter antiq vuleru
 lytotia recti p e sep u bo-
 mu e liquefac in puci-
 a e sbayche cola ad ali-
 quodys e mque ra du-
 fente fac edentem e
 agyo p luo mouebat rito
 mcluo erit ad oia vul.

Contra sira i
 vniu. si hndi-
 tum cructan-
 bet. p d m i tad-
 rez e spergi si-
 nno. Etia rec-
 qz qua pgam
 gameno enco-
 ne super tale e
 clarum cui cu-
 io stupio mte
 plastru ce o

Si aliq vult
 erit p fande e l-
 eriant cum tu i
 sit ia excepuz
 laore sup ipre
 signat inu di-
 ane e cu3 adu-
 e imadite ni-
 bet tñ sustari
 e tuc tali amb-
 rotum. Resid-
 de in litera. i

Contra vulnera q sunt | Si vero fuerit apo- | Contra tumore e in | Remediū de palis e | Contra veru

Abbildung 1

„Klassischer“ Wundenmann (Fasciculus medicinae, Gebr. Gregorii 1495)
 (Homepage des Institutes für Medizingeschichte Würzburg).

2. Fragestellung

Die vorliegende Arbeit will aufzeigen, wie mittels Streifenlichttopometrie (SLT) eine vollständige, dreidimensionale, farbechte virtuelle Leichenpuppe mittels SLT am Computer entwickelt werden kann. Hierbei sollen im Wesentlichen drei Aspekte erörtert werden:

- Erstens soll geklärt werden, inwieweit die Streifenlichttopometrie ein Hilfsmittel zur gerichtsmedizinischen Dokumentation darstellt und worin Vorteile gegenüber anderen, „herkömmlichen“ Dokumentationssystemen in der Gerichtsmedizin liegen. Dies sind die ausschließlich beschreibende Leichenschau, die Verwendung konventioneller Kleinbildfotografie und ihrer Weiterentwicklungen, der Einsatz von Videosystemen sowie die fotogrammetrische Erfassung von Raumkoordinaten.

Weiter werden die einzelnen Schritte dargelegt, die für das Entstehen einer vollständigen virtuellen Leichenpuppe durchgeführt werden müssen. Diese Schritte umfassen die Messung der Rohdaten, ihre Weiterverarbeitung im CAD-fähigen Computer mit entsprechender Software, das Matchen (das. virtuelle Zusammenfügen) der einzelnen Punktwolken zur kompletten virtuellen Leichenpuppe und eine am entsprechenden Bedarf orientierte Weiterverarbeitung der Daten.

All diese Schritte werden für beide SLT-Anlagen beschrieben, die im Gerichtsmedizinischen Institut in Tübingen im Einsatz sind.

- Zweitens waren bei den ersten Versuchen, eine virtuelle Leichenpuppe zu generieren, verschiedene Probleme aufgefallen. Besonders deutlich wurde hierbei, dass durch die notwendige Umlagerung aus der Rücken- in die Bauchlage Bewegungen der Leiche stattgefunden hatten, die es wesentlich erschwerten, durch die weitere Verarbeitung der Daten noch zu einem optisch befriedigenden Resultat zu kommen. Diese Umlagerungsbewegungen fanden vor allem im Bereich der Arme und des Kopfes, aber auch im Bereich der Beine und des Rumpfes statt.

Zur Lösung dieser Problematik wurden verschiedene Strategien verfolgt; die hierbei gewonnenen Erkenntnisse werden in Kapitel 6 beschrieben und bewertet.

- Drittens werden in Kapitel 8 fünf tödliche Unfallgeschehen dargestellt, bei deren Bearbeitung die Streifenlichttopometrie eingesetzt wurde. Der Beschreibung jedes einzelnen Falls und der Wiedergabe von wesentlichen, bei der Obduktion erhobenen Befunden folgen jeweils vier Ansichten der virtuellen Leichenpuppe des Unfallopfers.

3. Herkömmliche Methoden der Wunddokumentation

3.1 Verbal beschreibende Wunddokumentation und Skizzen zur Wundtopografie

Für die streng objektiv beschreibende Schilderung von Verletzungen bei der äußeren Leichenschau hat sich ein weithin anerkanntes System durchgesetzt. Dieses besteht aus Elementen oder Mischformen des folgenden Katalogs (nach GRESHAM 1977, PATSCHEIDER 1981, MARESCH 1983):

Schürfung oder Exkoration

Diese entsteht durch die Abschürfung epidermaler bis korialer Hautschichten an rauen Flächen. Schürfungen erlauben Rückschlüsse darauf, aus welcher Richtung die Kraft einwirkung stattgefunden hat.

Hämatom

Dies entsteht, wenn kleinste Gefäße unter Druck oder Pressung rupturieren und sich Blut in subkutanes Fettgewebe und anderes Bindegewebe ergießt.

Oft lässt sich eine dem Alter des Hämatoms entsprechende regelhafte Farbänderung feststellen: tiefblaue Farbe nach drei Tagen, Gelbfärbung nach sieben Tagen und Grünfärbung vom zehnten Tag an. Die Frage nach dem genauen Alter eines Hämatoms sollte jedoch immer vorsichtig beantwortet werden, da interindividuell erhebliche Variabilitäten beim Erythrozytenabbau bestehen (BETZ und EISENMENGER 1993).

Verletzungen durch stumpfe Gewalt (z.B. Rissquetsch- und Platzwunden)

Diese werden durch die flächige Einwirkung stumpfer Gewalt erzeugt und finden sich gehäuft bei Unfallgeschehen. Das wesentliche Charakteristikum einer durch stumpfe Gewalt erzeugten Verletzung ist das Vorhandensein von Gewebsbrücken. In diesen Bereichen ist die Gewebsdurchtrennung nicht vollständig, und brückenähnliche Anteile, bestehend aus kleinen Nerven und Gefäßen, spannen sich zwischen den zumeist fetzigen Wundrändern aus. Rissquetschwunden enthalten regelmäßig auch geschürfte und eingeblutete Anteile.

Verletzungen durch scharfe Gewalt (z.B. Schnitt- und Stichwunden)

Diese Gruppe von Verletzungen weist scharfe und glatte Wundränder auf sowie spitze Wundwinkel. Je nach Tiefe und Muskelbeteiligung können Verletzungen durch die Einwirkung scharfer Gewalt deutlich klaffend sein. Verletzungen, die durch scharfe Gewalt entstanden sind, besitzen keine Gewebsbrücken.

Die Unterscheidung zwischen den beiden wichtigsten Vertretern dieser Kategorie, Schnitt- und Stichverletzung, ist einfach, da definitionsgemäß ein Stich tiefer als lang und ein Schnitt länger als tief ist. Besonders im Bereich des Schädels kann die Unterscheidung zwischen Schnitt- bzw. Stichwunde und einer durch stumpfe Gewalteinwirkung verursachten Verletzung schwer fallen. Außerdem treten zwischen beiden genannten Gruppen Übergangsformen auf (halbscharfe Gewalt), so beispielsweise durch Verletzungen an dickem Glas.

Verletzungen durch thermische Einwirkungen und Strom

Die zu dieser Gruppe gehörenden Verbrennungen werden, wie auch im klinischen Alltag üblich, in vier Stadien eingeteilt: Grad eins stellt die diffuse Rötung dar, die Grade zwei und drei beschreiben in zunehmend tiefere Hautschichten vordringende Beteiligungen, Grad vier schließlich beschreibt das Stadium der Verkohlung.

Verletzungen durch Erfrierungen sind in drei Grade eingeteilt, diese erstrecken sich von der hellen Rötung bis hin zur blasigen Nekrose.

Verletzungen durch elektrischen Strom hinterlassen auf der Haut sogenannte Strommarken, können je nach Leiterbeschaffenheit, Durchflusszeit und Widerstand zwischen Leiter und Hautoberfläche aber sehr uneinheitlich sein. Strommarken werden als weiß bis graubraun und von porzellanartiger Beschaffenheit beschrieben.

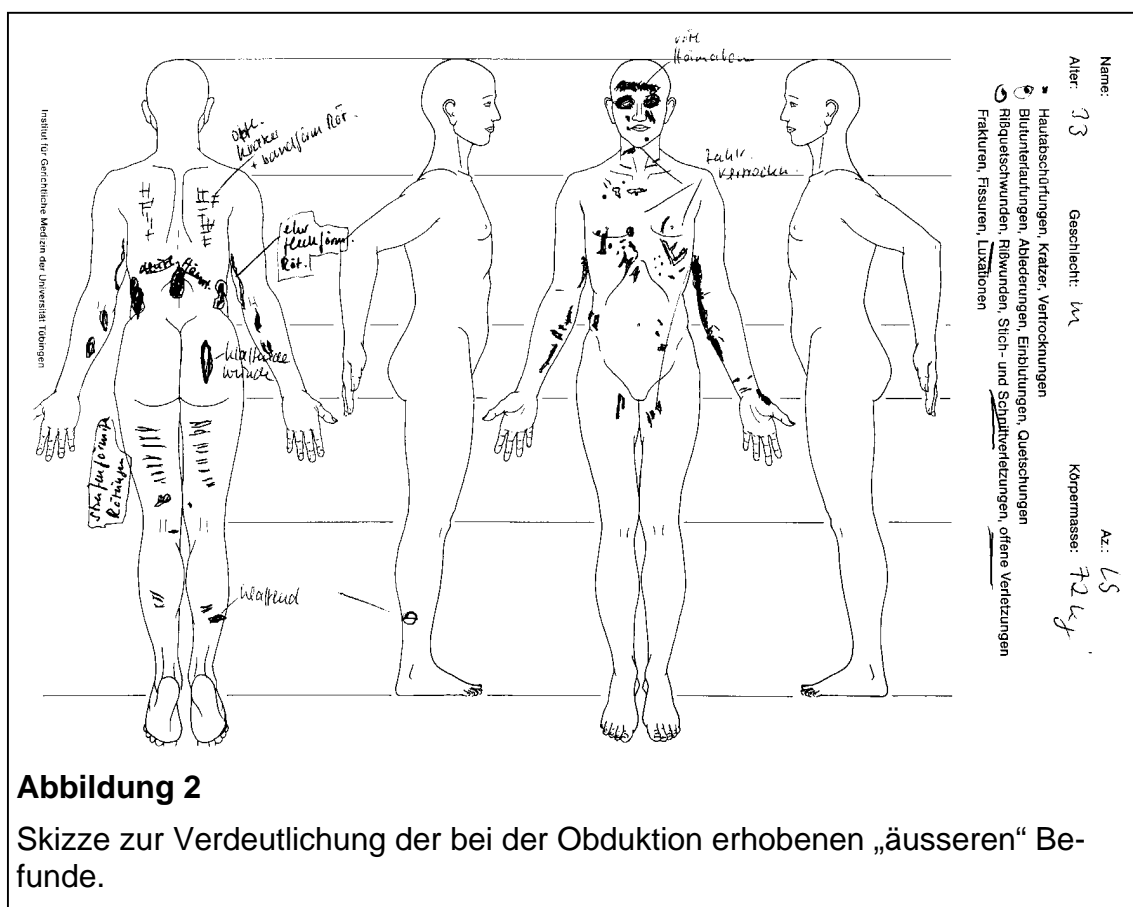
Sonstige Verletzungen und Mischformen

Als Mitglieder dieser inhomogenen Gruppe werden hier oft Biss-, Schuss- und Pfählungsverletzungen aufgeführt, aber auch Zwischenformen wie die beschriebenen Verletzungen durch halbscharfe Gewalt. In dieser Gruppe können nur wenige Gemeinsamkeiten bezüglich Genese oder Morphologie gefunden werden.

Für wohl alle Verletzungen der aufgeführten Reihe sind Mischformen denkbar. Wie beschrieben, treten besonders Schürfungen und Einblutungen oft gemeinsam primär mit oder sekundär nach anderen Verletzungen auf.

Bei der Leichenschau muss der Arzt sowohl eine Zuordnung der Verletzungen zu einem Element der oben beschriebenen Gruppen vornehmen als sich auch zu anderen Gesichtspunkten äußern. Zu diesen gehören Schmutz- und Flüssigkeitsantragungen, Fremdkörper in allen Formen und weitere Auffälligkeiten.

Außerdem ist es wichtig, Informationen über die topografische Lage der Verletzungen und über nachbarschaftliche Beziehungen zu markanten anatomischen Strukturen zu beschreiben. Bei ausgedehnten Verletzungen, schwierigen Lagen oder einer großen Zahl von Befunden kann eine Handskizze eine wesentliche Hilfe sein. Zeichnungen dieser Art werden auch im Sektionsbetrieb des Gerichtsmedizinischen Instituts der Universität Tübingen verwendet (Abbildung 2).



Weiterhin sollte für jede Wunde der Versuch unternommen werden, ihre Entstehung zu klären sowie gegebenenfalls Aussagen über ihren vermutlichen Entstehungszeitraum zu machen. Hier fließen Informationen aus sämtlichen oben genannten Elementen ein. Es zeigt sich deutlich, dass viele der genannten Einteilungskriterien vorwiegend dazu dienen, pathologisch-morphologische Befunde bestmöglich zu objektivieren, nicht zuletzt für den medizinischen Laien. Die verbale Beschreibung beinhaltet aber den wesentlichen Nachteil der Informationsselektion durch den Obduzenten.

So liegt es nahe, sich in diesem Zusammenhang zusätzlicher, objektiverer Hilfsmittel der Dokumentation zu bedienen. Das wird im Folgenden beschrieben.

3.2 Fotografische Wunddokumentation und deren Weiterentwicklungen

Das verbreitetste Hilfsmittel bei der Dokumentation einer Leichenschau und der erhobenen Befunde stellt die Fotografie dar. Diese wurde im Zusammenhang mit rechtsmedizinischen Fragestellungen erstmals 1912 von KRATTER erwähnt. Neben der konventionellen Fotografie mit Papierabzug des belichteten Films oder Diapositivs haben sich in der Forensik inzwischen weitere Techniken etabliert.

3.2.1 Maßgetreue Sofortaufnahmen

HAURI-BIONDA et al. (1992) beschreiben den Einsatz einer Polaroid-Sofortbildkamera mit Makro-Vorsatz. Mit dieser Anordnung lassen sich schnell Bilder anfertigen, welche die erhobenen Befunde der äußeren Leichenschau in metrisch genauer Größe abbilden, dies jedoch nur in einer definierten Bezugsebene, die parallel zur Filmebene liegt. Dies wird erreicht durch fixierte Parameter des Fotoapparats: Blende, Belichtungszeit und der Abstand zwischen Filmebene und fotografiertem Objekt bleiben immer gleich.

Mit dieser Technik sind maßgetreue Zuordnungen von Verletzung und Gegenstand möglich. In der beschriebenen Kasuistik handelte es sich um eine Reifenspur auf der Leichenoberfläche und um den dazu passenden Reifen. Beide Elemente konnten durch zweidimensionale Überlagerung befriedigend zur Passung gebracht werden.

3.2.2 Automatisierung von Übersichts- und Detailfotografie

Die topografische Zuordnung von abfotografierten Einzelbefunden zur gesamten Leichenoberfläche wurde von WALZ et al. (1983) gelöst. Sie beschreiben eine Kombination aus Aufnahmen mit einem Normal- und einem Teleobjektiv. Die Übersichtsaufnahme wird dabei vom Normalobjektiv (55 mm, f/2,8, bei einer routinemäßigen Blende von 11) angefertigt, welches zusammen mit einer Kamera über dem Sektionstisch mittels der dort angebrachten Schiene in Längsrichtung beweglich ist. Die Entfernung zwischen Sektionstisch und Filmebene wird mit 175 Zentimetern angegeben.

Bei Detailaufnahmen kommt ein Teleobjektiv (200 mm, f/4, bei einer routinemäßigen Blende von 11) zur Anwendung.

In der folgenden Auswertung dienen die Übersichtsaufnahmen der gesamten Leiche zur größeren Orientierung, die Detailaufnahmen von Verletzungen können zur genaueren Beurteilung einer Verletzung herangezogen werden oder zu deren Archivierung.

Mit der beschriebenen Apparatur konnte eine wesentliche Qualitätssteigerung der einzelnen Fotografien erzielt werden, da durch Standardeinstellungen die eventuell mangelnde fotografische Ausbildung des einzelnen Institutsangehörigen ausgeglichen wurde.

3.2.3 Digitale Fotografie

Seit Beginn der 90er Jahre hat die digitale Fotografie auch in die gerichtsmedizinische Praxis Eingang gefunden (SCHYMA et al. 1995, GOLDEN 1996, BELANGER et al. 2000). Bei hochwertigen Bildern und farbechter Abbildung können moderne Digitalkameras der tradierten Fotografie in der Aufnahmequalität durchaus Konkurrenz machen. Zudem können dadurch viele Nachteile ausgeglichen werden, mit denen die herkömmliche Farbfotografie belastet war.

BELANGER et al. führen Vorteile und Nachteile der Digitalfotografie gegenüber der traditionellen Kleinbildfotografie an (Tabelle 1):

<p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none">• Qualität und Inhalt der Bilder können direkt nach der Aufnahme überprüft werden; kein Zeitverlust durch Entwicklungsarbeiten.• Die Bilder können direkt allen Beteiligten vorgeführt werden.• Digitalfotos lassen sich einfach vervielfältigen. Es ist nicht nötig, mehrere Kopien für verschiedene Zwecke anzufertigen.• Abzüge können nicht verloren gehen.• Zugriff auf die Bilder kann von jedem autorisierten Computer des Instituts aus erfolgen, Zeitverzögerungen durch Suche o.ä. entfallen .• Es entstehen keine Kosten für Filme oder deren Entwicklung.• Erhebliche Platzersparnis entsteht bei Lagerung, Beschriftung, Weiterverarbeitung und Archivierung der Bilder.
<p>Nachteile:</p> <ul style="list-style-type: none">• Die Anwender der neuen Technologie müssen zunächst mit dieser vertraut gemacht werden.• Die Anfangsinvestition in die neue Technik ist hoch.• Um Ergebnisse außerhalb des Instituts vorzustellen, müssen Dia-Abzüge der digitalen Aufnahmen hergestellt werden.
<p>Tabelle 1 Vorteile und Nachteile von Digitalfotografie gegenüber konventioneller Kleinbildtechnik bei Anwendung in der Gerichtsmedizin (nach BELANGER et al. 2000).</p>

Insgesamt gesehen zeigt sich aber die eindeutige Überlegenheit der Digitalfotografie gegenüber der herkömmlichen Technik. Die ständig sinkenden Preise für hochwertige Digitalkameras werden wohl schnell die konventionelle Fotografie verdrängen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass alle Formen der Fotografie sowie deren Weiterentwicklungen nie maßgetreu sind und nur eine Perspektive abbilden. Das bedeutet, dass das nachträgliche Messen oder das Einpassen von (Tat-) Werkzeugen immer nur relativ sein kann, sich also an Vergleichsobjekten (z.B. Meterstäben) orientieren muss. So kann auf Fotos zwar eine Wundvermessung betrieben werden (BUTTS 1986), doch ist diese mit teilweise starken Ungenauigkeiten behaftet oder sehr komplex (LAWRENCE 1985). Zudem erschwert die Fotografie deutlich die räumliche Vorstellung des Betrachters und erschwert dem Laien und dem Fachmann gleichermaßen die nachträgliche Wundbeurteilung.

Dies kann bei einer eventuell später notwendig werdenden Rekonstruktion zu erheblichen Schwierigkeiten führen. So wäre eine dreidimensionale Rekonstruktion beispielsweise eines Verletzungsmusters aus mehreren Fotos mit hohem Aufwand verbunden und bliebe im Ergebnis trotzdem ungenau.

Diese Gründe legen es nahe, besonders in der Gerichtsmedizin Verfahren zur dreidimensionalen Oberflächenmessung zu entwickeln und zu nutzen.

3.2.4 Videoaufnahmen

Für die Dokumentation von Bewegungsabläufen oder des Obduktionsgeschehens sowie zur Vermittlung und Archivierung eines räumlichen Eindrucks von Befunden ist der Einsatz von handelsüblichen Videokameras beschrieben worden (HAURI-BIONDA et al. 1992, SCHYMA et al. 1995).

Die Verwendung von Videoaufnahmen zeichnet sich gegenüber der konventionellen Farbfotografie durch zwei Vorteile aus:

- Erstens ergibt sich durch die anschauliche Erfassung von dreidimensionalen Veränderungen bei langsamer und systematischer Kameraführung ein räumlicher Eindruck. Da sich die Fotodokumentation auf eine ausgewählte Serie von Ansichten beschränken muss, kann kein plastisches Bild entstehen. Steckende Stichwerkzeuge jedoch oder auch tiefgreifende Gewebsdefekte können videografisch aus zahlreichen Positionen gezeigt werden, um den notwendigen räumlichen Eindruck zu vermitteln.

- Zweitens kann mittels einer Videokamera die Akustik des Obduktionsgeschehens eingefangen werden. Bei Optimierung dieser Technik ist es durchaus denkbar, das herkömmliche Tonbanddiktat des Obduzenten durch akustisch begleitete Videoaufnahmen zu ersetzen.

Der Nachteil dieser Technik liegt in der Weiterverarbeitung des gewonnenen Materials. SCHYMA et al. beschreiben den anfallenden Zeitaufwand als beträchtlich: So erfolgt das Erarbeiten eines fallspezifischen „Drehbuchs“, um das Einfügen der Videodokumentation in den Obduktionsablauf möglichst reibungslos zu gestalten, dann – den Aufnahmen folgend – die Anfertigung einer Kopie, um nicht am Originalband die Weiterverarbeitung durchführen zu müssen, denn dieses dient als Asservat. Schließlich muss an der angefertigten Kopie ein Schnitt durchgeführt werden. Hier können verschiedene Sequenzen in eine folgerichtige Reihe gebracht werden. Redundante und unwichtige Anteile werden entfernt.

Als letzter Schritt wird die Neuvertonung des geschnittenen Materials vorgenommen. Hier können später neugewonnene Erkenntnisse eingebracht, störende und unwichtige Teile entfernt oder Erklärungen zu Lehrzwecken abgegeben werden.

Handelsübliche Videokameras arbeiten mit einer Anzahl von unter einer Million Bildpunkten, so dass das Ausdrucken eines Standbilds nur in unbefriedigender Qualität erfolgen kann.

Bei der Analyse der Vor- und Nachteile wird klar, dass die Obduktionsdokumentation mittels Videoaufzeichnung durchaus einen Informationsgewinn mit sich bringt. Er bleibt jedoch klein gegenüber dem erheblichen Zeitaufwand, der wohl im Bereich eines Arbeitstags für einen kompetenten und kundigen Mitarbeiter liegt. Die forensische Videodokumentation kann somit wohl nur bei besonderen Fällen oder speziellen Fragestellungen verwendet werden und dürfte kaum Eingang in die gerichtsmedizinische Routine finden.

Die Verwendung für Lehrzwecke ist aber denkbar und scheint gewinnbringend.

3.2.5. Optische Spezialaufnahmen in der Fotografie

Zur Unterstützung und Vervollständigung der in dieser Arbeit beschriebenen Techniken der Fotografie – aber auch der noch zu beschreibenden Streifenlichttopometrie – wären in näherer Zukunft eine Reihe von Erweiterungen und Koppelungen mit anderen etablierten Techniken denkbar. Diese sind bisher als nur Erweiterungen der Fotografie beschrieben und werden im Folgenden kurz dargelegt.

Die Verwendung von nichtsichtbarem Licht

Die Verwendung von ultraviolettem (300 bis 400 nm) und infrarotem (600 bis 700 nm) Licht kann eine ganze Reihe von Spuren verdeutlichen oder diese sogar erst sichtbar machen (WEST et al. 1992, KRAUSS 1993). Dies beinhaltet etwa Sperma-, Schmauch- und Schmutzspuren sowie Bissverletzungen. Für die fotografische Erfassung dieser Spuren ist eine besondere Ausrüstung nötig (GOLDEN 1996), etwa Filme, deren Sensitivitätsmaxima oberhalb bzw. unterhalb des sichtbaren Lichtspektrums liegen. Zudem müssen spezielle Linsen oder Linsensysteme sowie besondere Lichtquellen verwendet werden.

Fluoreszenzfotografie

Diese Technik beruht auf der Eigenschaft des Lichts, bis zu einem gewissen Grad über die Oberfläche der fotografierten Wunde hinaus in diese einzudringen (GOLDEN 1996). Das remittierte Licht verlässt dann wieder die Oberfläche mit einer niedrigeren Wellenlänge. Auf diese Art können oberflächliche Spuren von Körpersekreten, Drogen oder Blutspritzern nachgewiesen und mit einigem technischen Aufwand festgehalten werden.

3.3 Dreidimensionale fotogrammetrische Wunddokumentation

Sämtliche bisher beschriebenen Techniken sind mit dem Makel behaftet, nur zweidimensional abzubilden (Fotografie) oder einen dreidimensionalen Eindruck nur vorzutäuschen (Video). Für die Anwendung in der Gerichtsmedizin sind dreidimensionale

Oberflächenmessungen aber wünschenswert. Deswegen wurde die Adaptation von alten, trigonometrischen Vermessungstechniken an die gerichtsmedizinischen Erfordernisse vorgenommen (BRÜSCHWEILER et al. 1995). Dieses Verfahren wird im Zusammenspiel mit fotografischen Techniken Fotogrammetrie genannt.

Fotogrammetrie ist eine Messmethode, mit der aus mehreren Fotografien die Lage und Form von Objekten rekonstruiert wird (KRAUS 1990). Die Hauptanwendung dieser Technik lag bisher hauptsächlich im Bereich der Herstellung topografischer Karten, prinzipiell lässt sie sich auch zur Vermessung kleinerer Strukturen verwenden. So findet die fotogrammetrische Vermessung zunehmend Eingang in kriminalpolizeiliche und rechtsmedizinische Fragestellungen. Auch andere Disziplinen der Medizin bedienen sich zunehmend der Fotogrammetrie und ihrer Weiterentwicklungen (SURWALD et al. 2000). Im Rahmen dieser Arbeit kann hierauf jedoch nicht eingegangen werden.

Um fotogrammetrisch zu arbeiten, wird durch Errechnen von Punkten und Messstrecken, welche aus den einzelnen Fotos einer Fotoserie in das Auswertungssystem eingelesen werden, ein dreidimensionales Datenmodell des Verletzungsbefunds errechnet (BRÜSCHWEILER et al. 1996). So entsteht eine computergestützte, metrisch exakte Rekonstruktion von Objekten, ohne dass diese direkt berührt werden. Die versehentliche Zerstörung von vielleicht bedeutsamen Spuren kann somit vermieden werden.

Rechtsmedizinische Befunde wie Verletzungen an Haut, Weichteilen oder Knochen können dann durch CAD-Unterstützung auf Form und Tiefe überprüft werden.

Die fotogrammetrische Vermessung von Verletzungen erfordert verschiedene Schritte. Für die exakte Durchführung ist die Anleitung eines erfahrenen Experten notwendig. Vor den eigentlichen Aufnahmen muss ein System aus Referenzpunkten um das Messobjekt herum gesetzt werden. Dies kann für Wundvermessungen einer Schädelverletzung ein hufeisenförmiger Rahmen sein, auf dem in bekannten Abständen senkrecht stehende feine Stifte mit definierter Länge angeordnet sind. Am oberen Ende dieser Stifte sind kleine Kugeln angebracht, die als Messpunkte dienen (Abbildung 3, dargestellt für eine stilisierte Impressionsfraktur des Schädeldachs).

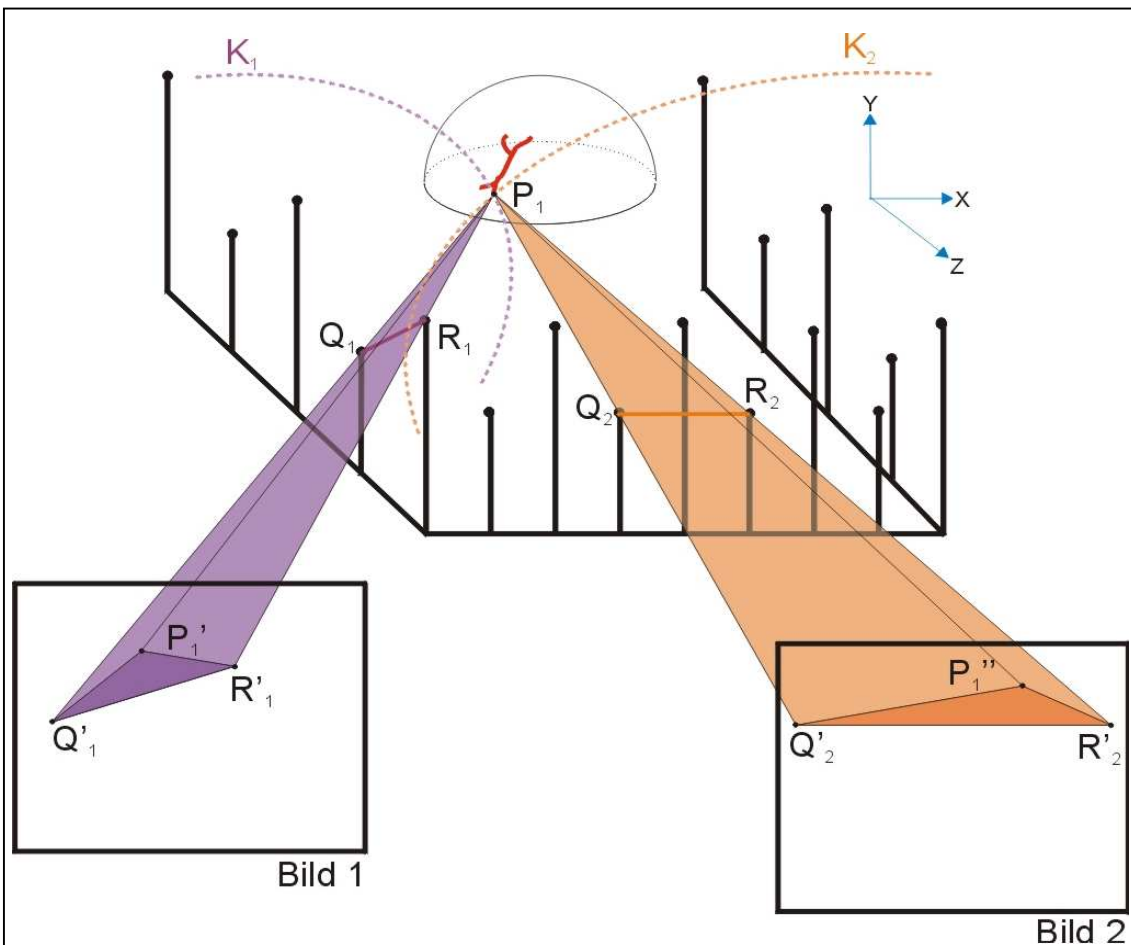


Abbildung 3: Fotogrammetrie-Rahmen um eine stilisierte Impressionsschädelsfraktur.

Der zu messende Punkt P_1 wird in beiden Fotografien (Bild 1, Bild 2) abgebildet als P'_1 bzw. P''_1 . Zusammen mit den jeweils vorhandenen Referenzpunkten Q_1 und R_1 bzw. Q_2 und R_2 entstehen so die beiden violett und orange dargestellten Dreiecke in den Fotos.

Bei bekannten Referenzpunkten und -strecken (Q_1R_1 und Q_2R_2) sind die Raumkoordinaten des Messpunktes P_1 noch nicht eindeutig; diese sind abhängig von der (unbekannten!) Lage der Kamera zum Aufnahmezeitpunkt und befinden sich auf den Kreisbögen K_1 bzw. K_2 , die durch eine Drehung der violetten bzw. orangenen Dreiecks-pyramide um die jeweilige Achse Q_1R_1 bzw. Q_2R_2 beschrieben wird.

Derjenige Punkt innerhalb des Referenzkoordinatensystems, in dem sich die beiden Kreisbögen K_1 und K_2 schneiden, ist der gesuchte Messpunkt P_1 .

Der zweite Schnittpunkt der beiden Kreisbögen K_1 und K_2 kann verworfen werden, da er sich außerhalb des Referenzkoordinatensystems befinden muss.

Bedingung ist, dass die beiden Fotos nicht vom selben, oder geometrisch exakt gegenüberliegenden Punkt (bezüglich dem Messpunkt P_1) aus angefertigt werden dürfen.

Durch die dargestellte Fotogrammetrische Anordnung können also eindeutig die Raumkoordinaten eines Messpunktes bestimmt werden, wenn zwei beliebige Fotos angefertigt werden, auf denen jeweils zwei bekannte Messpunkte dargestellt sind und jeweils der zu messende Punkt P_1 .

- Sodann müssen zwei Fotoserien von der oder den Verletzungen angefertigt werden, jede aus einer anderen Ansicht (in Abbildung 3 symbolisiert durch die Fotos). Wichtig ist, dass auf jedem einzelnen Foto neben dem interessierenden Bereich (in Abbildung 3: Punkt P_1) auch zwei Messpunkte des Referenzsystems erkennbar sind.
- Eine spezielle Aufnahmekamera eliminiert den Filmverzug und die Restverzeichnungen des eingesetzten Objektivs in der folgenden Computerverarbeitung.
- Nun werden jeweils korrespondierende Punkte des Wundverlaufs in mindestens zwei Messfotos markiert. Wie im Text zu Abbildung 3 beschrieben, sind die Raumkoordinaten des Messpunktes somit eindeutig bestimmbar. Sodann ergibt sich durch trigonometrische Verrechnung im Computer eine Punktwolke bzw. das Gerüst des dreidimensionalen Datenmodells. Wie viele und welche dieser Punkte erfasst werden müssen, hängt von der Struktur der Verletzung ab: ob diese nämlich einen einfachen Verlauf (scharf begrenzte Schnittverletzung) oder einen komplizierten Verlauf (großflächiges, diffuses Hämatom) aufweist.
- Das so entstandene Datenmodell kann dadurch mittels einer CAD-Software im Computer vermessen werden. Strecken und Volumen können so bestimmt werden. Vom Verletzungsbereich lässt sich schließlich auf Formen und Maße des vermuteten Tatwerkzeugs schließen (THALI et al. 2000).

Obwohl die fotogrammetrische, dreidimensionale Oberflächenerfassung große Vorteile gegenüber der nicht metrisch genauen Fotografie und anderen gerichtsmedizinischen Dokumentationsmethoden aufweist, enthält sie auch gravierende Nachteile:

- Der wohl wichtigste liegt in der geringen Anzahl der Messpunkte, die ein dreidimensionales Datenmodell bilden. Es wird beschrieben, dass die Aufnahme weniger hundert Punkte noch gut praktikabel wäre. Diese geringe Punktzahl machen es dem Betrachter schwer, das Wesentliche, also die gesamte Wundmorphologie, befriedigend zu beurteilen. Das heißt, dass die pro Messpunkt aufgewendete Zeit im Bereich einiger Sekunden liegt und dieses Verfahren damit auch für den Geübten als sehr zeitaufwendig einzustufen ist. Auch mit zeitsparenden Automatisierungstechniken, beispielsweise mit einem schnelleren Einlesen der Messpunkte, lässt sich hier nur in begrenztem Umfang eine Beschleunigung erreichen. Eine routinemäßige Nutzung im gerichtsmedizinischen Alltag scheidet damit aus.

- Der zweite gravierende Nachteil liegt in der Einfarbigkeit des fotogrammetrisch gewonnenen Datenmodells. Verletzungen, die nicht mit einer Änderung der Oberflächenstruktur einhergehen (z.B. ein in der Heilungsphase befindliches Hämatom), können so gar nicht oder nur sehr unzureichend dokumentiert werden. Auch dieser Punkt macht die Fotogrammetrie in der Gerichtsmedizin unattraktiv; denn die Erfassung der Farbinformation ist Voraussetzung für eine komplette digitale Dokumentation von Verletzungen.

Beiden Forderungen – Farberfassung und deutliche Steigerung der Messpunktzahl – wird die streifenlichttopometrische Oberflächenerfassung gerecht.

Die Streifenlichttopometrie ist das zentrale Element der vorliegenden Arbeit, eine detaillierte Beschreibung der Technik und ihrer Nutzung ist also unbedingt geboten. Um aber eine sinnvolle Reihenfolge in der Darstellung zu erreichen, findet sich diese Beschreibung und eine Übersicht über die Möglichkeiten ihrer Anwendung in Kapitel 5.

3.4 Andere dreidimensionale Oberflächenmessverfahren in der Medizin

Nicht nur in der Rechtsmedizin ist die Oberflächenerfassung beschrieben, auch in anderen medizinischen Disziplinen sind solche Verfahren von wachsender Bedeutung.

Zur Planung und Vorhersage kieferchirurgischer und plastischer Operationen beschreiben SURWALD et al. (2000) den Einsatz von digitaler stereofotogrammetrischer Bildgebung. Diese stellt eine Erweiterung der bereits beschriebenen Technik der Fotogrammetrie dar. Diese Erweiterung besteht in der Verwendung von Digitalkameras zur Aufnahme und computergestützter, somit also schnellerer Weiterverarbeitung der gemessenen Daten.

Trotz dieser Erweiterung gegenüber der herkömmlichen Fotogrammetrie bleibt auch diese Technik vergleichsweise langsam. Zudem wird nicht über die Integration von Farbinformationen berichtet.

Die Dokumentation von präoperativen kraniofazialen Deformitäten wird von BUSH et al. (1996) mit einem Laser-Scanner durchgeführt. Hierbei tastet ein an eine Kamera gekoppelter vertikaler Laserstreifen die zu messende Oberfläche ab. Die Deformation des Laserstreifens wird von einer Kamera erfasst und ist ein Maß für die räumliche Tiefe des Objekts an dieser Stelle.

Obwohl von BUSH et al. nicht beschrieben, wäre bei dieser Technik durchaus eine Integration von Farbe denkbar, eventuell auf ähnliche Art, wie dies bei der Streifenlichttopometrie geschieht (Kapitel 5.1).

Bei diesen beiden Verfahren findet sich jedoch keine beschriebene Anwendung im Bereich der Gerichtsmedizin. Sie sind für spezielle Anwendungen konzipiert; dementsprechend werden sie nicht allen Anforderungen gerecht, die von der Gerichtsmedizin gestellt werden: schnelle, absolute Oberflächenmessung eines vollständigen menschlichen Körpers mit realistischer Farbdarstellung.

Eine Nutzung der beschriebenen Verfahren ist für gerichtsmedizinische Zwecke dem Einsatz der Streifenlichttopometrie also weit unterlegen.

4. CT- und MRT-Daten als Mittel zur „inneren“ Verletzungsdokumentation und deren mögliche Integration in die virtuelle Leichenpuppe

Für die gerichtsmedizinisch-radiologische (also „innere“) Bildgebung und zur gewinnbringenden Unterstützung der Leichenschau sind mehrere Verfahren beschrieben. So sieht BRILL (1984) schon die Anzahl der Leichenschauen sinken und führt dies auf verbesserte bildgebende Verfahren in der Radiologie zurück. Diese machten in vielen Fällen die Aufklärung der Todesursache einfacher. KAHANA et al. (1999) fordern, den Einsatz von verschiedenen radiologischen Hilfsmitteln als Bestandteil der vollständigen Leichenschau zu etablieren.

Den Einsatz der Kernspintomografie zum Informationsgewinn bei der Leichenschau beschreiben NARDECCHIA et al. (1989). BISSET (1998) sieht die Kernspintomografie als angemessene Alternative zur Obduktion in ausgesuchten Fällen und bei speziellen Fragestellungen. ROS et al. (1990) schätzen diese Form der Bildgebung als ideale Ergänzung zur Obduktion ein.

WÜLLENWEBER berichtet schon 1977 über den postmortalen Einsatz eines Computertomogramms (CCT) bei Schädelverletzungen, DONCHIN et al. (1994) beschreiben den postmortalen CT-Einsatz bei Verletzungen des gesamten Körpers (PMCT). Besonders beim Auffinden knöcherner Verletzungen erweise sich die PMCT der herkömmlichen Obduktion deutlich überlegen (Tabelle 2). Neueste Studien belegen diesen Ansatz erneut eindrucksvoll (THALI et al. 2003).

MYERS et al. (1999) verwenden neue, dreidimensionale computertomografische Verfahren zur Schädelrekonstruktion bei speziellen gerichtsmedizinischen Fragestellungen.

Gewebeart	CT	Obduktion	CT und Obduktion	Anzahl der Befunde
Knochen	10 (25,0%)	9 (22,5%)	21 (52,5%)	40
Weiches Gewebe	14 (23,3%)	19 (31,6%)	27 (45,0%)	60
Hohlorgane	8 (29,6%)	10 (37,0%)	9 (33,3%)	27
Gesamtzahl	32 (25,2%)	38 (29,9%)	57 (44,9%)	127 (100%)

Tabelle 2

Verteilung der Befunde in Abhängigkeit von der postmortalen Prozedur. Gegenüberstellung von Ganzkörpercomputertomografie (CT) und konventioneller Obduktion. (nach DONCHIN 1994)

HAURAI-BIONDA et al. (1992) berichten über die Verwendung eines handelsüblichen Ultraschallgeräts bei der erweiterten Leichenschau und der Obduktionsplanung in ausgewählten und komplizierten Fällen.

Der Einsatz von SPECT (Single Photon Emission CT) wird von BOYKO et al. (1986) in einer Kasuistik beschrieben. Hier war die Rekonstruktion und die Visualisierung eines Schusskanals im Gehirn eines noch lebenden Patienten gelungen.

SUBKE et al. (1997) beschreiben das Matching von Realdaten auf computertomografisch gewonnenen, individuellen Schädelmodellen. Wesentlich hierbei ist, die computertomografischen und fotogrammetrischen Daten zu einer präzisen Superposition zu bringen. Unterschiedliche Befunde können so topografisch eindeutig miteinander verglichen werden.

SUBKE et al. (2002) verwenden die streifenlichttopometrischen Oberflächenvermessung für die Generierung eines adäquaten biomechanischen Modells und für die biomechanische Unfallrekonstruktion.

Ein interessanter Ansatz wäre, einzelne oder gar alle Daten aus den genannten Verfahren mit Daten zusammenzuführen, die durch streifenlichttopometrische Oberflächenmes-

sung gewonnenen wurden. Mittels geeigneter Software könnte so ein vollständiger „digitaler Wundenmann“ entstehen, dessen gesamte Körperoberfläche – unter besonderer Berücksichtigung der wesentlichen Befunde – streifenlichttopometrisch erfasst ist und dessen innere Verletzungen mit der jeweils geeignetsten Methode zu dokumentieren wären. Zusammen mit den Befunden der „klassischen“ Leichenschau ergäbe sich so ein vollständig dokumentiertes Bild aller denkbaren Verletzungen.

Erste Schritte in diese Richtung werden auch im Rahmen dieser Arbeit besprochen. In zwei der beschriebenen Fälle wurden vor der Obduktion des Verstorbenen Computertomografische Aufnahmen angefertigt und später in die virtuelle Leichenpuppe integriert. Dieses Vorgehen wird in Kapitel 7.4 beschrieben.

Soll eine Unfall- oder Tatrekonstruktion erfolgen, sind die genannten statisch-rekonstruktiven Verfahren oft nicht ausreichend. In solchen Fällen wäre es dann zwingend, die individuelle virtuelle Leichenpuppe zu animieren, um deren Stellung und Haltung im Augenblick des wesentlichen Geschehens zu errechnen sowie die Einflussnahme von weiteren Beteiligten, Werkzeugen und der Umgebung.

Wesentlich bei einer solchen Rekonstruktion ist, die Leichenpuppe biomechanisch korrekt zu animieren. Dabei ist auf individuelle Merkmale zu achten wie zum Beispiel Gelenkbeweglichkeiten, Gesamtkörpermasse und Einzelmassen der Extremitäten sowie deren Schwerpunkte und Trägheitsmomente. Die biomechanisch valide Rekonstruktion von Unfall- oder Tathergängen ist momentan ein wichtiger Forschungsschwerpunkt im Tübinger Institut für Gerichtliche Medizin.

5. Streifenlichttopometrie

Da die Oberflächenvermessung mittels Streifenlichttopometrie (SLT) die wesentliche Grundlage der vorliegenden Arbeit ist, werden in den folgenden Kapiteln die verschiedenen Aspekte dieser Technik beschrieben.

5.1. Das Verfahren: Graucodierung, Triangulation, Lichtschnittverfahren, Integration der Farbinformation

Die in Zusammenarbeit mit der Firma ABW GmbH, Frickhausen (Deutschland), entwickelte Streifenlichttopometrie erlaubt eine dreidimensionale, fotorealistische und farbige Dokumentation der gesamten Oberfläche einer Leiche. Auf eine Oberfläche werden parallele Streifen projiziert, von der Oberflächentopografie werden diese deformiert (Abbildung 4). Diese Deformation wird durch eine Kamera erfasst, die sich in einem definierten Winkel und Abstand zum Lichtprojektor befindet. Dieses Verfahren wird als Triangulation bezeichnet (Abbildung 6) und ist später ausführlicher zu beschreiben.

Da die messende Kamera die Messdaten an einen angeschlossenen Computer weiterlei-

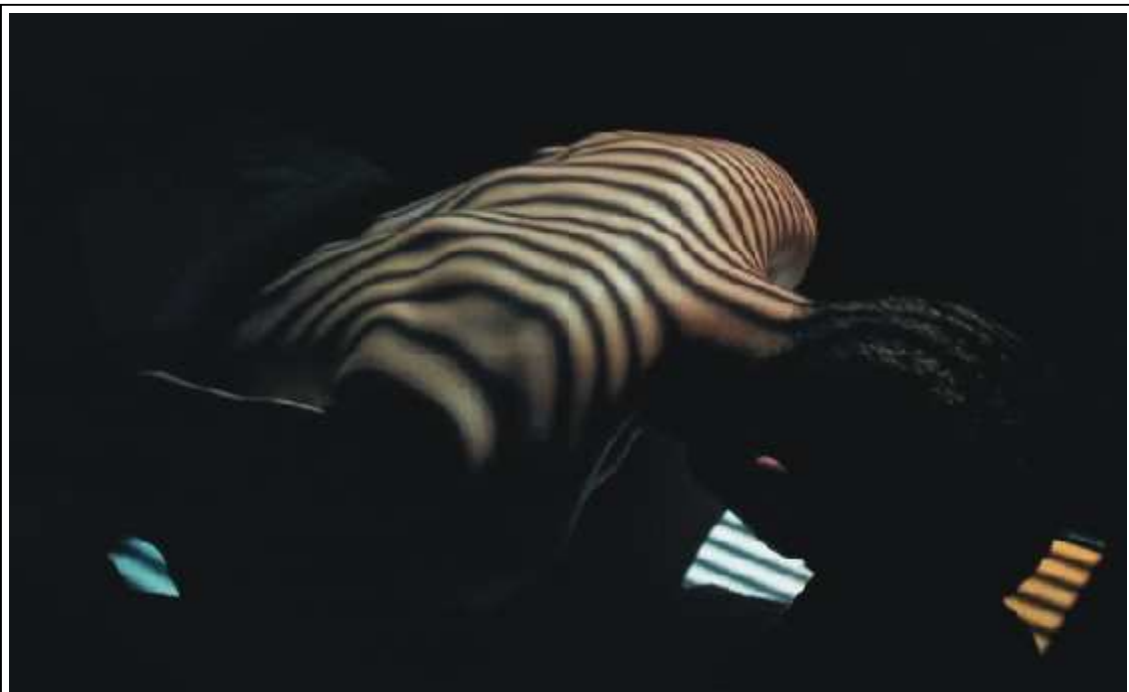


Abbildung 4

Das Prinzip der Streifenlichttopometrie: Parallelprojektion von Streifen auf eine Körperoberfläche und deren Deformation.

tet, ist eine zweite wesentliche Voraussetzung für die streifenlichttopometrische Oberflächenvermessung die Differenzierbarkeit einzelner Streifen. Das verhindert, dass Streifen, die – bedingt durch die topografischen Gegebenheiten – „abbrechen“, in ihrem weiteren Verlauf nicht mehr eindeutig vom Messsystem zugeordnet werden können. Um dies zu umgehen, wird eine sechs Schritte umfassende Sequenz von Streifenmustern auf die zu messende Oberfläche projiziert. Diese Sequenz besteht aus Streifen verschiedener Dicke, die bei jedem einzelnen Messschritt in der Breite abnehmen. So kann jeder einzelne Streifen individuell mit einer Hell-Dunkel-Folge kodiert und schließlich vom angeschlossenen Computer „wiedererkannt“ werden. Diese Technik wird „Graucodierung“ oder „codierter Lichtansatz“ genannt und wird ebenfalls in diesem Kapitel ausführlicher beschrieben.

Graucodierung (Abbildung 5)

Bei mehreren, flächenhaft projizierten parallelen Linien stellt jede einzelne Linie einen Lichtschnitt dar (vgl. Abbildung 5, oberer Anteil: die Punktreihe P_1 bis P_n). Durch die Beschaffenheit des Messobjekts kann jedoch eine Linie „abbrechen“ und in ihrer Gänze im Computer nicht mehr sinnvoll „zusammengeführt“ werden. Das Verfahren der Graucodierung (auch codierter Lichtansatz genannt) behebt diese Uneindeutigkeit durch die Aufnahme einer Bildersequenz (WOLF 1997). Bei jedem Bild dieser Sequenz wird das Streifenmuster auf eine definierte Weise hell oder dunkel geschaltet, so wird die Hell-Dunkel-Sequenz an jedem Messpunkt eindeutig (WOLF 1995, ALBRECHT 1997).

Betrachtet man nur einen einzelnen Punkt des Messobjektes, so wird diesem eine eindeutige Hell-Dunkel-Abfolge zugewiesen. In Abbildung 5 ist dies beispielhaft dargestellt für eine Mustersequenz von vier Elementen. Wenn „1“ dem Zustand „hell“ und „0“ dem Zustand „dunkel“ an diesem Punkt der Oberfläche entspricht, so ist die eindeutige Binärcodierung für diesen Punkt „0100“. Die Pfeilspitze gibt in dem ausgesuchten Beispiel die zeitlichen Folge an. Diese ist so gewählt, dass sie der tatsächlich ablaufenden entspricht.

Indem das Streifenmuster dann eine halbe Phase überstreicht, kann auch die Oberfläche gemessen werden, die zunächst nicht auf der Licht-Schatten-Grenze lag (Abbildung 5, unterer Anteil).

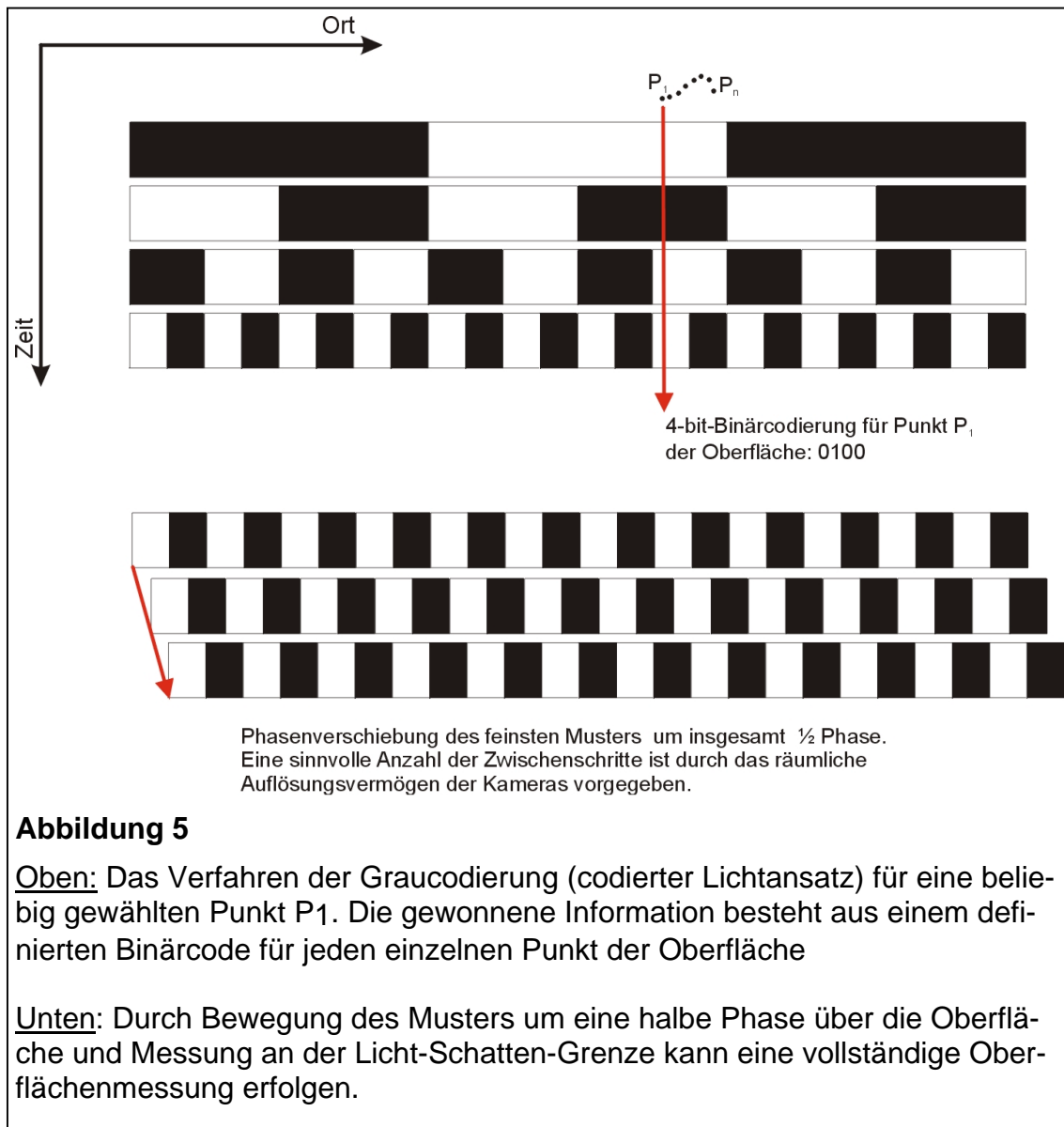


Abbildung 5

Oben: Das Verfahren der Graucodierung (codierter Lichtansatz) für eine beliebig gewählten Punkt P_1 . Die gewonnene Information besteht aus einem definierten Binärcode für jeden einzelnen Punkt der Oberfläche

Unten: Durch Bewegung des Musters um eine halbe Phase über die Oberfläche und Messung an der Licht-Schatten-Grenze kann eine vollständige Oberflächenmessung erfolgen.

Durch die Linienprojektion, die Triangulation (s.u.) und den codierten Lichtsatz ist somit eine absolute Oberflächenmessung möglich.

Um eine räumliche Auflösung im Submillimeterbereich zu erhalten, ist die statische Projektion eines Streifenmusters ungeeignet; die technischen Gegebenheiten des Projektor reichen nicht aus, solch feine Linien sind nicht projizierbar. Da aber eine hohe räumliche Auflösung zwingende Voraussetzung für die Verwendbarkeit der Technik ist, wird das Streifenmuster über des Messobjekt bewegt und die Messung wird mehrfach wie-

derholt. Wie alle Messungen erfolgen dann diese Wiederholungsmessungen am Kontrastmaximum, also der Licht-Schatten-Grenze.

Triangulation (Abbildung 6)

Das im folgenden beschriebene Prinzip der Triangulation ist nicht identisch mit dem gleichnamigen Prinzip, das beispielsweise bei der Landvermessung oder der Fotogrammetrie zum Einsatz kommt. Bei diesen beiden Techniken bewegt sich der Beobachter bzw. die Kamera eine definierte Strecke zum Objekt. Diese Strecke dient dann weiteren trigonometrischen Berechnungen.

Eine solche Bewegung findet bei der innerhalb der Streifenlichttopometrie verwendeten Triangulation nicht statt; hier meint ‚Triangulation‘ die definierte räumliche Beziehung von Messpunkten, Streifenprojektor und messender Kamera.

Trotz der hier also eigentlich falschen Verwendung des Begriffes wird dieser – orientiert an der zu Grunde liegenden Literatur – verwendet.

Das Prinzip der Triangulation beruht darauf, dass von einem Lichtprojektor mindestens ein Punkt P_1 auf die Oberfläche projiziert wird. Die fest installierte Kamera, die in bekanntem Winkel β zur Bezugsebene steht, nimmt diesen Punkt auf. Aus der Geometrie der Anordnung kann man den Abstand des Lichtpunktes zur Bildebene der Kamera berechnen nach folgender Formel:

$$b = \frac{c}{\tan \gamma}$$

Dabei müssen durch vorhergehende Kalibrierung der Winkel γ zwischen Kamera und Projektor sowie der Kamera-Projektor-Abstand c bekannt sind (LAMPALZER 1996). So können also die Raumkoordinaten des Punktes P_1 relativ zur aufnehmenden Kamera berechnet werden.

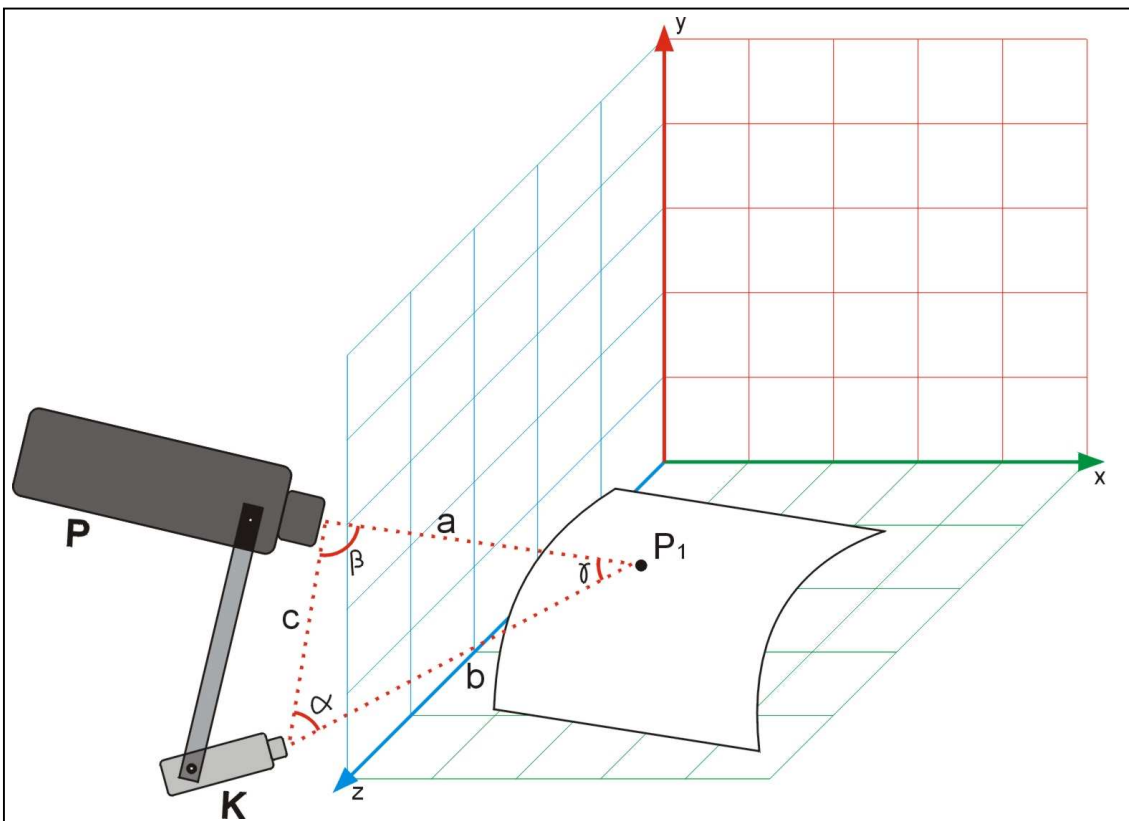


Abbildung 6

Die Triangulation zwischen Projektor (P), Kamera (K) und einem Messpunkt P_1 auf einer Oberfläche.

Um für eine Bezugsebene den Winkel γ konstant zu halten, gilt es zwingend, die Anordnung von Projektor und Kamera zueinander unverändert zu belassen. Wird durch einen Stoß an eines der Elemente diese Anordnung nur minimal verändert, muss die Messvorrichtung neu kalibriert werden.

Bei der Kalibrierung wird dann eine Referenzplatte in eine Grundplatte in definierten Abständen gesteckt, eine Parallelverschiebung in der Z-Richtung wird so möglich. Um den Projektor-Kamera-Aufbau kalibrieren zu können, sind auf der Referenzebene definierte Ringmarken angebracht. Durch die abnehmende Größe der einzelnen Ringmarke während des Verschiebens der Referenzplatte kann die Kameraposition errechnet werden (WOLF 1997). Bei einer Messung mit mehreren Kameras, wie bei der im Robert-Bosch-Krankenhaus installierten Großanlage, bringt dieses Kalibrierverfahren den Vorteil, dass alle Kameras automatisch im selben Koordinatensystem messen.

Lichtschnittverfahren (vgl. Abbildung 4 und Abbildung 5)

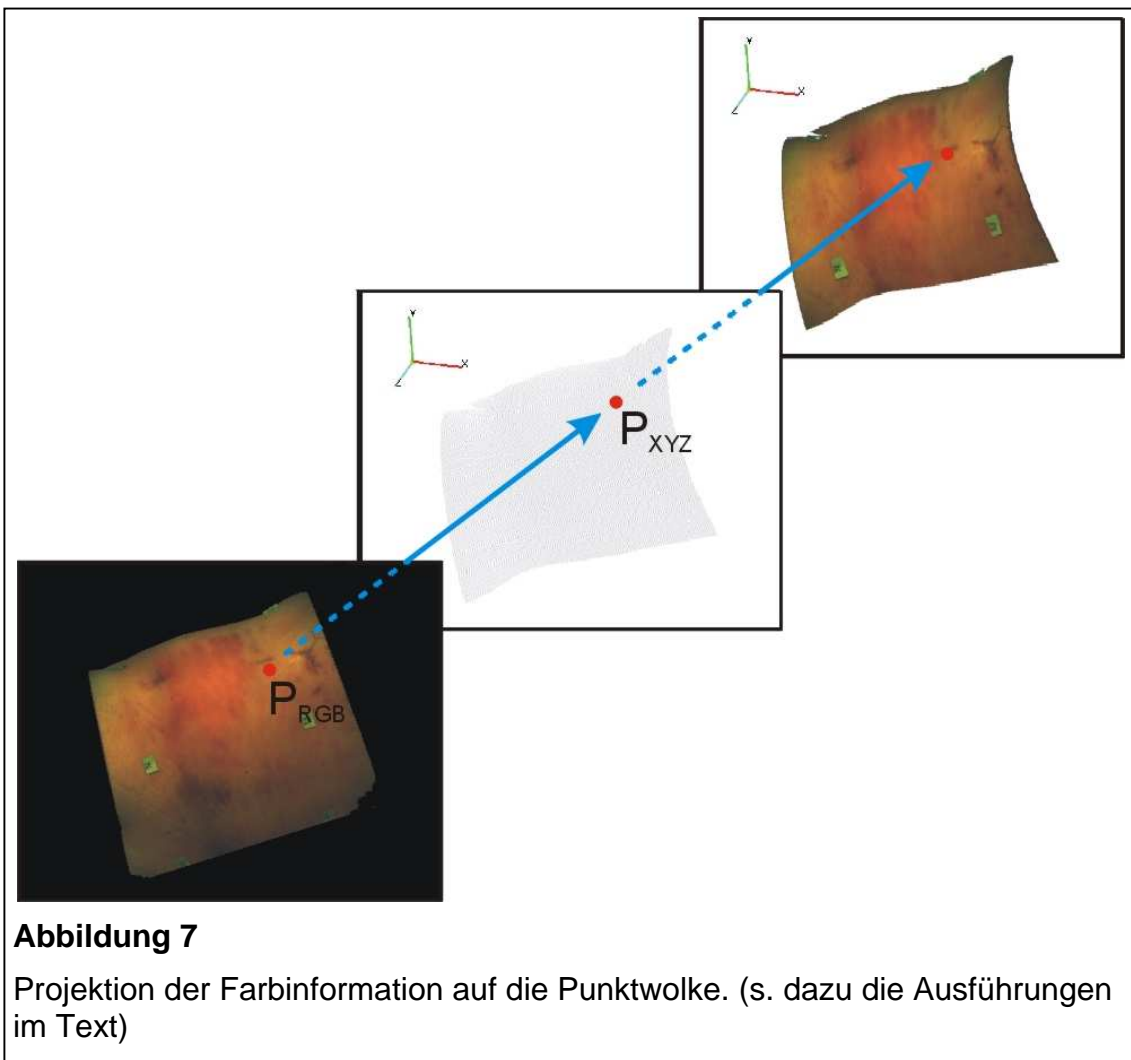
Bei der SLT-Aufnahme wird nicht, wie gerade beispielhaft beschrieben, ein einzelner Lichtpunkt auf die Objektoberfläche projiziert, sondern eine Anordnung aus hellen und dunklen Linien. Aus der Blickrichtung des Projektors bleibt jede dieser Linien exakt gerade. Aus allen anderen Richtungen jedoch wird die Linie entsprechend der topographischen Gegebenheiten der Objekts – oder der Anatomie der Leiche – deformiert (Abbildung 4; hier sind sowohl parallele als auch deformierte Streifen erkennbar). Die Abweichung von der Geradheit im Bild der Kamera ist in der computergestützten Verrechnung ein Maß für die Objekthöhe.

Integration der Farbinformation (Abbildung 7)

Um den gemessenen – bisher farblosen – Raumkoordinaten noch die natürliche Farbe jedes Punkts zuzuordnen, werden die Raumkoordinaten und ein von der Kamera angefertigtes digitales Farbbild verrechnet. Da Farbbild und Raumkoordinaten von einer Kamera aus dem selben Blickwinkel aufgenommen werden, kann bei einer anschließenden Berechnung im Computer das zweidimensionale Bild auf die dreidimensionalen Raumkoordinaten projiziert werden. So wird jedem Punkt die fotorealistische Farbe zugeordnet. Entsprechend der technischen Voraussetzungen der Kamera ist dies gegenwärtig eine Farbtiefe von 24 bit, was ca. 16,8 Millionen Farben entspricht.

In Abbildung 7 befindet sich im Vordergrund die zweidimensionale digitale Fotografie. Die mittlere Abbildung stellt die aus der selben Kameraposition gemessene, farblose Punktwolke dar. Die Farbinformation aus Punkt P_{RGB} der zweidimensionalen Fotografie wird auf den ihr entsprechenden Punkt P_{XYZ} projiziert. Diese Projektion liefert den im hinteren Teil dargestellten dreidimensionalen, farbigen Punkt.

Dieses Vorgehen wird für jeden Punkt des Farbfotos wiederholt. Farbinformationen, die keinem dreidimensionalen Punkt zugeordnet werden können, werden verworfen. Dies kann der Fall sein in Bereichen, für die aus technischen Gründen keine dreidimensionale Information gewonnen werden konnte, die jedoch fotografisch noch erfasst werden konnten.



Das Verfahren liefert damit eine Punktwolke, in der ein einzelner Punkt aus sechs Komponenten besteht: aus drei kartesischen Koordinaten und jeweils einem Wert aus dem – drei Farbkomponenten umfassenden – RGB-Farbsystem. Jeder gemessene Punkt P besteht also aus sechs Elementen in der folgenden Form:

$$P \begin{pmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \\ R_P \\ G_P \\ B_P \end{pmatrix}$$

Jede der so gewonnenen Punktwolken hat ein maximales Volumen von 40*50*20 (B*H*T) Zentimetern bei Aufnahmen mit der Kleinanlage und ein maximales Volu-

men von 60*50*80 (B*H*T) Zentimeter bei Aufnahmen mit der Großanlage. Ziel ist jedoch, eine vollständige virtuelle Leichenpuppe aus einer sehr viel größeren Leiche zu erschaffen. Somit besteht die Notwendigkeit, die einzelnen Punktwolken zu einer Gesamtoberfläche zusammenzufügen. In der Weiterverarbeitung müssen dazu computerunterstützt zwei benachbarte Aufnahmen zur Passung gebracht werden. Diese Technik wird „Matchen“ genannt (von Englisch „to match“: passen, übereinstimmen, zusammenpassen) und wird in Kapitel 5.4 erklärt.

5.2 Die beiden Aufnahmesysteme, die verwendete Software, die Computer

Aufbau der Groß- und der Kleinanlage

Routinemäßig werden derzeit zwei SLT-Messanlagen verwendet: eine mobile Kleinanlage (Abbildung 8) und eine fest installierte Großanlage (Abbildung 9). Die SLT-Aufnahmetechnik beider Anlagen ist identisch (Triangulation, Graucodierung, Farbin- tegration). Die Unterschiede im Aufbau und der Verwendung beider Systeme werden im folgenden erläutert.

Die mobile Kleinanlage umfasst den Streifenlichtprojektor, die Kamera auf dem Messkopf, die entsprechende Stromversorgung für alle Geräte, einen Rollwagen und den Messcomputer mit Monitor. Diese Elemente können schnell abgebaut und einfach transportiert werden. Die Kleinanlage liefert je Aufnahme eine Punktwolke, deren Lage zu benachbarten Punktwolken mittels CAD-gestützten Matchens hergestellt werden muss.

Die SLT-Großanlage ist fest im Obduktionssaal des Robert-Bosch-Krankenhauses in Stuttgart installiert. Bei dieser Anlage umfasst der Messkopf zwei Streifenlichtprojektoren und drei Kameras. Der Messkopf wird auf einer waagrechten Linearachse automatisch über den Obduktionstisch bewegt. In jeder Messkopfposition werden vier Aufnahmen angefertigt. Diese passen bei der Nachbearbeitung ineinander und bilden in Stücken von je 300 mm vollständig eine Seite der Körperoberfläche ab. An einem separaten Arm ist an der Großanlage eine zusätzliche Kleinanlage angebracht. Sie wird auch



Abbildung 8
SLT-Kleinanlage

über den Messcomputer der Großanlage gesteuert und ist in ihren technischen Daten und ihrem Aufbau weitgehend identisch mit der freistehenden, oben beschriebenen. Der zusätzliche Nutzen beider Kleinanlagen liegt in ihren höheren räumlichen Auflösungsvermögen. Diese resultieren aus einem geringeren Abstand zum Messobjekt während der Messung. So können auch feine Verletzungen aufgenommen werden oder solche, die wegen ihrer „versteckten“ Topografie mit der Großanlage nur unzulänglich zu



Abbildung 9
SLT-Großanlage

erfasst sind (vgl. dazu Kapitel 6.2: Die Vermeidung von „hidden points“ bei der Aufnahme)

Die Wege zur Herstellung einer digitalen Leichenpuppe wird in dieser Arbeit für beide Anlagen beschrieben.

Die verwendete Software

Zur Messung und Weiterverarbeitung der Oberflächendaten kamen zwei Softwarekomponenten zum Einsatz. Die Ansteuerung der Messanlage erfolgte mit AbwVis™, die Weiterverarbeitung der gemessenen Daten mit Imageware™ Surfacer™ Version 10.5.

AbwVis™

Zur Steuerung der Messanlage und der Messung der Daten wurde die von der Firma ABW GmbH, Frickhausen (Deutschland) entwickelte Software AbwVis™ in den Versionen V0.4 (©1998) bei der mobilen Anlage und V6.23 (©2002) bei der Großanlage verwendet. AbwVis™ basiert auf Microsoft® Windows NT®. Diese Software erlaubt die Steuerung der Messanlage und ihrer Komponenten. So lässt sich mit ihr die Kalibrierung durchführen, außerdem können sämtliche Projektoreinstellungen (Helligkeit,

Streifendicke u. a.) und Voreinstellungen über das zu messende Volumen vorgenommen werden. Die gemessenen „Rohdaten“ können schnell in einer farbigen 3-d-Ansicht auf ihre Vollständigkeit überprüft werden. Eine Weiterverarbeitung der gemessenen Daten ist in dieser Software nicht vorgesehen.

AbwVis™ erlaubt die für Windows®-basierten Programme standardmäßige Dateiverwaltung. So können einzelne Messungen zu einem späteren Zeitpunkt wieder geöffnet werden, um beispielsweise das während der Aufnahme entstandene Farbfoto zu exportieren, ohne gleichzeitig die eingelesenen dreidimensionalen Koordinaten zu verwenden. Wie später beschrieben kann dies der Identifizierung kleiner Strukturen von Nutzen sein. AbwVis™ speichert die Einzelaufnahmen im Format *.abw ab (* steht für den Dateinamen bzw. die Dateinummer), aus diesem Format heraus muss ein für Imageware™ Surfacer™ lesbares Format exportiert werden.

Imageware™ Surfacer™

Alle weiteren Verarbeitungsschritte erfolgen aus dem auf Microsoft® Windows NT® basierenden CAD-Software Surfacer™. Dies erlaubt eine zügige und präzise Bearbeitung der Daten. Mittels dieser Software wurde die gesamte Weiterverarbeitung der Messdaten vorgenommen, also alle Prozesse bis zur digitalen Leichenpuppe, sämtliche Schritte wie die Vermessung von Durchmesser, Umfang oder Fläche von Verletzungen, sowie die gesamte Nachbearbeitung (Kapitel 7). Durch die hochpräzise Messgenauigkeit und die vielfachen Darstellungsmöglichkeiten konnte diese Software auch für spezielle Fragestellungen genutzt werden. So ließen sich beispielsweise Tatwerkzeuge auf Wunden einpassen (vgl. Kapitel 5.5 und Tabelle 3).

Sonstige verwendete Software

Die Verwaltung der zum Teil sehr umfangreichen Dateien erfolgte unter Microsoft® Windows® und dem hier integrierten Windows® Explorer. Zur Weiterverarbeitung der in digitalisierten Scheiben zerlegten Gehirne (Kapitel 7.4) wurde das Bildverarbeitungsprogramm COREL PhotoPaint™ V. 8 benutzt.

Die verwendeten Computer

An jede der verwendeten SLT-Messanlagen ist je ein leistungsstarker Personalcomputer angeschlossen. Dieser übernimmt sowohl die Steuerung der jeweiligen Messanlage als auch die Weiterverarbeitung der gemessenen Daten. Die verwendeten Computer benutzen einheitlich das Betriebssystem Microsoft® Windows NT®.

Der Computer der mobilen SLT-Anlage besitzt einen mit 450 MHz getakteten Pentium™-II-Prozessoren, einen 1024 MB fassenden RAM, zwei Festplatten mit 40 und 80 GB Speicher sowie eine leistungsstarke Grafikkarte. Diese hat einen Speicher von 16 MB und arbeitet mit einer Farbtiefe von 24 Bit. Für die Darstellung auf dem Monitor wurde eine Bildschirmauflösung von 1024*768 Bildpunkten gewählt.

Der Computer der stationären SLT-Anlage besitzt zwei mit 768 MHz getakteten Pentium™-II-Prozessor, einen 512 MB fassenden RAM, eine SCSI-Festplatte mit 80 GB sowie eine leistungsstarke Grafikkarte der Firma GeForce mit 32 MB Hauptspeicher.

Jeder Computer verfügt über einen CD-Brenner, mit dem die jeweiligen Datensätze schnell archiviert, gesichert oder transportiert werden können.

5.3 Die Verarbeitung der gemessenen Daten

Die gemessenen Daten werden auf der Festplatte des jeweiligen Messcomputers im Format *.abw abgespeichert und eventuell auf CD-Rom archiviert. Die spätere Weiterverarbeitung durch die CAD-Software Imageware™ Surfacer™ erfordert dann einen Export in das *.xyz-Format.

Surfacer™ erlaubt eine vielfältige Weiterverwendung. Wie beschrieben können hier benachbarte Punktwolken mit großer Präzision zu benachbarten Gruppen zusammengefügt werden. Die so entstehende Leichenpuppe kann dann je nach individueller Fragestellung vermessen werden. Verletzungen können auf möglicherweise verursachende Gegenstände hin überprüft werden, ein für die gerichtsmedizinische Arbeit sehr interes-

santer Aspekt (THALI et al. 2000). Ein solches Vorgehen schließt Ungenauigkeiten bei der Vermessung von Verletzungen aus, wie sie bei einfachen Fotografien beschrieben werden (LAWRENCE 1985, BUTTS 1986). Es entfällt auch der umständliche und zeitraubende Vergleich mit Objekten bekannter Größe, beispielsweise mit einem mitaufgenommenen Lineal oder Abschnitten des Sektionstisches. Überdies kann durch die ausschließliche digitale Benutzung aller Daten keine Veränderung, Verfälschung oder Zerstörung der Spur stattfinden.

Der computergestützte Vergleich zwischen Verletzung und dem potenziell verletzenden Gegenstand bzw. Werkzeug wurde im gerichtsmedizinischen Institut der Universität Tübingen mehrfach durchgeführt. Hierfür wurde jeweils nicht nur die entsprechende Verletzung, sondern auch das mögliche Werkzeug streifenlichtpometrisch vermessen (Tabelle 4, Abbildung 14). Durch einen qualitativen Vergleich der beiden Elemente ließ sich eine Zuordnung vornehmen.

5.4 Das Matchen der einzelnen Aufnahmen zu größeren Oberflächen

Durch die physikalischen Grenzen der Linsensysteme beider SLT-Anlagen bedingt, ist es nicht möglich, eine Leiche mit einer einzigen Aufnahme zu erfassen; um einen ganzen Körper zu messen ist es notwendig, diesen aus mehreren Einzelaufnahmen im Computer zu rekonstruieren.

Entsprechend den beiden verwendeten Aufnahmesystemen gibt es hierfür zwei Techniken. Beide werden in diesem Kapitel theoretisch und in ihrer praktischen Anwendung erläutert.

Das Matchen von Einzelaufnahmen der Kleinanlage

Der Messkopf der Großanlage wird automatisch an einer fixierten Linearachse bewegt, die Kleinanlage mit ihrem Messkopf dagegen wird auf einem Rollwagen um den Obduktionstisch und die Leiche bewegt. Letztgenanntes Vorgehen bringt das wichtige Moment der hohen Mobilität und universelleren Einsetzbarkeit mit sich, hat aber auch einen wesentlichen Nachteil. Während durch die technischen Gegebenheiten bei der Großanlage die Rotations- und Translationskomponenten zwischen den einzelnen Auf-

nahmen bekannt sind (siehe unten), ist dies bei der Kleinanlage nicht der Fall. Wie beschrieben wird diese ja frei um die Leiche geführt.

Um trotzdem aus den einzelnen Aufnahmen eine vollständige virtuelle Leichenpuppe herstellen zu können, müssen die Einzelmessungen zusammengefügt werden. Dieser Vorgang wird im wesentlichen vom Computer erledigt, er wird als „Matchen“ bezeichnet.

Dabei gilt es, für jede Einzelaufnahme bezüglich ihrer benachbarten Aufnahme rechnerisch die beiden folgenden Elemente zu ermitteln:

$$\text{Rotationskomponente (Kleinanlage) } \vec{V}_R = \begin{pmatrix} V_{RX} \\ V_{RY} \\ V_{RZ} \end{pmatrix}$$

$$\text{Translationskomponente (Kleinanlage) } \vec{V}_T = \begin{pmatrix} Q(X,Y,Z) \\ R(X,Y,Z) \end{pmatrix}$$

Hierfür werden im Computer auf zwei benachbarten gemessenen Punktwolken identisch vorhandene Bereiche mit dem *CircleSelect*-Tool markiert. Dies können entweder solche Stellen sein, die vor Beginn der Messungen farblich markiert wurden, oder solche, die anatomisch (z.B. ein Ohr) oder pathologisch (eine scharf begrenzte Blutantragung) prägnant sind und sich somit eindeutig von ihrer Umgebung abgrenzen lassen.

Bei Aufnahme einer ganzen Leiche wird auf deren Oberfläche eine größere Anzahl von Klebmarken platziert, diese werden mit aufsteigenden zweistelligen Zahlen beschriftet. Da die Markierungstafeln zu keinem Zeitpunkt der Verarbeitung im Computer entfernt werden können, ist es aus „kosmetischen“ Gründen für eine vollständige Leichenpuppe wünschenswert, eine möglichst kleine Anzahl von Markierungen zu setzen. Das Setzen der Marken sollte dabei in möglichst großen Abständen geschehen; allerdings muss die Erfassung durch die Kamera in zwei benachbarten Aufnahmen noch gewährleistet sein. Für die gesamte Leiche hat sich eine Anzahl von 70 bis 90 Markierungen bewährt (vgl. Abbildung 15, grüne Marken).

Beim Anbringen der Marken wird auf eine gewisse Systematik der Verteilung geachtet. So erfolgt eine Orientierung an anatomische Strukturen: die Marken werden in Reihen mit auf- oder absteigenden Bahnen entlang der Gliedmaßen oder dem Rumpf gesetzt. Die Befestigung findet mittels zweier kleiner Nadeln statt, die in die Haut der Leiche gestochen werden. Dies verhindert ein Verrutschen beim Drehen der Leiche.

Als Alternative zu beschrifteten Marken bewährten sich auch Hansaplast® Fixierpflaster, das bei der Wendung der Leichen nicht verrutschen kann.

Mit dem *CircleSelect*-Tool der CAD-Software wird später diejenige Stelle definiert, die dann beim Matchen mit einer identischen Stelle einer benachbarten Punktwolke zur Passung gebracht werden soll. Diese werden vom Computer mit dem Punktwolkennamen und der Endung *in1* bezeichnet. Werden pro Punktwolke mehrere Marken definiert, werden vom Computer logische, fortlaufende Namen vergeben im Format *in2*, *in3* usw.

Die Exaktheit beim Matchen ist mit abhängig von der Genauigkeit, mit der die einzelnen Markierungen im Computer definiert werden. Zum Erreichen einer möglichst großen Genauigkeit beim folgenden Matchen empfehlen sich zwei Schritte:

- Erstens eine angemessene Vergrößerung des zu markierenden Bereichs. Eine Darstellung der gesamten Punktwolke während des Umfahrens der Markierung führt sonst zwangsläufig zu Ungenauigkeiten im Umgang mit dem *CircleSelect*-Tool. Bewährt hat sich hier die Darstellung in etwa doppelter Originalgröße.
- Zweitens sollte darauf geachtet werden, in der lotrechten Aufsicht auf die zu umfahrende Markierung zu arbeiten. Perspektivische Ungenauigkeiten können – beispielsweise bei einer starken Krümmung der Punktwolke – zur Unbrauchbarkeit der Markierung führen.

Das Matchen selbst wird vom Computer mit der *DirectRegistration*-Funktion über einen Abgleich der Geometrie (nicht der Farbe!) vorgenommen, und zwar indem rechnerisch die mittlere quadratische Abweichung minimiert wird. Hierbei erfolgen zwangs-

läufig Rotation und Translation innerhalb aller möglichen Freiheitsgrade. Zu diesem Zweck muss eine Quell- und eine Zielpunktvolke definiert werden. Die erste erfährt Rotation und Translation, die zweite, ortsfixe Punktvolke verbleibt in ihrer Position, auf sie wird gematcht.

In den beiden vom Benutzer definierten Bereichen wird vom Computer jeweils eine Anzahl von Punkten zufällig gewählt. Die Größe dieses Anteils ist frei bestimmbar und beträgt standardmäßig 10% der gesamten Anzahl der Punkte. Dann wird – wiederum zufällig – ein Punkt der mobilen, zu matchenden Punktvolke einem Punkt auf der ortsfixen Punktvolke zugeordnet. Die Strecken zwischen einem solchen Paar werden im Folgenden fortlaufend mit s_n bezeichnet.

Das Verfahren der Minimierung des Abstandsquadrates erfolgt nun, indem rechnerisch

$$\sum (s_1)^2 + (s_2)^2 + (s_3)^2 + \dots + (s_n)^2$$

die Summe aller quadrierten Strecken minimiert wird. Folge der vorgenommenen Abstandsminimierung ist eine submillimetergenaue räumliche Übereinstimmung der beiden gewählten Bereiche — und damit auch aller zusätzlich selektierten Punktvolken und Punktvolkenanteile.

In den beiden Abbildungen 10 und 11 sollen die beiden durch Gitterpunkte (symbolisch mit den Koordinaten 0/1 bis m/n dargestellt) schematisierten Bereiche aufeinander gematcht werden. Fläche A_1 verbleibt hierbei in ihrer Position, Fläche A_2 erfährt Rotation und Translation. Diese beiden Elemente sind in den Abbildungen dargestellt als eingeschobenes Koordinatensystem mit angedeuteten Rotationspfeilen (für die Rotation) und als Pfeil zwischen den Punkten Q und R (für die Translation).

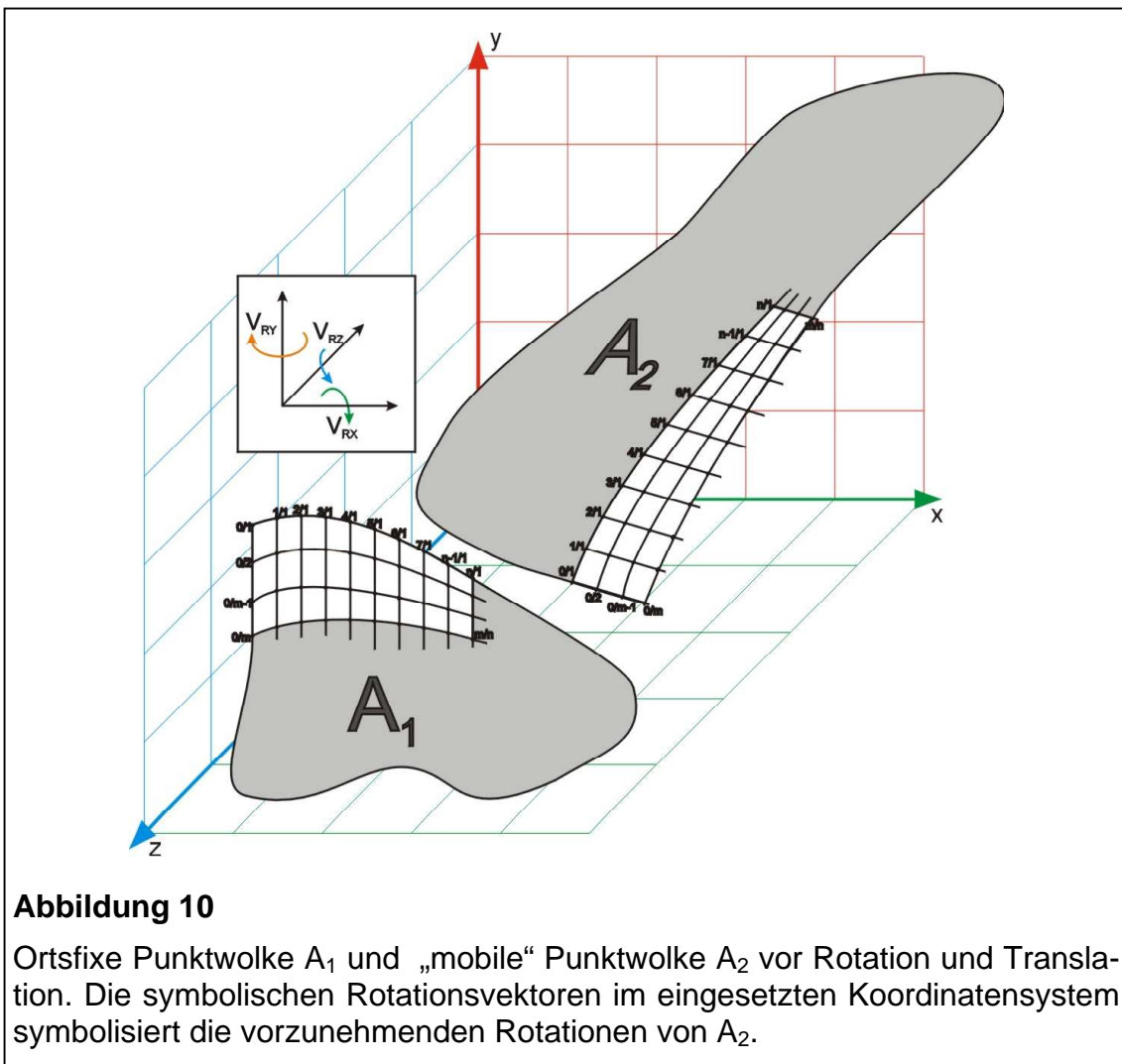


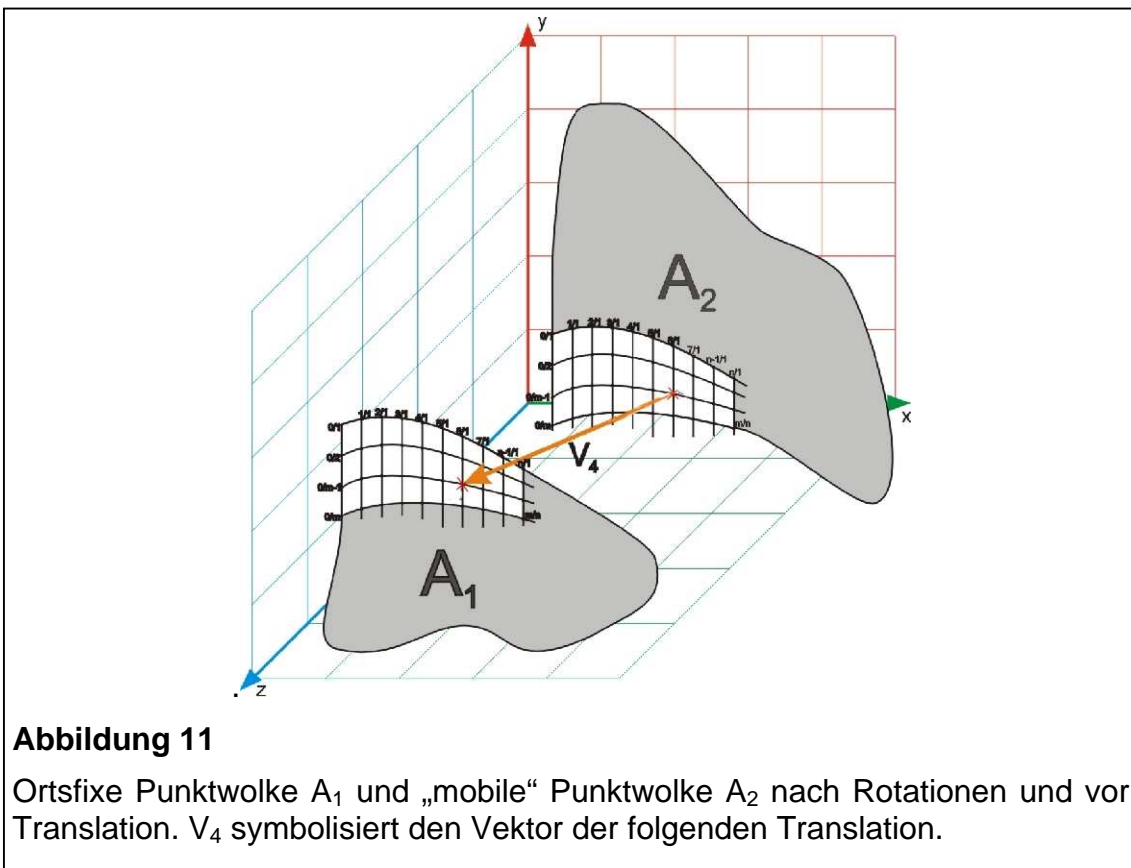
Abbildung 10

Ortsfixe Punktwolke A_1 und „mobile“ Punktwolke A_2 vor Rotation und Translation. Die symbolischen Rotationsvektoren im eingesetzten Koordinatensystem symbolisiert die vorzunehmenden Rotationen von A_2 .

Was zur Erleichterung der Verständnisses in den Abbildungen als zwei getrennte Vorgänge (Rotationskomponente und Translationskomponente) dargestellt wird, wird durch den Computer in einem Schritt berechnet.

In den Abbildungen symbolisieren die grauen Anteile die – eigentlich sehr viel größeren – Bereiche, nicht zum Matchen markiert wurden. Da die Rotations- und Translationskomponente nun bekannt ist, werden diese Bereiche ebenfalls bewegt. Das Resultat – zwei fertig gematchte Punktvolken – ist in Abbildung 12 dargestellt.

Nach erfolgtem Matchen (Abbildung 12) wird die mittlere quadratische Abweichung angezeigt, sie bewegt sich in Bereichen von 100 μm bis 350 μm . Werte, die den letztgenannten überschreiten, werden als zu ungenau definiert, in diesem Fall muss der Vor-



gang wiederholt werden. Ein erneutes, sorgfältigeres Definieren der benachbarten Marken bringt dann meist bessere Ergebnisse.

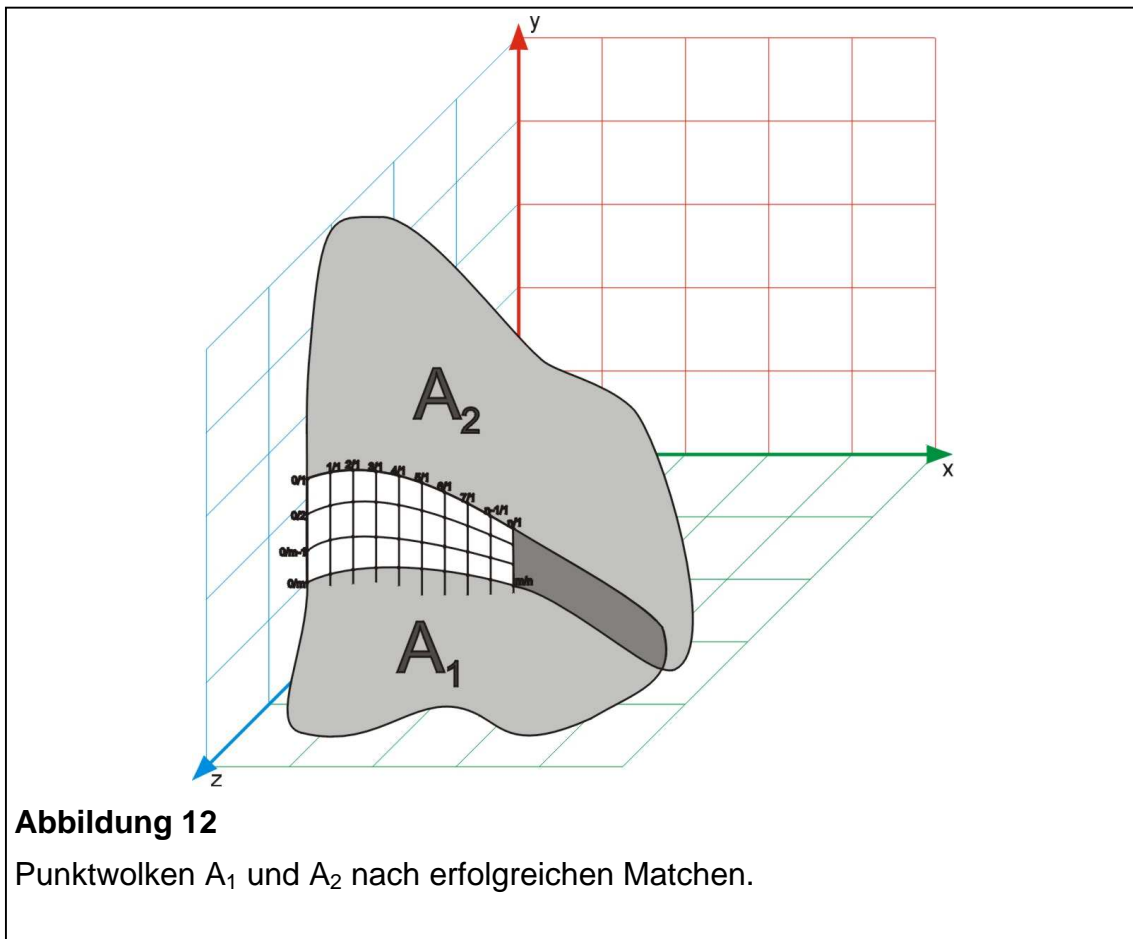
Das Matchen von Vierergruppen der Großanlage

Bei jeder Messung der Großanlage entsteht eine Gruppe von vier Einzelmessungen. Diese entsteht aus folgenden kombinierten Schaltungen der drei Kameras mit den beiden Projektoren:

- | | |
|------------------|--------------------------|
| Erste Aufnahme: | Projektor 1 mit Kamera 1 |
| Zweite Aufnahme: | Projektor 1 mit Kamera 2 |
| Dritte Aufnahme: | Projektor 2 mit Kamera 2 |
| Vierte Aufnahme: | Projektor 2 mit Kamera 3 |

Durch diese Kombinationen wird sichergestellt, dass das zu messende Objekt, die Leiche, von allen Seiten ausreichend aufgenommen werden kann. (Ausnahmen sind in Kapitel 6.2 beschrieben.)

Die vier bei einer Messung entstehenden Einzelaufnahmen haben in Y-Richtung (entspricht kranio-kaudal bei der Leiche) eine Ausdehnung von bis zu 500 Millimetern. Da der in Kapitel 6.3 zu beschreibende „periphere Beleuchtungsfehler“ auch in dieser Raumrichtung auftritt, wird von diesem Bereich nur der mittlere, exakt 300 Millimeter messende Anteil verwendet; die beiden peripheren Anteile werden verworfen. Dies geschieht anhand des später zu beschreibenden Schnittmusters.



Durch die gemeinsame Kalibrierung des Messsystems an einer Bezugsebene entstehen vier Einzelaufnahmen, die den anatomischen Gegebenheiten folgend im Raum bereits exakt zueinander passen (WOLF 1997). Da jede Vierergruppe nun eine Ausdehnung von exakt 300 Millimetern abdeckt, müssen mit dem großen Messsystem sieben Aufnahmen bei einem Vorschub von jeweils genau 300 Millimetern angefertigt werden, um eine normal große Leiche ganz aufzunehmen.

Der Bewegungsvektor des Messkopfs ist bekannt, er hat eine Länge 300,0 Millimetern, verläuft waagrecht, linear und genau zentriert über dem Aufnahmevolumen. Wenn man

die erste angefertigte Vierergruppe als Bezugssystem betrachtet, ist damit auch der Bewegungs- und Translationsvektor des zweiten und aller folgenden Vierergruppen eindeutig:

Die Rotationskomponente der Großanlage $\vec{V}_R = \begin{pmatrix} V_{RX} \\ V_{RY} \\ V_{RZ} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$, da der Messkopf keine

Rotationsbewegung um die drei Hauptraumachsen macht, die später nachzuvollziehen wäre; deshalb hat jede der drei Komponenten den Wert Null.

Die Translationskomponente der Großanlage beträgt für jede Vierergruppe relativ zur jeweils vorhergehenden Gruppe $\vec{V}_T = \begin{pmatrix} Q(X, Y, Z) \\ R(X, Y + 300\text{mm}, Z) \end{pmatrix}$. Zwischen zwei benach-

barten Vierergruppen findet also einzig eine Translation in Y-Richtung um 300 mm statt, die in der späteren Verarbeitung mit dem *Translation-Tool* einfach nachvollzogen werden kann. Diese Translation nur in Y-Richtung ist in Abbildung 13 dargestellt.

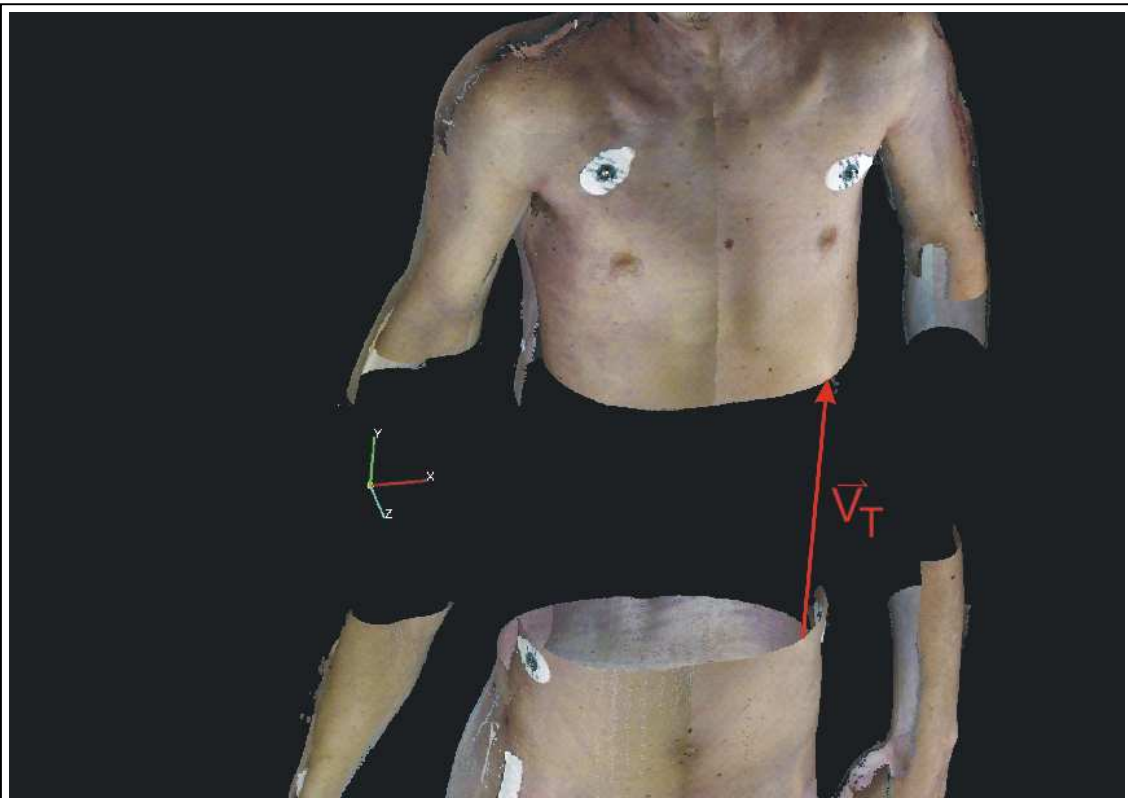


Abbildung 13

Farbige Darstellung des Verschiebungsvektors zwischen zwei Punktwolkengruppen. Man beachte die übereinstimmende Raumrichtung von Verschiebungsvektor \vec{V}_T und Y-Achse.

Der Einsatz von SLT zur exakten Oberflächenvermessung erschöpft sich nicht auf ganze Leichen. Vielmehr ist es sinnvoll, eine Leiche und ein verletzendes (Tat-) Werkzeug aufzunehmen.

Da die Aufnahmetechniken von Werkzeug und Leiche sich in einigen technischen Aspekten unterscheiden, werden diese gesondert besprochen. Die beschriebene Technik des Matchens der Einzelaufnahmen ist für Leiche und Werkzeug gleichermaßen gültig.

5.5 SLT-Aufnahmetechnik bei Werkzeugen und Gegenständen

Vor der eigentlichen SLT-Aufnahme wird in der Regel ein automatischer Lichtabgleich vorgenommen. Auf diese Weise kann die für die Aufnahme geeignetste Beleuchtungsstärke (*Dim Level*) bestimmt werden. Bei einer Aufnahme von Gegenständen kann – im Gegenteil zur farblich homogeneren Leichenoberfläche – dieser Wert aber nicht für alle Gebiete einer Aufnahme optimal sein. Dies ist besonders dann der Fall, wenn auf einer Aufnahme Bereiche mit stark unterschiedlicher Farbe vorhanden sind. Bei der in Tabelle 3 aufgeführten SLT-Vermessung einer PKW-Seitenpartie kam dieser Effekt durch die Nachbarschaft einer verchromten Zierleiste mit der schwarzen Lackierung am Kotflügel zustande. Diese beiden Elemente – beachtbar auf einer Aufnahme mit dem selben *Dim Level* – bildeten den größtmöglichen Kontrast.

Zur Vermeidung eines solchen Effektes bietet es sich an, jeweils mehrere Aufnahmen einer einzigen Stelle anzufertigen. Zwischen diesen Aufnahmen wird die räumliche La-

Objekt	Oberfläche und Farbe	geeigneter <i>Dim Level</i>
Hammerkopf	tiefschwarz, glänzend	150
Büroknipser (Unterseite)	anthrazit, matt	200
Schere (Backen)	silber-glänzend	20
Schere (Griff)	matt, schwarz	150
Kerzenständer	bronzefarben, nicht glänzend	150
Hammer 1	Griff naturfarben, klar lackiert	100
	Kopf tiefschwarz, glänzend	30
Hammer 2	Griff mattschwarz	150
	Stiel metallisch-silbern	30
	Kopf mattschwarz	100

Tabelle 3

Jeweils geeigneter *Dim Level* für SLT-Aufnahme inhomogen strukturierter Objekte.

ge der SLT-Anlage nicht geändert, wohl aber der jeweilige *Dim Level*. Die Einzelaufnahmen werden dann nach einer der beschriebenen Methoden übereinander gematcht. Bei der SLT-Kleinanlage kann der *Dim Level* zwischen den Werten 0 (keine Beleuchtung) und 255 (maximale Beleuchtungsstärke) variiert werden. Für stark reflektierende Strukturen eignet sich ein geringer Wert, für dunkle und matte Strukturen ein hoher (Tabelle 3). Hohe *Dim Level*-Werte liefern durch die notwendige Überstrahlung eher farbunechte Ergebnisse, so zum Beispiel eine Verschiebung von schwarz zu grau-grün bei einem matt-schwarzen Objekt mit rauer Oberfläche. Bei allen Objekten werden mehrere Einzelaufnahmen angefertigt, um die vollständige Struktur zu erfassen. Anders als bei einer Leichenvermessung kann während des Drehens keine Formveränderung des Objekts stattfinden. Somit entfällt die Notwendigkeit zur Wiederherstellung der ursprünglichen Lage, was später für die Leiche zu beschreiben ist.

Streifenlichttopometrie ist zu vielen Zwecken einsetzbar. Da deren ausführliche Beschreibung den Rahmen dieser Arbeit überschreiten würde, wird hier nur eine beispielhafte Anwendung dargestellt (Tabelle 4).

Aufgenommenes Objekt	Grund der Messung
Vollständiger Kerzenständer	digitales Einpassen in eine aufgenommene, isoliert asservierte tiefe Risswunde
Seitenpartie eines Unfallwagens	Rekonstruktion des Unfallgeschehens einschließlich der Aufnahme des Unfallgeschädigten
Ausgesuchte Wandbereiche eines Zimmers	Rekonstruktion eines Tötungsdelikts mit einer Schusswaffe, zusätzlich Aufnahme der Beteiligten
Stiefelabsatz	Frage nach Übereinstimmung mit Verletzungen im Gesicht eines Geschädigten

Tabelle 4

Streifenlichttopometrisch aufgenommene Objekte und die jeweils dazugehörige Begründung.

Bei der in Abbildung 14 dargestellten Verletzung handelt es sich um eine Bissspur auf einem Unterarm. Sowohl diese als auch das fragliche Tatwerkzeug – die Zähne eines Oberkiefers – wurden isoliert per SLT aufgenommen. Bei einer späteren Rekonstruktion konnte die Zahnreihe qualitativ in die Verletzung eingepasst und somit der Zusammenhang zwischen Trauma und traumatisierendem Werkzeug eindeutig hergestellt werden.

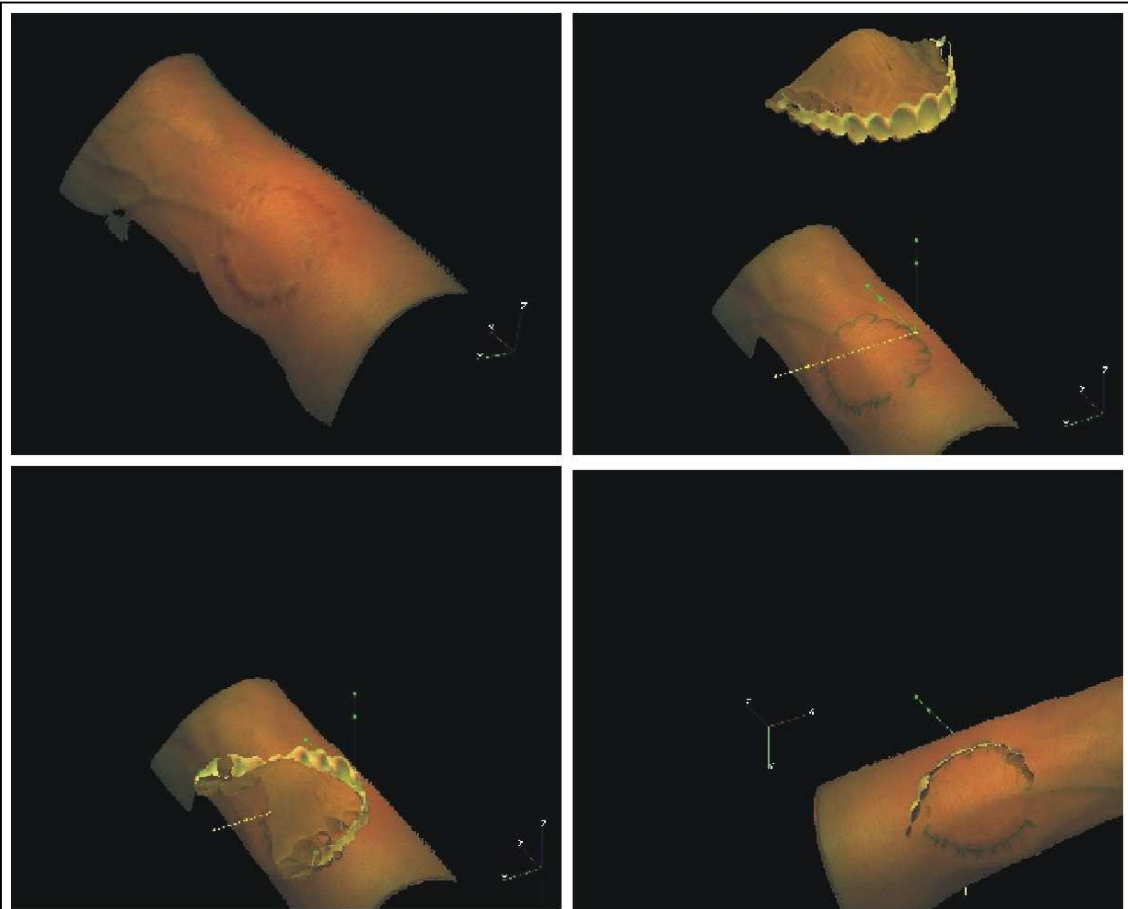


Abbildung 14

Dreidimensionales Einpassen eines traumatisierenden Werkzeugs (Gebiss) in eine Verletzung.

5.6 SLT-Aufnahmetechnik von Leichen

Der für die Aufnahme einzelner Gegenstände beschriebene extreme Kontrast von hellen, spiegelnden und dunklen, matten Anteilen innerhalb einer Aufnahme entfällt bei Leichenoberflächen weitgehend. So kann hier der optimale *Dim Level* im Normalfall automatisch bestimmt werden, eine manuelle Korrektur ist oft nicht nötig. Sollte trotzdem ein Nebeneinander von sehr hellen und sehr dunklen Anteilen auf der Leiche bestehen (beispielsweise bei angetrocknetem Blut), so kann eine manuelle Abstimmung vorgenommen werden. Für das erwähnte Beispiel eigneten sich dann *Dim Level*-Werte von 180 bis 200 Einheiten im Bereich der Blutanrocknung; in unverletzten Bereichen werden zumeist *Dim Level*-Werte von 110 bis 130 Einheiten verwendet. Diese Werte können jedoch je nach Hautkolorit der Leiche auch schwanken.

Die bei der Aufnahme von Leichen auftretenden Probleme des Prematchings, der Aufnahme auch „unzugänglicher“ Punkte, sogenannter „hidden points“ und der unterschiedlichen Oberflächenausleuchtung werden in Kapitel 6.1 bis 6.3 beschrieben.

6. Bei SLT-Aufnahmen und der folgenden Verarbeitung auftretende Probleme sowie deren Lösungen

6.1 Das Prematching

Bereits bei den ersten vollständigen Leichenvermessungen mittels SLT war aufgefallen, dass durch die notwendige Umlagerung aus der Rücken- in die Bauchlage Bewegungen der Leiche in vielen Gelenken stattgefunden hatten. Diese erschwerten es wesentlich, durch die weitere Verarbeitung der Daten im Computer noch zu einem optisch befriedigenden Resultat zu kommen (Abbildung 15).

Zur Lösung dieses Problems wurden verschiedene Strategien verfolgt, die sich alle an den von BALE et al. (1998) formulierten Ansprüchen (Tabelle 5) an ein Fixiersystem orientierten.

Um diese Anforderungen bestmöglich zu erfüllen, wurden zwei Wege beschritten: Erstens wurde versucht, die Leichenposition nach Drehung des Körpers exakt zu rekonstruieren. Hierbei kamen Hilfsmittel zum Einsatz, die dazu beitragen sollten, die Stellungen der großen Gelenke wiederherzustellen.

Zweitens kam ein kommerziell erhältliches Fixiersystems zu Einsatz, das eine unerwünschte Bewegung der Extremitäten während der Drehung erst gar nicht zuließ.

Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse über beide Methoden, deren Praktikabilität, Zeitaufwand und Genauigkeit werden in diesem Kapitel beschrieben.

Anforderungen an ein Fixiersystem

- Exaktheit bei der Fixation
- gute Reproduzierbarkeit
- möglichst einfache Bedienbarkeit
- möglichst geringer zeitlicher Aufwand
- möglichst kostengünstig
- Fixation des Hals-Kopf-Bereiches

Tabelle 5

Anforderungen an ein Fixiersystem. Nach BALE et al.1998.

Vor allem in den radiologischen Disziplinen aber auch in der Neurochirurgie (BALE et al. 1998, BALE et al. 2000) wird der Einsatz von Methoden zur Lagereproduktion und Einschränkung von Bewegungen beschrieben. Besonders gravierend sind diese Probleme in der Strahlentherapie (NORWOOD et al. 1984) und radiologischen Bildgebung (WOOD 1985, CLARK et al. 1988, SCHIEBLER et al. 1992).

BEAL (1976) und DEBUS et al. (1993) beschreiben den Einsatz von individuell gefertigten Gesichtsmasken bei der Bestrahlung von Tumoren im Kopf- und Halsbereich. Eine Oberkieferfixierung für Kopf-Hals-Bestrahlung stellen HENKE (1982) und BOHNDORF et al. (1983) dar. Eine Erweiterung dieser Technik schildern HAWLIZEK et al. (1989). Hier kommt eine Kombination von Gesichtsmaske und Teilkörperschalen aus Polyurethan zum Einsatz. Ähnlich geht GEYER (1997) vor. Er verwendet Gesichtsmasken und Vakuumkissen in der Strahlentherapie. Das Vakuumkissen dient hier noch nicht der Fixierung eines zu bestrahlenden Areals sondern der Patientenbequemlichkeit. Die eigentliche Fixierung findet auch durch eine individuell gefertigte



Abbildung 15

Gelenkbewegungen im Bereich von rechtem Fuß und linker Hand. Aufnahmen mit der SLT-Kleinanlage vor Zuschchnitt der einzelnen Punktwolken.

Maske statt.

Die Fixierung von Extremitäten bei der Bestrahlung von Weichteilsarkomen schildern NIEWALD et al. (1990). Hier kommen Lagerungsschalen zum Einsatz, die aus einem doppelwandigen textilen Schlauchverband und Polyurethanschaum bestehen. Dieses System ermöglicht eine Reproduzierbarkeit der Lagerung einer Extremität über alle notwendigen Sitzungen hinweg. MENKE et al. (1994) bestätigen die Genauigkeit gängiger Systeme zur Bewegungseinschränkung und Lagereproduktion.

6.1.1 Hilfsmittel bei der Umlagerung

Hilfsmittel bei der Lagewiederherstellung

Bei der Lagewiederherstellung der Leiche wurden verschiedene Hilfsmittel verwendet. Dies waren dicke Bücher, Styroporklötze in verschiedenen Größen und Laborstative mit



Abbildung 16 a,b

Eine Möglichkeit zur Lagewiederherstellung: Einsatz einer Wasserwaage (rote Linie), von Unterlagen und Abstandshaltern aus Styropor.



Abbildung 17

Styroporklotz als Abstandshalter zur Lagewiederherstellung in der Frontalebene.

einer waagrecht Auflagefläche. (Abbildungen 16 a,b und 17) Die Entscheidung, welches der genannten Hilfsmittel zum Einsatz kam, hing von den jeweiligen Bedingungen ab. Beispielsweise konnten Bücher und Laborstative aus Gründen der Hygiene nur bei der Umlagerung eines Probanden eingesetzt werden.

Ebenfalls aus diesem Grund wurden die bei der Umlagerung einer Leiche eingesetzten Styroporklötze nach Gebrauch entsorgt. Bei der Lagerekonstruktion kamen auch ein handelsüblicher Zollstock sowie eine 80 Zentimeter lange Wasserwaage zum Einsatz. Als Markierungen auf der Leichenoberfläche bot sich einseitiges Klebeband mit starker Klebekraft (z.B. Hansaplast® Classic Fixierpflaster) an, das in Streifen von zirka 10 Zentimetern zugeschnitten wurde. Diese blieben unbeschriftet und erfüllten ihren Zweck nur durch ihre Farbe (Abbildung 16 a. Der Einsatz der Wasserwaage ist in dieser Abbildung symbolisiert durch eine waagrechte Gerade.)

Der Einsatz des Fixiersystems als Hilfsmittel

Um Bewegungen während der Drehung ganz zu verhindern, wurde eine kommerziell erhältliche Fixiereinheit verwendet. Diese ursprünglich für den Gebrauch in Strahlen-

therapie und Rettungswesen konzipierten Matten wurden so um die zu drehende Leiche platziert, dass das Entstehen von Bewegungsartefakten verhindert werden konnte.

Diese von der Firma Medint, in Schwabmünchen (Deutschland) vertriebenen Vakuummatten bestehen aus einer festen, mit Polyurethan beschichteten Nylonumhüllung, die mit einem Polyester-Granulat gefüllt ist. Das feine, harte Granulat gewährleistet eine hohe Genauigkeit des Abdrucks. Am Kopfende befindet sich ein Ventil, über das die mitgelieferte Pumpe das notwendige Vakuum erzeugt (Abbildung 18 a,b). Dieses kann – laut Firmenangaben – bis zu sechs Wochen gehalten werden.

Die Fixiereinheit weist im evakuierten Zustand eine hohe Rigidität auf, die zusammen mit dem Negativabdruck des eingebetteten Körpers Umlagerungsartefakte verhindert. Durch die Beschichtung der Matten kann im luftgefüllten Zustand eine bequeme und zuverlässige Säuberung und Desinfektion mit allen gängigen Flächendesinfektionsmit-



Abbildung 18 a, b

Der Einsatz von Spannriemen um die Umlagerungsmatten.

teln erfolgen. Es erwies sich als günstig, die Matten im luftgefüllten Zustand zu lagern, was eine einfachere Handhabung und Lagerung erlaubte. Für den festen Schluss der beiden einzelnen Matten um die Leiche herum wurde ein Zurrurt mit Klemmschloss verwendet (Firma Meili). Mit einer Gesamtlänge von 6,0 Metern und einer Bandbreite von 25 Millimetern weisen diese – laut Herstellerangaben – eine Zugkraft von 1500 Newton auf (Homepage der Firma Meili).

Die vier verwendeten Gurte (Abbildung 18) erwiesen sich sowohl von der Belastbarkeit als auch von der Breite her als ausreichend. Bei einer benötigten Länge von maximal 2,5 Metern konnten alle vier Gurte um 2 Meter gekürzt werden.

6.1.2 Prematching am Probanden

Bei den ersten Umlagerungsversuchen erwies es sich als vorteilhaft, mit einem Probanden zu arbeiten. Dieser konnte große Teile der Umlagerung selbst vornehmen. So waren hier keine weiteren Hilfskräfte notwendig.

Es wurden jeweils SLT-Aufnahmen über eine Stecke 2100 mm mit einem normalen Messkopfvorschub von jeweils 300 mm angefertigt. Bei der Beleuchtungsintensität wurden Standardwerte verwendet.

Die Gesamtdauer des Scannvorgangs mit den eigentlichen Aufnahmen, der Umlagerung und ihrer Optimierung sowie der Benutzung der Software dauerte je nach verwendeter Umlagerungstechnik ein bis zwei Stunden. Mit dem Probanden wurden in mehreren Sitzungen die im Folgenden beschriebenen Umlagerungstechniken erprobt.

Die Nachbearbeitung im Computer wurde aus Zeitgründen abgekürzt. So entfiel die Entfernung von Umgebungsartefakten und von mehrfach vorhandenen Bereichen sowie die individuelle Nachbearbeitung.

Lagerekonstruktion mit Laborstativen

Zur Lagewiederherstellung wurden vier kleine Laborstative als Lagerungshilfen der Extremitäten benutzt. Der Proband wurde angewiesen, seine Lage im Raum anhand dieser Stative wiederherzustellen. Hierzu konnte er die distalen Extremitäten (distale Unterarme, distale Unterschenkel) auf die fixierten Stative stützen. Bei späteren Versu-

chen wurden Unterlagen unter die proximale Extremitätenabschnitte gelegt. Diese hatten jedoch keine Bedeutung für die Lagewiederherstellung und dienten nur der Bequemlichkeit des Probanden. Zudem wurde der Proband aufgefordert, Ellenbogen- und Fingergelenke zu strecken und die Handgelenke in Mittelstellung zu halten.

Ergebnis

Mit dieser Technik werden ungenügend genaue Ergebnisse erzielt, es kommt zu erkennbaren Bewegungsdifferenzen zwischen Front- und Rücken-aufnahmen bei proximalen (Schulter, Hüfte) und distalen Gelenken (Knie, Sprunggelenke). Diese Bewegungen finden in der Sagittal- und Frontalebene statt, besonders im Bereich der Kopf-Hals-Region.

Lagerekonstruktion mit Marken, Unterlagen und einer Wasserwaage

Bei dieser Technik wurden dem Probanden im Bereich der Rumpfaußenseite, der Oberschenkelaußenseiten, der Ober- und Unterarmaußenseiten sowie im Halsbereich 4 bis 6 Zentimeter lange Filzstiftstriche aufgezeichnet. Insgesamt wurden zirka je 10 Striche an der rechten und linken Körperseite aufgemalt. Jeder dieser Striche wurde waagrecht zum Aufnahmetisch angebracht, die waagrechte Lage wurde mit einer Wasserwaage kontrolliert. Der Proband wurde außerdem zentriert zum Aufnahmetisch gelagert. Dies konnte exakt entlang einer gedachten Linie durch die Mitte des Tisches sowie durch die Nase und durch den Nabel des Probanden erfolgen.

Nach der Aufnahme der Frontseite und der Umlagerung wurde versucht, die Lage des Probanden zu rekonstruieren. Hierzu wurden unter Füße, Beine, Arme und den Kopfbereich Unterlagen in Form von dicken Büchern untergeschoben (vgl. Abbildung 16 b). Deren Position wurde so lange variiert, bis die Lage der zuvor gezeichneten Striche auf der Haut wieder waagrecht war. Die Ausrichtung des Probanden in der Bauchlage erfolgte wieder zentriert zum Aufnahmetisch.

Ergebnis

Die Lage aller Gelenke in ihren Sagittalebene konnte so fast völlig wiederhergestellt werden. Nur innerhalb der Frontalebene kam es noch zu geringen Bewegungen der Ex-

tremitäten, beispielsweise zu Adduktions- und Abduktionsbewegungen im Bereich der Hüfte. Diese Technik ist mit nicht unerheblichem Zeitaufwand verbunden, der im Bereich von 20 bis 30 Minuten liegt.

Lagerekonstruktion mit Marken, Unterlagen, einer Wasserwaage und Abstandshaltern

Diese Technik stellt eine Erweiterung der zuvor beschriebenen dar. Um die Bewegungen innerhalb der Frontalebene zu kontrollieren, wurden beim Probanden noch zusätzlich die Entfernungen zwischen den Innenknöcheln sowie den beiden Daumenballen und den Oberschenkeln gemessen. Diese Entfernungen wurden nach der Drehung wieder hergestellt. Bei einem zweiten Versuch wurden die Entfernungen nicht gemessen, sondern durch Styroporklötze standardisiert (vgl. Abbildung 17).

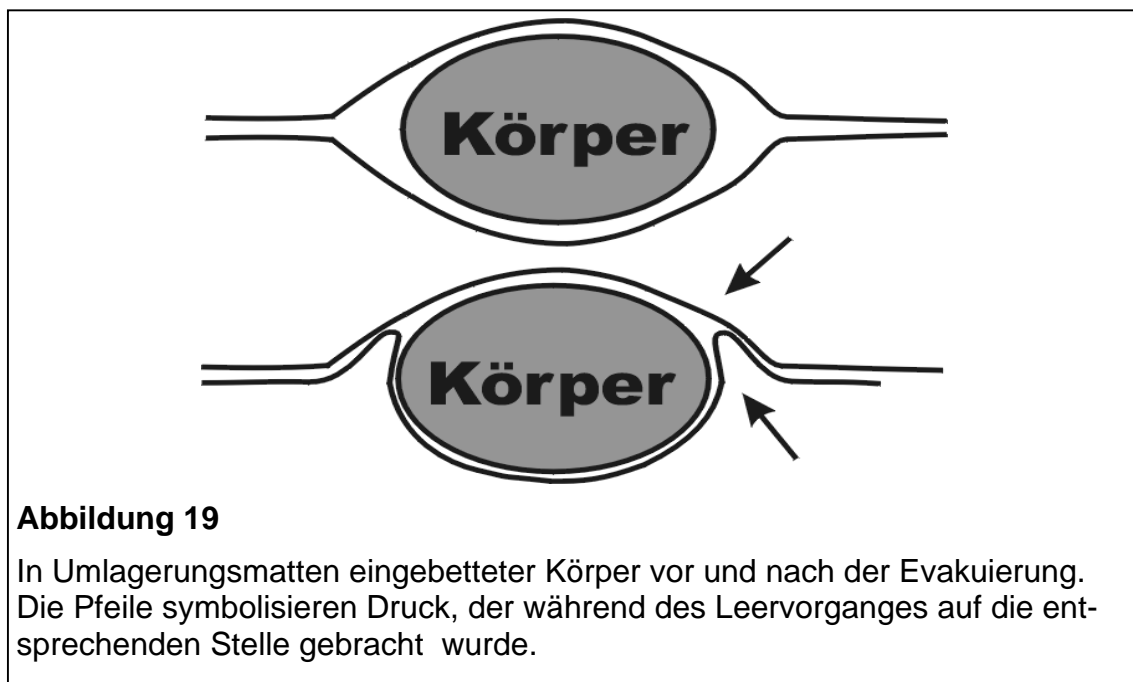
Ergebnis

Wie bereits beschrieben kann die Lage aller Gelenke in ihren Sagittalebene mit dieser Technik weitgehend rekonstruiert werden. Geringen Extremitätenbewegungen innerhalb der Frontalebene können durch die verwendeten Abstandshalter vermieden werden. Der benötigte Zeitaufwand liegt noch einige Minuten über der zuvor beschriebenen Technik.

Der Einsatz einer Fixiermatte

Der Einsatz der im Gerichtsmedizinischen Institut für die SLT-Aufnahme verwendeten Vakuum-Fixiereinheit (Abbildung 20 a,b) ist vor allem für die Radiologischen Disziplinen beschrieben. So findet sie Verwendung in der Strahlentherapie (BALE et al. 1998), der digitalen Angiografie (BALE et al. 1999a), in anderen Formen der radiologischen Bildgebung (BALE et al. 1999b), in der digitalen Subtraktionsangiografie (BALE et al. 2001a) und in radiologisch-interventionellen Prozeduren (BALE et al. 2001b). Vakuum-Fixiereinheiten werden auch bei neurochirurgischen Operationen verwendet (BALE et al. 1997, BALE et al. 2000). Ein vergleichbares System und seine Anwendung wird im Zusammenhang mit Patienten beschrieben, deren schwere Hirnverletzungen es ihnen unmöglich machten, für die Dauer einer Kernspintomografie ruhig zu liegen. In diesen Fällen wurde eine nichtmedikamentöse Ruhigstellung des Patienten angestrebt (WILSON 1992).

Zur SLT-Aufnahme wurde eine der Fixiereinheiten ausgebreitet. Beachtet wurde hierbei, dass der Inhalt dieser Einheit gleichmäßig verteilt war, sich füllungsbedingt keine "Hügel" und "Täler" bildeten (Abbildung 19, Randbereich). Der Proband legte sich längs und quer zentriert auf die untere Einheit. In Längsrichtung blieben so jeweils zirka 15 Zentimeter ungenutzter Mattenteil im Bereich der Füße und des Kopfes, in Querrichtung waren es nur wenige Zentimeter. Danach wurde die Luft aus den bis dahin gefüllten Matten abgepumpt. Während des zirka 2 Minuten dauernden Vorgangs wurde der entstehende Abdruck des Probanden beeinflusst. Dies war möglich, da die zunehmend "aushärtende" Matte im Verlauf des Leerpumpens noch formbar war. Die Beeinflussung des entstehenden Abdrucks erstreckte sich auf zwei Bereiche: Erstens wurde versucht,



eine kleine Erhebung um den gesamten eingebetteten Körper herum entstehen zu lassen (Abbildung 19, Pfeile). Dies erwies sich als notwendig, da ohne eine solche manuelle Veränderung verschiedene Bereiche ausgespart geblieben wären, beispielsweise diejenigen zwischen Hüften und Armen. In diesem Areal hätte dann doch eine kleine Gelenkbewegung während des Umdrehens stattfinden können, im genannten Falle im Bereich der Ellenbogen. Zweitens wurde darauf geachtet, dass die Wülste um die Extremitäten und den Kopf umgebenden Wülste nicht zu ungleichmäßig und zu hoch werden konnten. Durch einen zu hohen „Wall“ von Füllmaterial im Bereich einer Extremität

hätten diese bei der nachfolgenden streifenlichttopometrischen Erfassung nicht beleuchtet und damit auch nicht aufgenommen werden können. Nach dem Leerpumpen der unteren Fixiereinheit wurde die zweite Fixiereinheit auf den Probanden verbracht, jedoch zirka 25 Zentimeter kaudal zur ersten verschoben, um ausreichend Sauerstoffzufuhr zu gewährleisten. Während der Entleerung der oberen Einheit wurde darauf geachtet, dass diese sich direkt an den Körper und die schon vorhandene untere Einheit anpasste. Synchron zum bereits beschriebenen Vorgehen bei der ersten Matte erfolgte dies durch ein manuelles Umverteilen der Füllung hin zu den leereren Bereichen.

Bei der SLT-Aufnahme der Frontpartie kam der Proband auf der anfangs unteren Vakuummatte zu liegen, bei der Aufnahme der Rückenpartie auf der oberen. Durch die harte Form der Matte musste der Proband zwangsläufig in die vormalige Lage zurückkehren.

Ergebnis

Als Ergebnis ist festzuhalten, dass die Lagewiederherstellung mit der Fixiereinheit das bisher exakteste Verfahren darstellt. Bedingt durch die harte Form der leergepumpten, starren Vakuummatte konnten keine Bewegungen der Gelenke innerhalb der Frontal- und Sagittalebene entstehen



Abbildung 20 a,b

Die Umlagerungseinheit mit dem Negativabdruck eines Körpers (a) und die Lagerung eines Körpers auf der unteren Matte nach Entfernung der oberen Matte (b).

6.1.3 Prematching an der Leiche

Sowohl die Lagerekonstruktion nach dem Drehen als auch die Verhinderung von Gelenkbewegungen beim Drehen durch Einsatz einer Fixiermatte sind bei Leiche und Proband ähnlich. Da trotzdem einige Unterschiede bestehen, folgt eine kurze Beschreibung der jeweiligen Techniken bei Leichen.

Lagerekonstruktion mit Laborstativen

Diese Technik wurde wegen ihrer geringen Genauigkeit und aus hygienischen Gründen nicht bei Leichen angewendet.

Lagerekonstruktion mit Marken, Unterlagen und einer Wasserwaage

Wie beschrieben wurde die Leiche in Rückenlage und zentriert auf dem Obduktionstisch ausgerichtet; im Bereich der Rumpfaußenseite, der Oberschenkelaußenseiten (Abbildung 16 a), der Ober- und Unterarmaußenseiten sowie im Halsbereich wurden Marken angebracht. Anders als bei der Arbeit mit dem Probanden wurden hier starke Klebestreifen (Hansaplast® Classic Fixierpflaster) verwendet, die in Streifen von zirka 10 Zentimetern Länge zugeschnitten wurden. Insgesamt wurden acht Marken jeweils an der rechten und linken Körperseite der Leichen angebracht. Die waagrechte Lage der Marken wurde mit einer Wasserwaage kontrolliert.

Nach der Aufnahme der Frontseite und der Umlagerung wurde die Lage der Leiche rekonstruiert. Hierzu wurden unter den Füßen, Beinen, Armen und dem Kopfbereich Unterlagen in Form von Styroporklötzen eingebracht. Deren Lage wurde variiert, bis die Lage der Klebmarken wieder waagrecht war. Die Lagewiederherstellung in der Frontalebene wurde durch eine Abstandsmessung bewerkstelligt, die entsprechend Abstände wurden nach der Drehung wieder hergestellt (Tabelle 6).

Abstand zwischen Strukturen	Abstand in Zentimetern
Rechter Daumenballen — rechter Oberschenkel	3
Linker Daumenballen — linker Oberschenkel	3
Innenknöchel — Innenknöchel	11
Epicondylus medialis — Epicondylus medialis	5
Abstand zwischen Strukturen	Abstand in Zentimetern
Rechter Daumenballen — rechter Oberschenkel,	4
Linker Daumenballen — linker Oberschenkel	5
Innenknöchel — Innenknöchel	9
Großzehengrundgelenk— Großzehengrundgelenk	15
Epicondylus medialis rechts — Epicondylus medialis	5

Tabelle 6
Lagewiederherstellung mit Hilfe von Abstandsmessungen zwischen geeigneten anatomischen Strukturen. Werte zweier Fälle.

Lagewiederherstellung mit Marken, Unterlagen, einer Wasserwaage und Abstandshaltern

Waren bei der Umlagerung eines Probanden noch Bücher zur Abstandsfixierung in der Frontalebene verwendet worden, so kam dies aus hygienischen Gründen bei einer Leiche nicht in Betracht. Als Ersatz hierfür eigneten sich Styroporklötze, die nach Beendigung der Umlagerung beseitigt wurden.

Zudem wurde für die Fixierung des Kopfes ein 20*30*12 Zentimeter messender Styroporblock verwendet, in dem sich eine 15*20*7 Zentimeter große Aussparung befand, in die das Gesicht der Leiche eingepasst werden konnte. So wurde eine genaue Zentrierung erreicht.

Durch das beschriebene Unterstützungssystem im Kopf- und Nackenbereich konnte ein weitgehender Ausgleich der Bewegungen in der Sagittal- und Frontalebene stattfinden.

Der Einsatz einer Fixiermatte

Der Einsatz der Vakuum-Matten an einer Leiche wurde in der in Kapitel 6.1.2 beschriebenen Weise durchgeführt. Auch hier wurde durch das Umverteilen der Füllung der Fixiereinheit darauf geachtet, dass erstens um den gesamten Körper herum Erhebungen entstanden und dass zweitens besonders im Bereich der Extremitäten keine dieser Erhebungen zu hoch wurde. Im Gegensatz zur Arbeit mit einem Probanden war es bei der Arbeit an der Leiche nicht notwendig, die obere Matte in kaudaler Richtung zu verschieben, um die Sauerstoffzufuhr zu gewährleisten.

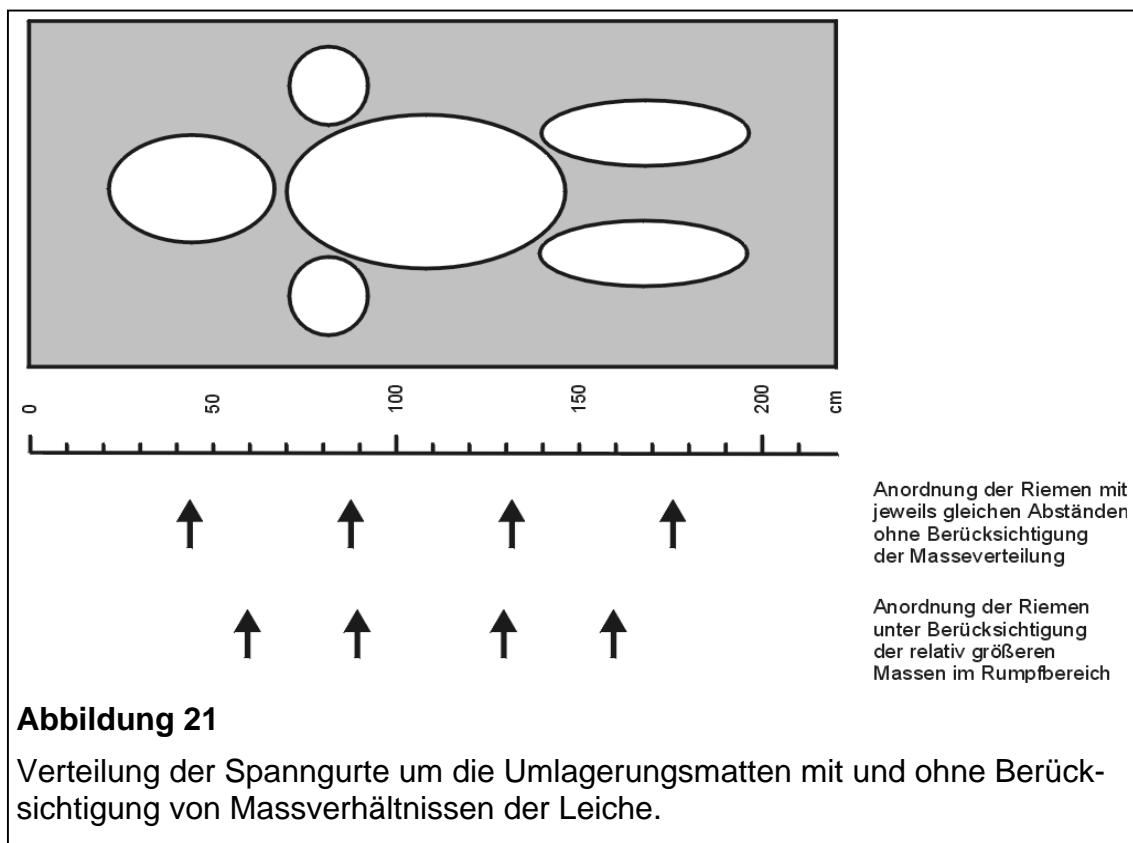
Während bei der Arbeit mit einem Probanden die Umlagerung von diesem selbst aktiv durchgeführt wurde, war bei der Umlagerung der Leiche in die zweite Vakuum-Matte eine Hilfsperson notwendig.

Bei der weiteren Verarbeitung im Computer zeigte sich der schon beschriebene Vorteil der mit den Fixiereinheiten angefertigten Aufnahmen. Diese wiesen noch weniger Gelenkbewegungen auf als bei der oben beschriebenen Technik mit Marken, Unterlagen, einer Wasserwaage und Abstandshaltern.

Der Einsatz einer Fixiermatte zusammen mit Spanngurten

Ein letzte Verbesserung der beschriebenen Technik ist der Einsatz von vier Zurrgurten mit Klemmschloss. Diese wurden nach der Aufnahme der Frontseite der Leiche um die beiden leergepumpten Matten angebracht und fest gespannt (Abbildung 18 a,b). Danach folgt die Drehung des „Pakets“ durch zwei oder drei Personen um seine senkrechte Achse und danach die Aufnahme der Rückenpartie.

Um den Masseverhältnissen der Leiche Rechnung zu tragen, bietet es sich an, die vier Spannriemen nicht in gleichbleibenden Abständen von je 44 Zentimetern um das 220 Zentimeter lange Paket zu platzieren, also bei den Marken 44, 88, 132 und 176. Als günstig erwies es sich, die Riemen etwa bei den Marken 60, 90, 130 und 160 Zentimeter anzulegen, also ungefähr entsprechend der relativ größeren Masse eines menschlichen Körpers im Bereich von Thorax und Abdomen (Abbildung 21). Dies gewährleistet eine größtmögliche Festigkeit des „Pakets“.



Während des Anlegens der Spanner ist zu beachten, dass die einzelnen Klemmschlösser jeweils auf den Außenseiten zu liegen kommen und nicht auf der Ober- oder Unterseite der Matten. So kann eine leichte Öffnung des Klemmschlösses nach Drehung des „Paketes“ um dessen senkrechte Achse sichergestellt werden. Die Aufnahme der Rückenpartie erfolgt nach der Entfernung der vier Spannriemen und der nun oben liegenden Matte.

Falls Nahaufnahmen von einzelnen Wunden oder Regionen gefertigt werden sollen, empfiehlt es sich, die Leiche vor der Messung zu inspizieren. Nahaufnahmen werden vor der Drehung der Leiche angefertigt.

Es ist auch möglich, die Nahaufnahmen nach den beiden Übersichtsaufnahmen anzufertigen; dabei gewährleisten die Matten eine Wiederherstellung der Lage der Leiche auch nach zweimaligem Wenden um die Längsachse. Jedoch scheint es sinnvoller, einer bestimmten Sequenz zu folgen (Tabelle 7), um den Aufwand einer zusätzlichen Drehung zu umgehen.

	Schritt	Dauer in Minuten
1.	Lagerung der Leiche und Leerung der unteren Matte	5
2.	Aufnahme der Leichenfrontseite	10
3.	Ggf. Aufnahme von Einzelverletzungen	bis 20
4.	Anbringen der zweiten Matte und deren Leerung	5
5.	Anbringen der Gurte	3
6.	Drehung des „Pakets“ um dessen senkrechte Achse	3
7.	Aufnahme der Rückseite	10
8.	Ggf Aufnahme von Einzelverletzungen	bis 20
Summe:		36-76 Min

Tabelle 7

Dauer von Aufnahme und Umlagerung bei Gebrauch der Vakuum-Matten und Spannriemen.

Zusammenfassung der Ergebnisse des Prematchings

Die Ergebnisse der Umlagerung mittels Vakuum-Matten und Spannriemen erwiesen sich als die vorteilhaftesten hinsichtlich Passgenauigkeit der Ergebnisse, Dauer und Aufwand.

Die Weiterverarbeitung der Messdaten im Computer zeigte eine sehr genaue Übereinstimmung der Frontpartie mit der jeweiligen Rückenpartie. Besonders an den Extremitäten konnten keine Bewegungsartefakte innerhalb der Frontal- und Sagittalebene festgestellt werden. Ebenso ließ sich die sonst nur schwer repositionierbare Halspartie ohne Umlagerungsbewegungen aufnehmen. Zudem ist die beschriebene Kombination aus zwei Vakuum-Matten und vier Zurrgurten mit Klemmschloss die zeitsparendste (Tabelle 8). Bei weiteren SLT-Aufnahmen sollte deswegen ausschließlich diese Technik zum Einsatz kommen.

Technik der Lage- wieder- erstellung / der Bewegungs- unterdrückung	Dauer mit Probanden (ohne SLT- Aufnahme) in Minuten	Dauer mit <u>Lei- che</u> (ohne SLT- Auf- nahme) in Minu- ten	Genauigkeit der Lagerekonstruktion
Vier Labor-stative	10	nicht ange- wandt	Sagittalebene: sehr ungenau Frontalebene: sehr ungenau
Marken, Unterlagen und Wasserwaage	20-30	20-30	Sagittalebene: genau Frontalebene: ungenau
Marken, Unterlagen, Wasserwaage sowie Abstandshalter	30	30	Sagittalebene: genau Frontalebene: genau
Umlagerungsmatten	5	10	Sagittalebene: genau Frontalebene: genau
Umlagerungsmatten mit vier Spannrriemen	nicht an- gewandt	5	Sagittalebene: sehr genau Frontalebene: sehr genau

Tabelle 8
Zusammenfassende Angaben zur Dauer und Genauigkeit der einzelnen Methoden der Umlagerungswiederherstellung. Angaben in Minuten.

6.2 Die Vermeidung von „hidden points“ bei der Aufnahme

Sowohl bei Aufnahmen mit der Kleinanlage als auch besonders bei Aufnahmen mit der weitgehend automatisierten Großanlage kann es dazu kommen, dass die Aufnahmeoptik nicht alle Anteile der Körperoberfläche erfasst, die sich im Messvolumen befinden.

Diese Areale treten später in der vollständigen virtuellen Leichenpuppe als "hidden points" auf. Entsprechend der individuellen Wundtopografie der Leiche können sich

diese dann "leeren" Bereiche an pathologisch nicht interessanten Orten befinden, oder aber auch an relevanten Verletzungen.

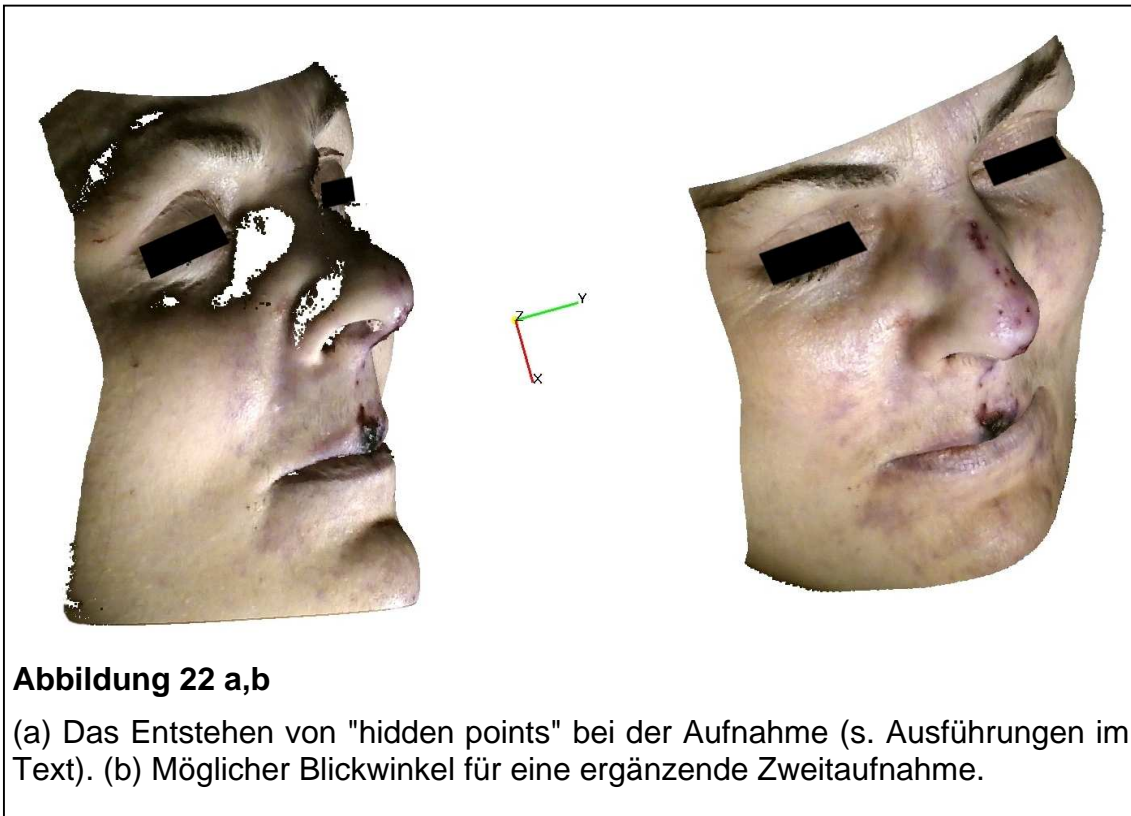
Die vollständige und lückenlose Oberflächenerfassung der Leiche ist aber unbedingt notwendig. Zum einen ist dies aus Gründen der "Kosmetik" wichtig: Eine nicht vollständige virtuelle Leichenpuppe würde beim Betrachter den (vielleicht falschen) Eindruck erwecken, keinen Zugriff auf wesentliche Befunde zu erhalten. Zum anderen war – wie in Kapitel 3 erläutert – eine hauptsächliche Anforderung an ein Oberflächenmessverfahren, das Eingang in die gerichtsmedizinische Routine finden soll, die vollständige und vor allem unselektive Oberflächenmessung. Dies beinhaltet auch ein Erfassen von Bereichen, die zum Augenblick der Obduktion noch nicht im Zentrum des Interesses standen.

Diese beiden Punkte legen nahe, im Folgenden die Hauptgründe für das Entstehen dieser "hidden points" zu erklären und den jeweiligen Weg zur vollständig gemessenen Oberfläche zu beschreiben.

- Der wichtigste Grund für die Entstehung von "hidden points" ist Verdeckung einer Struktur der Oberfläche durch eine andere. Die aufnehmende Kamera hat keine "freie Sicht" mehr auf dieses Areal. Besonders im Bereich des Gesichtes kann dies häufig festgestellt werden. Tritt ein solcher Fall ein, muss – gleichgültig, ob die ursprüngliche Aufnahme mit der Groß- oder Kleinanlage angefertigt wurde – das kleine, mobile Aufnahmesystem eingesetzt werden, um aus einem anderen Blickwinkel eine zusätzliche Aufnahme anzufertigen; auf dieser sollte der entsprechende Bereiche dann vollständig abgebildet sein. (In Abbildung 22 a ist in der Nähe des rechten Nasenflügels ein solcher Bezirk von "hidden points" erkennbar. In Abbildung 22 b ist ein für eine Zweitaufnahme geeigneterer Blickwinkel dargestellt.)

In der späteren Verarbeitung im Computer erfolgt dann ein Matchen der entsprechenden Punktwolke auf die sonst vollständige Leichenpuppe. Einzige Differenz zu dem in Kapitel 5.4 beschriebenen Vorgang des Matchens von Einzelaufnah-

men mit der Kleinanlage ist, dass hier nicht mit Markierungen gearbeitet wird, andernfalls müssten diese schon zu Beginn der ersten Aufnahme angebracht werden. Das Matchen erfolgt also anhand eindeutiger anatomischer Strukturen als "natürlichen" Marken.



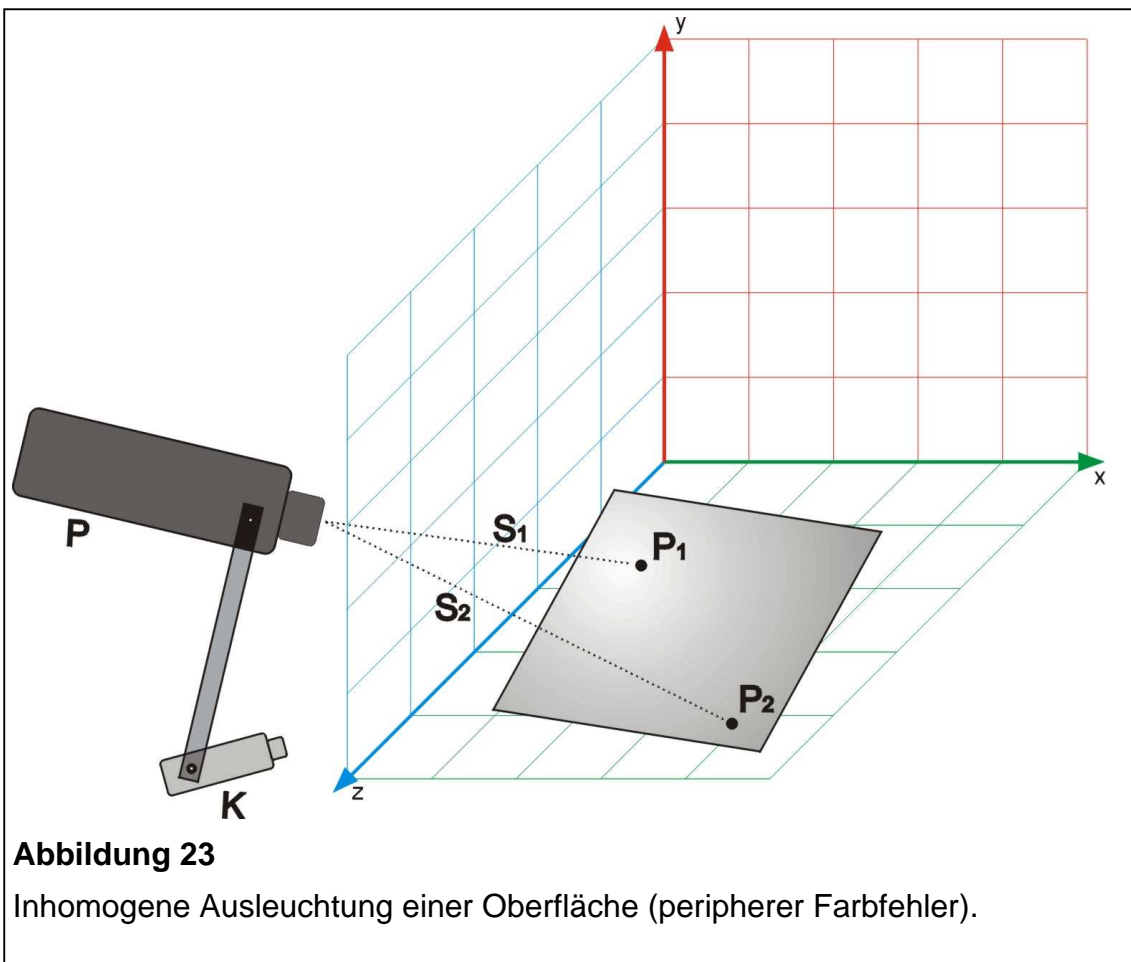
- Ein zweiter Grund für die Entstehung von "hidden points" ist, dass sich innerhalb einer Aufnahme Bereiche befinden, die aufgrund ihrer Farbe mit einem höheren als dem standardmäßig gewählten *DimLevel* aufgenommen werden sollten. Dies geschieht, sobald beispielsweise unverletzte, also "helle" Thoraxanteile und "dunkle" Blutantrocknungen in einem Bild nebeneinander zu liegen kommen.

Zur Füllung dieses sonst leeren Bereichs wird simultan zu dem zuvor beschriebenen Vorgehen eine zweite Aufnahme angefertigt und später gematcht; diese jedoch wird mit dem nur für die selektive Verletzungsaufnahme optimalen *DimLevel* angefertigt.

- Eine letzte Möglichkeit für die Entstehung von "hidden points" ist das begrenzte Auflösungsvermögen der beiden SLT-Systeme. Wie in Abbildung 45 zu erkennen ist, können behaarte Bereiche mit der gegenwärtigen Technik nicht aufgelöst werden. Befinden sich in diesen Arealen relevante Informationen, muss die entsprechende Stelle vor der Aufnahme rasiert werden.

6.3 Die ungleichmäßige Ausleuchtung von Oberflächen und drei Lösungsansätze für dieses Problem

Auch bei manuell optimierter Beleuchtungsintensität (*Dim Level*) bleibt ein Problem bei Aufnahmen die unterschiedlichen Beleuchtungsintensitäten in Bereichen, die vom Projektor unterschiedlich weit entfernt sind. Dieser Fehler (vgl. Abbildung 15 und 23) zeigt sich immer innerhalb einer einzelnen Aufnahme. Er besteht in einer Veränderung des Farbspektrums nach peripher hin, bei im Original identischen Farben differieren inner-



halb einer Aufnahme die Farbvektoren. Berühren sich dann nach dem Matchen einzelner Punktwolken solche Bereiche mit stark unterschiedlichen Farbspektren, so entsteht ein optisch unbefriedigender Eindruck.

Dies lässt sich wie folgt erklären:

Punkt P_2 ist vom Projektor P weiter entfernt als Punkt P_1 , also gilt für die zu den Punkten gehörenden Strecken zwischen Projektor und Punkten (Abbildung 23):

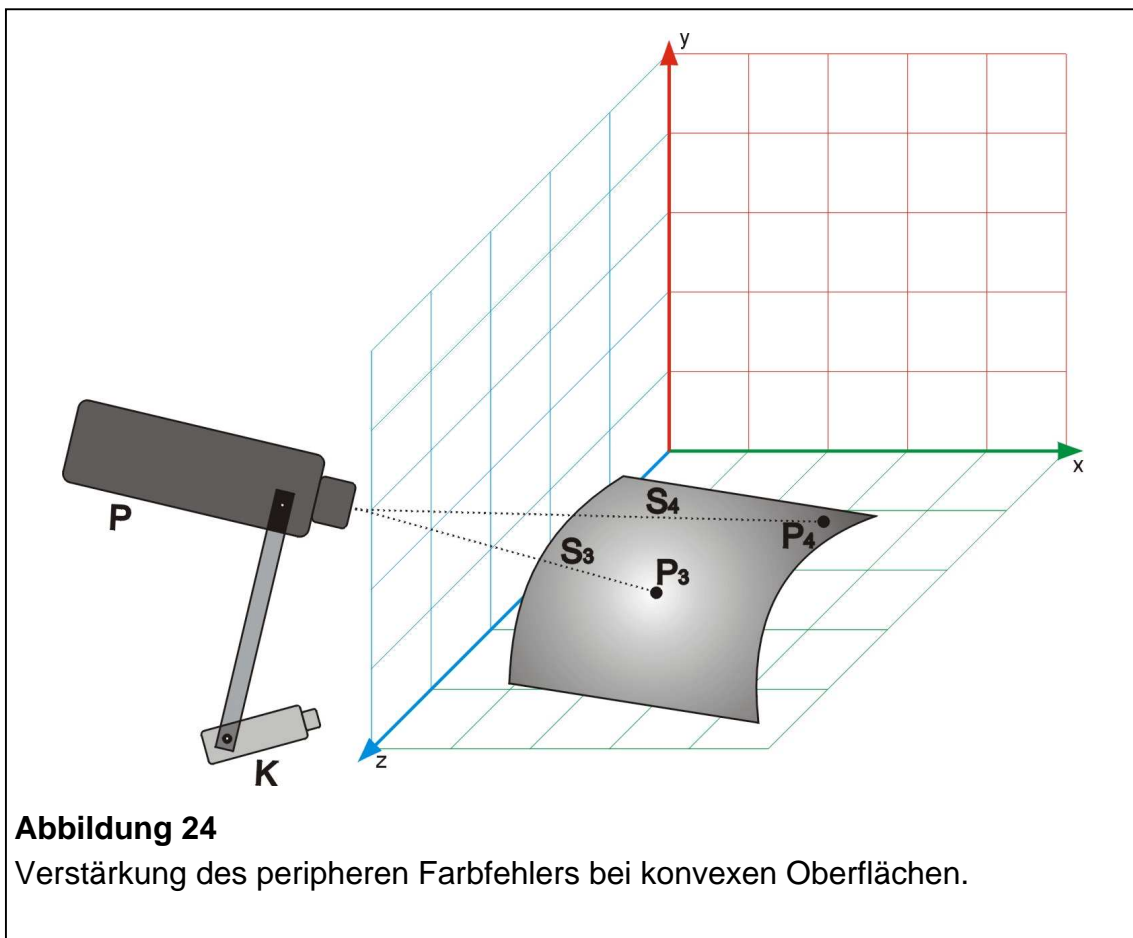
$$S_2 > S_1$$

Nach dem Abstandsquadratgesetz

$$\frac{E_1}{E_2} = \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^2$$

gilt für die Beleuchtungsstärken E_1 und E_2 an den entsprechenden Punkten:

$$E_2 \text{ an } P_2 < E_1 \text{ an } P_1$$



Zudem ist ein Großteil der Körperoberfläche konvex (Abbildung 24). Deswegen gilt:

$$S_4 \gg S_3$$

und nach (4) gilt für die Beleuchtungsstärken E_3 und E_4 an den entsprechenden Punkten:

$$E_4 \text{ an } P_4 \ll E_3 \text{ an } P_3$$

Die Tatsache, dass der größte Anteil eines menschlichen Körpers von konvexen Oberflächen begrenzt wird, verschärft also den durch das Abstandquadratsgesetz hervorgerufenen peripheren Farbfehler zusätzlich.

Die befriedigende Lösung dieser Problematik – eine farblich vollständig homogen und wirklichkeitstreu dargestellte Körperoberfläche – kann auf drei Elementen fußen:

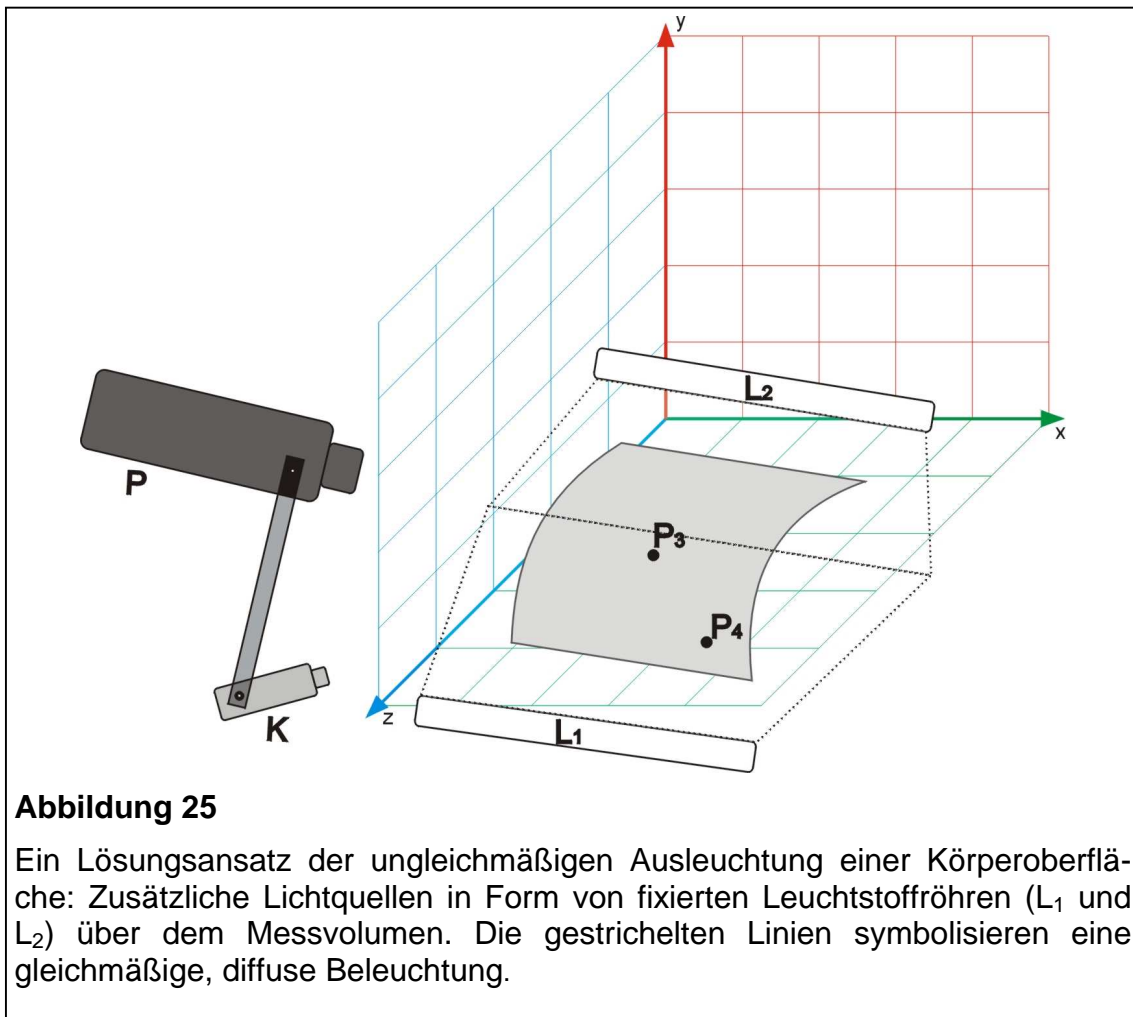
1. Die gleichmäßigere Beleuchtung bei der Aufnahme des Farbbildes.

Durch eine über die ganze Länge des Aufnahmetisches befindliche zusätzliche Beleuchtung – beispielsweise Leuchtstoffröhren – kann eine diffuse, einheitliche Beleuchtung zum Zeitpunkt der Farbaufnahme sichergestellt werden. Die in Abbildung 25 als L_1 und L_2 bezeichneten Neonröhren werden nur im Augenblick der Farbaufnahme eingeschaltet, die Oberflächenerfassung mittels Streifenlicht bleibt unverändert.

Diese technischen Veränderungen sind zur Zeit im Institut für Gerichtliche Medizin in Tübingen in der Erprobung und, sie wird in naher Zukunft in der täglichen Routine zum Einsatz kommen, tunächst an der Großanlage kommen.

Mit entscheidend bei dieser Lösung ist zum einen eine veränderte Software. Sie muss in der Lage sein, über ein Schaltelement die zusätzliche Beleuchtungsquellen anzusteuern und im richtigen Moment – dem der Farbfotoaufnahme – einzuschalten. Zweitens muss die zusätzliche Beleuchtung dimmbar sein, muss also synchron zu dem in Kapitel 5.5f beschrieben *Dim Level* veränderlich in ihrer Helligkeit sein. Dies ist nötig, um eine für jede Leiche individuell die optimale Beleuchtung zu erzielen.

Die auf diese Weise erzielten Ergebnisse weisen kaum noch periphere Farbabweichungen auf. Die im Anhang abgebildete Puppe wurde mit dieser Technik vermessen. In den dort gezeigten Abbildungen können an den seitlichen Bereichen von Rumpf und Extremitäten nur noch geringe Farbdifferenzen festgestellt werden (vgl. Kapitel 8, SLT-Aufnahmen einer Schaufensterpuppe).



2. Der Zuschnitt der Bereiche mit großen Farbdifferenzen

Berühren sich dann nach dem Matchen einzelner Punktwolken zu einer größeren Oberfläche Bereiche mit stark unterschiedlichen Farbspektren, so entsteht ein optisch unbefriedigender Eindruck. Dies kann vermindert werden, wenn diejenigen Bereiche, die stark differierende Farbspektren aufweisen, mithilfe des *Circle-Select-Tools* definiert und dann verworfen werden. Der Einsatz des *Circle-Select-Tools* kann entlang einer Schnittvorlage erfolgen. (vgl. hierzu Kapitel 7.1.)

Beim Einsatz dieser Technik ist selbstverständlich darauf zu achten, dass nur solche Bereiche verworfen werden, die ohnehin zwei- oder mehrfach vorhanden sind. Dabei werden dann die vom Farbverlauf her minderwertigen Anteile verworfen. Ist ein Bereich nur einfach aufgenommen worden, kann diese Technik nicht zu Einsatz kommen.

3. Selektive Farbanpassung der in der Messung enthaltenen Farbbilder

Wie bereits beschrieben besteht die SLT-Aufnahme aus zwei Anteilen: dem Dreiervektor der Raumkoordinaten und dem Dreiervektor der Farbaufnahme; letztgenannter ist in Form einer TIF-Datei in jeder einzelnen Aufnahme enthalten. Diese Datei kann aus der Gesamtaufnahme exportiert werden und danach – nach beliebigen Bearbeitungen – wieder re-integriert werden.

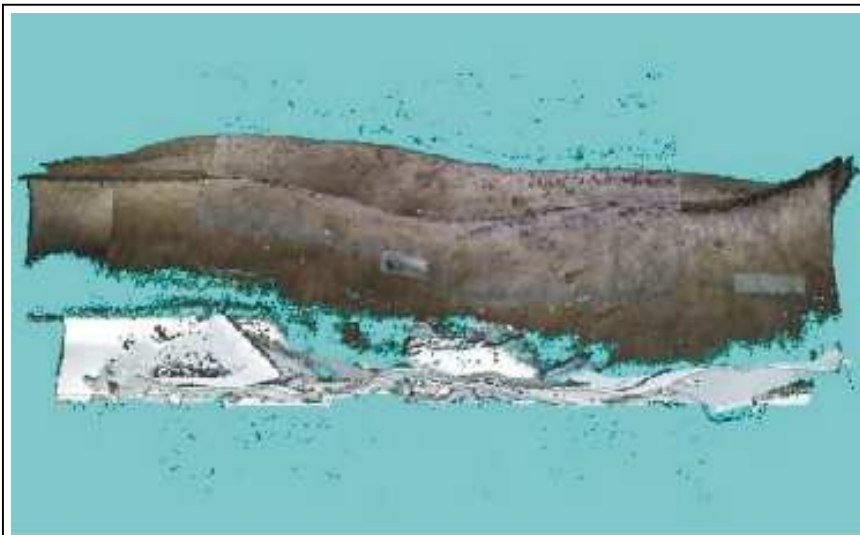
Die aus der Gesamtaufnahme exportierten TIFs könnten einheitlich bearbeitet werden und zwar so, dass die in ihnen verwendete Farbspektren jeweils identisch wären.

Wegen mangelnder Erfahrung ist diese mögliche Technik bisher noch nicht zum Einsatz gekommen.

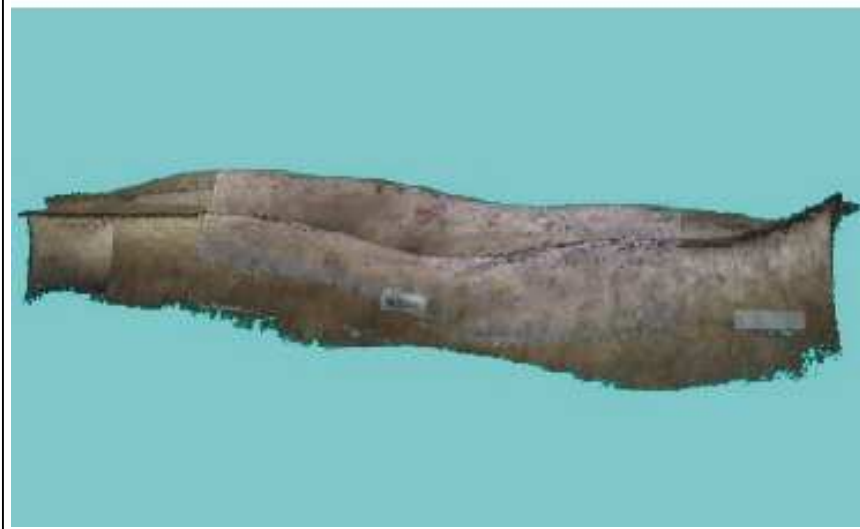
7. Erstellung individuellen virtuellen Leichenpuppe

7.1 Die Nachbearbeitung der gematchten Punktwolken

Die fertig gematchten Punktwolken nach Aufnahme mit der Klein- oder Großanlage liefern einen Eindruck von der realen Leichenoberfläche, der noch nicht allen Anforderungen genügen kann. Verantwortlich dafür sind verschiedene Aufnahmeartefakte, gleichzeitig aufgenommene Fremdobjekte sowie die beschriebenen Überschneidungsstellen zwischen den Punktwolken und Punktwolkengruppen mit stark differierenden Farbspektren. Eine weitere Bearbeitung der Punktwolken und ihrer Überschneidungsbereiche ist deshalb notwendig.



**Abbildung
26 a,b**



Zustand vor
und nach Ent-
fernung der
Umgebungs-
artefakte und
der nicht zur
Leiche gehö-
renden Objek-
te.

Besonders auffällig und störend sind Strukturen, die nicht zur Körperoberfläche gehören wie der Obduktionstisch oder alle Hilfsmittel der Umlagerung. Durch Entfernen dieser Strukturen mit dem *CircleSelect*-Tool kann eine deutliche Verbesserung der Optik erzielt (Abbildung 26a,b) sowie spürbar Rechen- und Speicherkapazität freigegeben werden.

Der Zuschnitt entlang einer Schnittvorlage

Wie beschrieben muss von jeder größeren Oberfläche eine Anzahl von einzelnen Aufnahmen gemacht werden, um aus diesen später das gesamte Objekt zu rekonstruieren. Sowohl bei Aufnahmen mit der Kleinanlage als auch bei Aufnahmen mit der Großanlage ist es zwingend für das Matchen, dass gewisse Bereiche mehrfach aufgenommen werden. Dies führt aber nicht zu einem Gewinn an Ortsauflösung, sondern vielmehr zu:

1. einer deutlichen Zunahme der Dateigrößen und somit der Verarbeitungs- und Verrechnungszeit im Computer und
2. einem räumlichen Nebeneinander von Punktwolken mit stark differierenden Farbspektren (peripherer Farbfehler), also einem optisch unbefriedigenden Resultat.

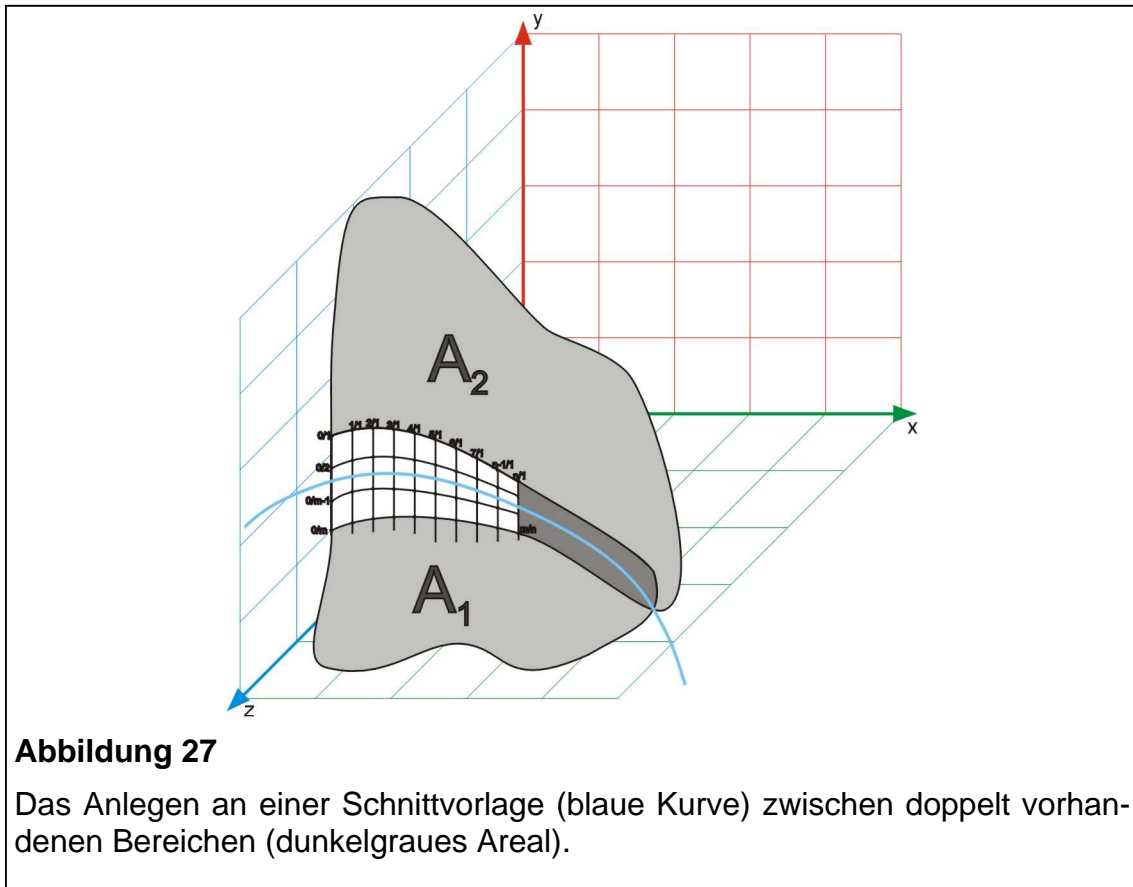
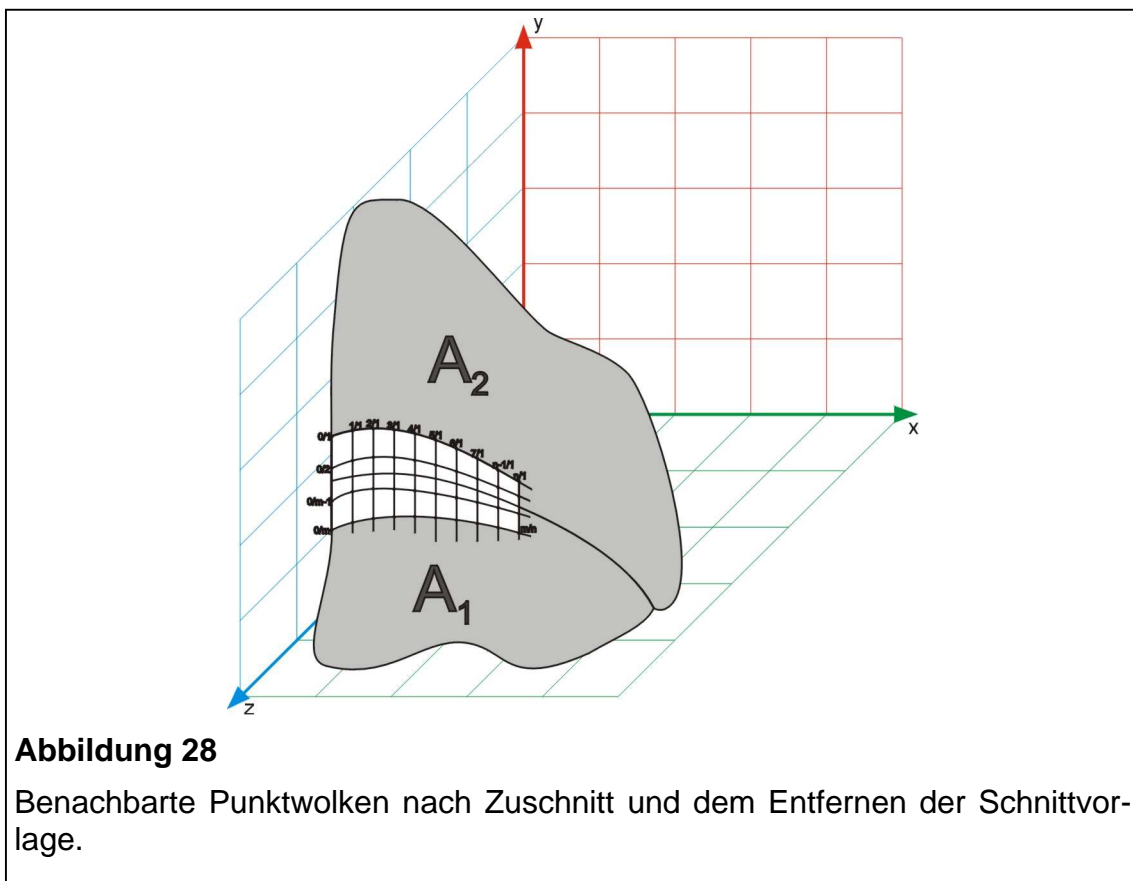


Abbildung 27

Das Anlegen an einer Schnittvorlage (blaue Kurve) zwischen doppelt vorhandenen Bereichen (dunkelgraus Areal).

Die beiden genannten Faktoren können durch die Entfernung bestimmter Anteile der einzelnen Punktwolken deutlich verringert werden. Dieser Zuschnitt mit dem *CircleSelect*-Tool muss aber nach gewissen Regeln erfolgen.

Wie in den Abbildungen 27 und 28 schematisch dargestellt, wird eine Schnittvorlage (blaue Kurve) über den Verlauf mehrerer Punktwolken erstellt, und zwar so, dass sie sich jeweils zentriert zwischen den doppelt gemessenen Bereichen (dunkelgraue Anteile) befindet. Mit dem *CircleSelect*-Tool werden nun von jeder Punktwolke exakt die Anteile verworfen, die sich jenseits der entsprechenden Schnittvorlage befinden. So wird sichergestellt, dass keine „leeren“ Bereiche entstehen und sich nach dem Zuschnitt beide Punktwolken exakt berühren, ohne sich noch zu durchdringen.



Die Nachbearbeitung bei Aufnahmen der Kleinanlage

Wie bereits beschrieben, ist der einzelne Verschiebungsvektor bei einer Aufnahme mit der Kleinanlage unbekannt und daher nicht reproduzierbar. Aus diesem Grund kann – anders als bei der Nachbearbeitung der mit der Großanlage aufgenommenen Punktwolken – beim Verwerfen von Überschneidungsbereichen keine strenge Orientierung an einer vorgefertigten Schnittvorlage erfolgen, wohl aber eine grob orientierte (gelbe Geraden in Abbildung 29). Dies bedeutet, dass nur Punktwolken an der Schnittvorlage zugeschnitten werden, die ohnehin in deren Nähe enden würden. Für alle anderen Punktwolken erfolgt dann ein individueller Zuschnitt entsprechend ihrer Ausdehnung.

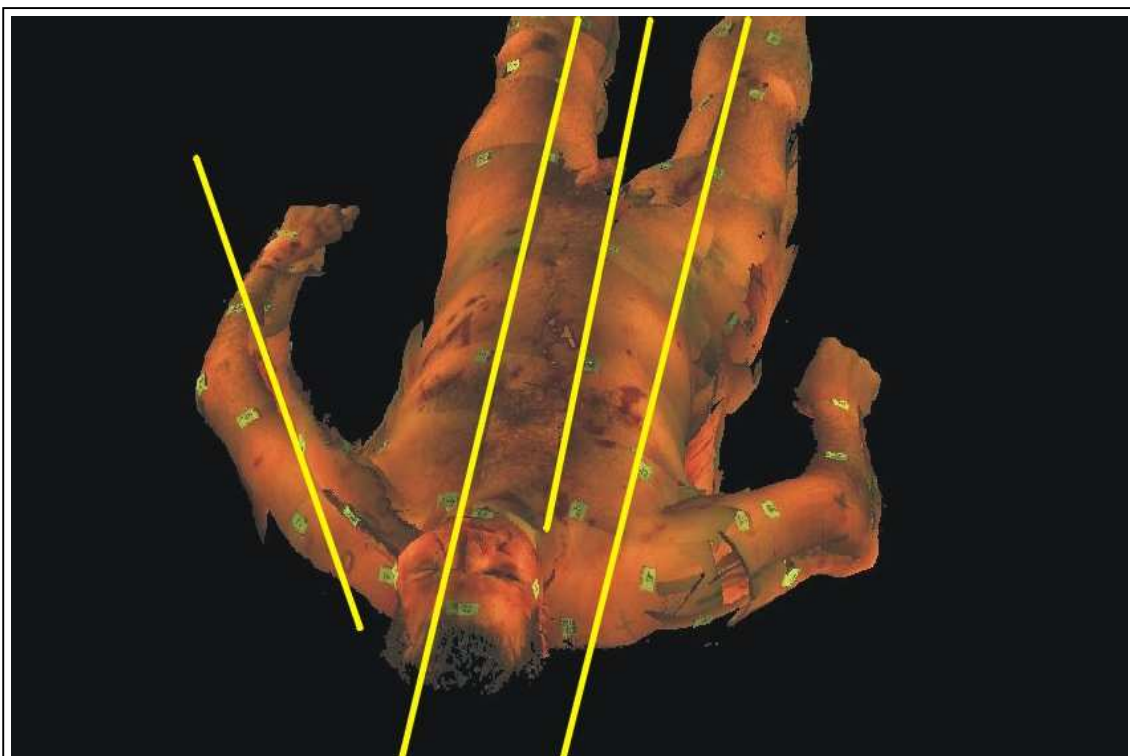


Abbildung 29

Grobe Orientierung an einer Schnittvorlage bei der Nachbearbeitung eines mit der Kleinanlage aufgenommenen Falls.

Die Nachbearbeitung bei Aufnahmen mit der Großanlage

Auch die mit der Großanlage aufgenommenen Punktwolken müssen nachbearbeitet werden. Neben dem resultierenden "kosmetischen" Gewinn kann durch die Bearbeitung zusätzlich der Gesamtumfang der benötigten Daten erheblich gesenkt werden. In Tabelle 9 zeigt sich eine Größenreduktion der gesamten Datei um fast 70% von 340 Megabytes auf knapp 100 Megabytes.

Vor dem schon beschriebenen Zuschnitt sich durchdringender, farblich stark differierender Bereiche erfolgt eine Säuberung der Einzelaufnahmen mit dem *CircleSelect*-Tool. Zu den entfernten Anteilen zählen untergelegte Styroporklötze, Zellstoffunterlagen, Anteile des Obduktionstisches, Artefakte im Volumen um die Leiche sowie gegebenenfalls die mit aufgenommenen Umlagerungsmatten (Abbildung 30).

Arbeitsschritt	Dateigröße
vor Arbeitsbeginn	341 MB
nach dem Säubern der Punktwolken von Artefakten, Hilfsmitteln der Umlagerung und vom Tisches	279 MB
nach der Entfernung von Überlappungsbereichen mit Hilfe der Schnittvorlage	188 MB
nach Verwerfen redundanter Punktwolken	108 MB

Tabelle 9

Abnahme der Datenmenge einer Datei im Verlauf der Bearbeitung.

Die Erstellung eines Schnittmusters (Abbildung 31 a)

Bei lotrechter Aufsicht auf alle gematchten Messungen wird in der Mitte des Überschneidungsbereichs zwischen der ersten und zweiten Punktwolkengruppe eine zirka 80 Zentimeter messende waagrechte Linie mit Strichstärke 1 angelegt, die in einer Ebene vor der Leiche liegt. Parallel zu dieser Linie werden in derselben Ebene 5 gleichartige Linien erstellt, und zwar um jeweils 300 Millimeter nach kaudal verschoben. Die Linien des so entstandenen horizontalen Schnittmusters liegen nun jeweils zwischen Überschneidungsstellen zweier Punktwolkengruppen. Entsprechend zu den horizontalen Hilfslinien werden Linien erstellt, die individuell den großen Körperachsen der jeweiligen Leiche entsprechen: erstens eine Linie parallel zur Hauptkörperachse, zweitens zwei Linien an den gestreckten Armen durch das Mittelfingergrundgelenk und den Oberarmkopf und drittens zwei Linien an Beinen und Füßen durch das obere Sprunggelenk und den Oberschenkelkopf.

Die waagrechten Zuschnitte erfolgen nun so, dass bei jeder Punktwolkengruppe mit dem *CircleSelect*-Tool die jenseits des 300-Millimeter-Bereichs gelegenen Anteile entfernt werden (Abbildung 32 a,b). Hierbei ist eine exakte Orientierung entlang der waagrechten Hilfslinien wichtig, um in der späteren virtuellen Leichenpuppe "leere" Bereiche zu vermeiden.

Die Schnitte entlang der nicht-waagrechten Achsen erfolgen in jeder einzelnen Punktwolke in der Weise, dass nur die Anteile verbleiben, die optimal von einer Kamera aufgenommen wurden, alle anderen werden an der Schnittvorlage orientiert verworfen.

Auch bei diesem Zuschnitt ist streng darauf zu achten, daß jeder Bereich der Körperoberfläche mindestens einmal dargestellt bleibt.

Das beschriebene Liniensystem und der folgende Schnittvorgang wurden je einmal getrennt für die Vorder- und Hinterfläche erstellt.

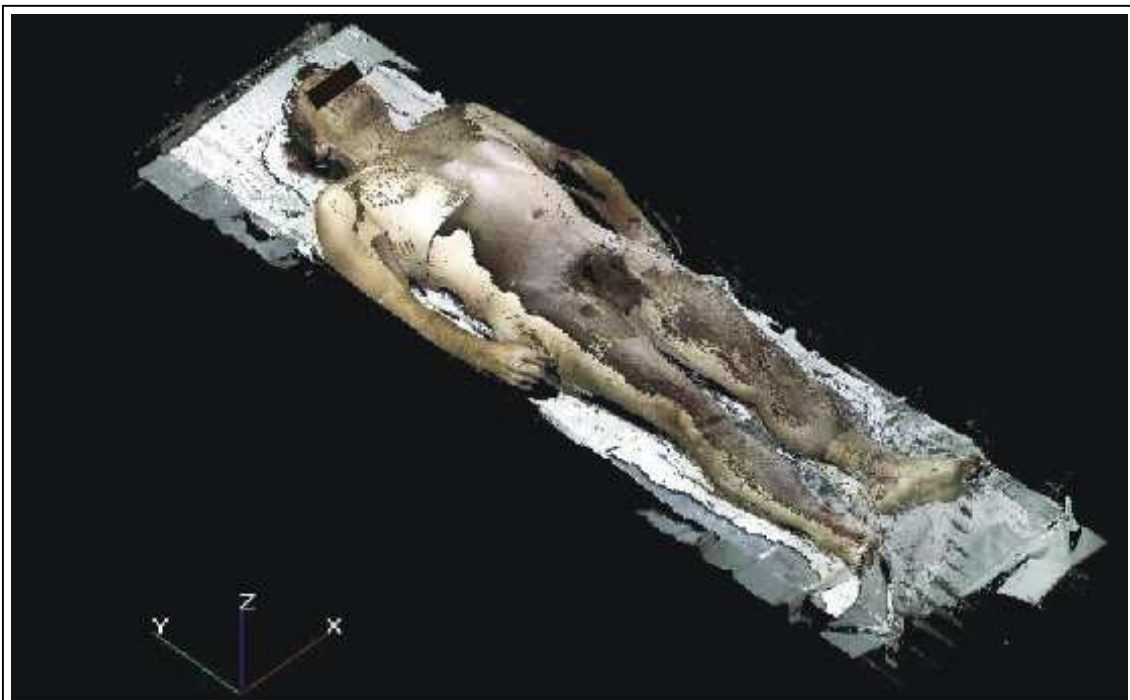


Abbildung 30

Vollständige Leichenpuppe in Rückenlage vor Entfernung der Aufnahmeartefakte und vor Zuschnitt der Punktwolken.

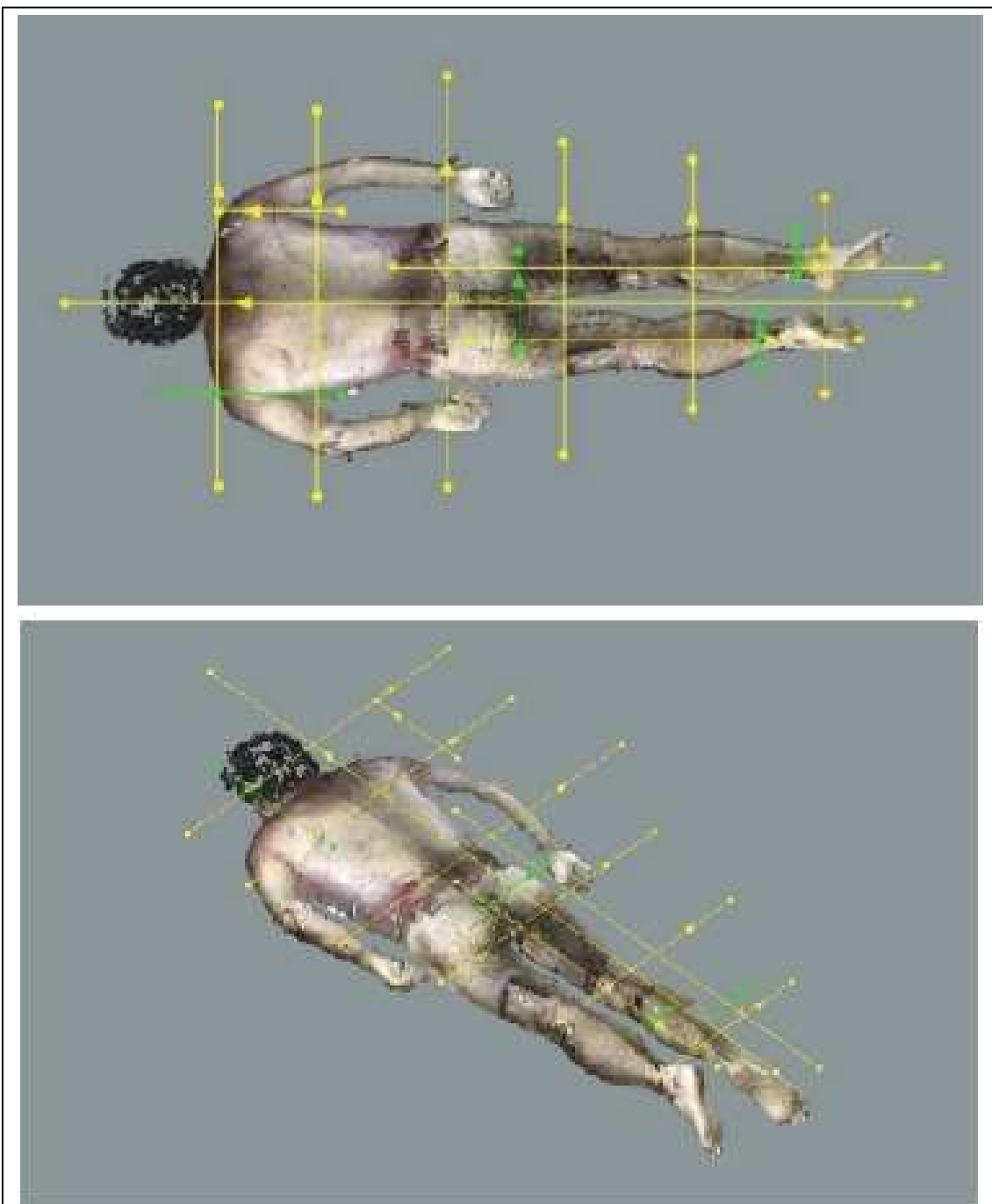


Abbildung 31a,b

Schnittvorlage in zwei Ansichten nach Entfernung von Aufnahmeartefakten, den Umlagerungshilfen und Ähnlichem.

Eine letzte Möglichkeit zur Datenreduktion besteht im Folgenden darin, solche Punktwolken ganz oder partiell zu verwerfen, die keine zusätzlichen Oberflächendaten mehr liefern. Verworfen werden kann hierbei oft eine der beiden Aufnahmen, die mit der senkrecht zum Obduktionstisch stehenden Kamera angefertigt wurden, diese Aufnah-

men bilden zum größten Teil identische Bereiche ab. Dieses Vorgehen spart zusätzlich Speicherplatz und Rechenkapazität, ohne einen Verlust an visuellen Informationen nach sich zu ziehen (Tabelle 9).

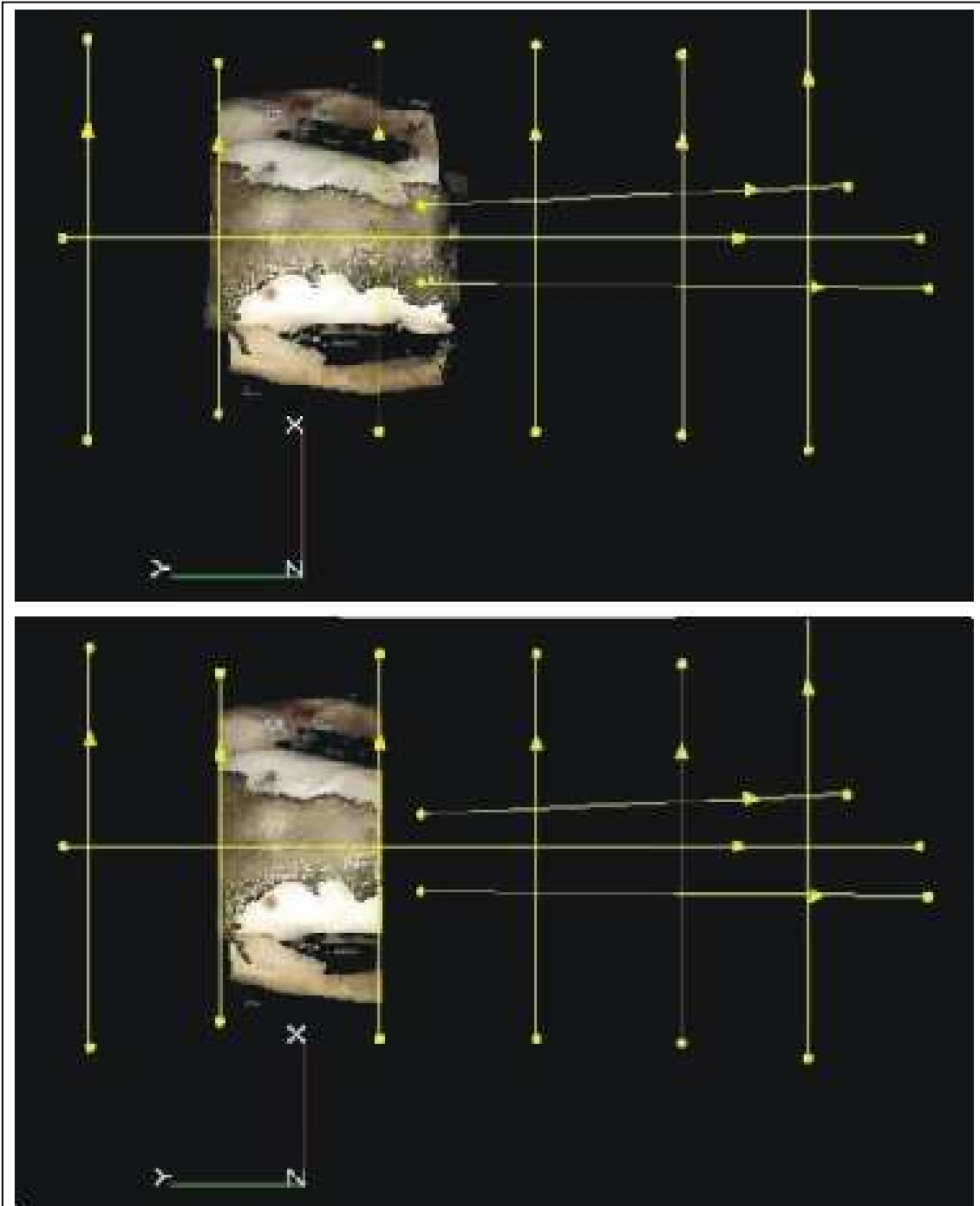


Abbildung 32 a, b

Zuschnitt benachbarter Punktwolken an einer horizontalen Schnittvorlage.

7.2 Die individuelle, bedarfsorientierte Visualisierung: Schnitt- und Drahtmodelle

Die in diesem Kapitel beschriebenen Möglichkeiten zur weiteren Verarbeitung richten sich jeweils nach den fallspezifischen Anforderungen. Die dargestellten Schritte können unabhängig davon erfolgen, ob die Aufnahme mit der Kleinanlage oder der Großanlage erfolgt ist.

Bei der Bearbeitung eines jeden Falles wurden je nach Anforderung einer oder mehrere der folgenden Schritte vorgenommen:

- **Erstellung eines Schnittmodells** (Abbildung 33): Das fertige Oberflächenmodell wird mit dem *Slice-Tool* 30 bis 40 mal sohlenparallel und 10 bis 20 mal parallel zur Sagittalachse in gleichen Abständen virtuell geschnitten. Das Resultat weist eine stark reduzierte Dateigröße auf und kann für weitere Visualisierungsschritte verwendet werden. So können die unverletzten Körperpartien in den

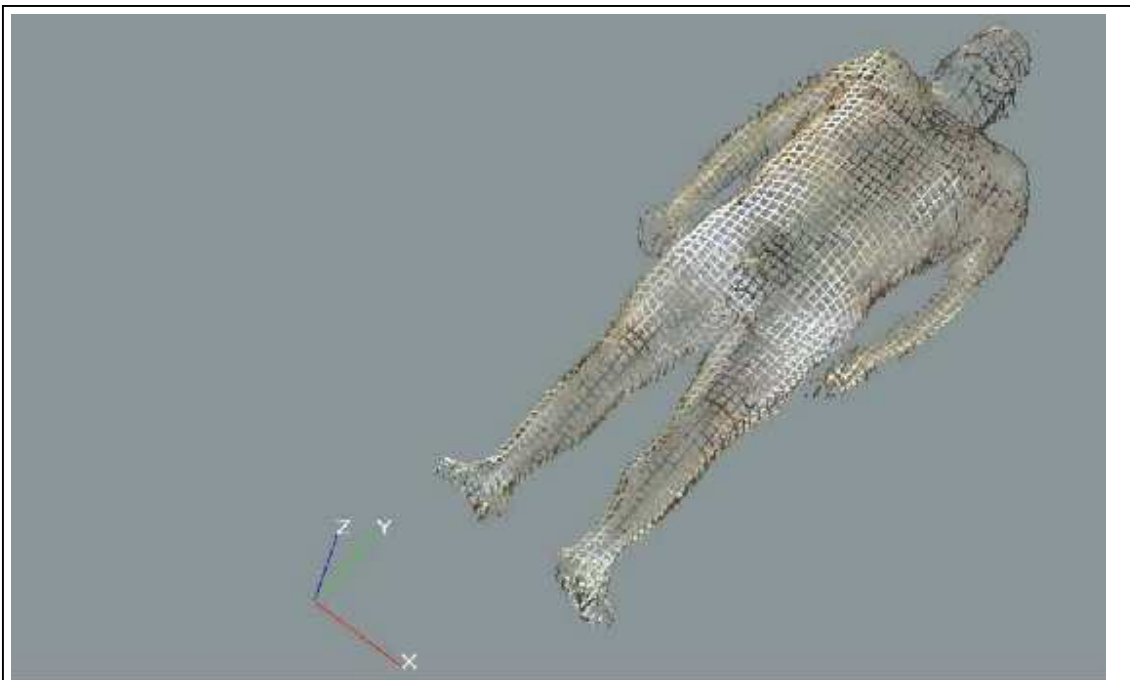


Abbildung 33

Weiterverarbeitung des Oberflächenmodells: Reduktion der unverletzten Oberfläche durch Erstellen eines Schnittmodells.

Hintergrund, die Wunden dagegen in den Vordergrund gestellt werden. Zudem vereinfacht diese nahezu "durchsichtige" Darstellungsweise die Integration weiterer Befunde, wie der Zusammenführung mit einem Schädel-Computertomogramm (Abbildung 40) oder der gemeinsamen Darstellung mit der Schädelbasis.

- **Erstellung eines Drahtmodells** (Abbildung 34): Das Schnittmodell wird mit dem *FitFreeForm*-Tool in ein einfarbiges Drahtmodell umgerechnet, das nicht mehr aus einer Anzahl von Punkten, sondern aus geschlossenen Kurven besteht. Liniendicke und -farbe sind je nach Anforderung frei wählbar. Ähnlich wie das Schnittmodell erlaubt das Drahtmodell eine anonymisierte und "durchsichtige" Visualisierung bei einem noch größeren Grad an Abstrahierung. Die Umwandlung in ein solches Modell ist notwendig, wenn weitere, rechenintensive Verarbeitungsschritte erfolgen sollen oder ein Export in die Animationssoftware *PO-SER*©. Dann dient ein solcher Schritt zur Reduktion der Dateigrößen und somit einer Beschleunigung der Berechnung.
- **Reduktion der Punktdichte** der Leichenpuppe und isolierte Darstellung einzel-

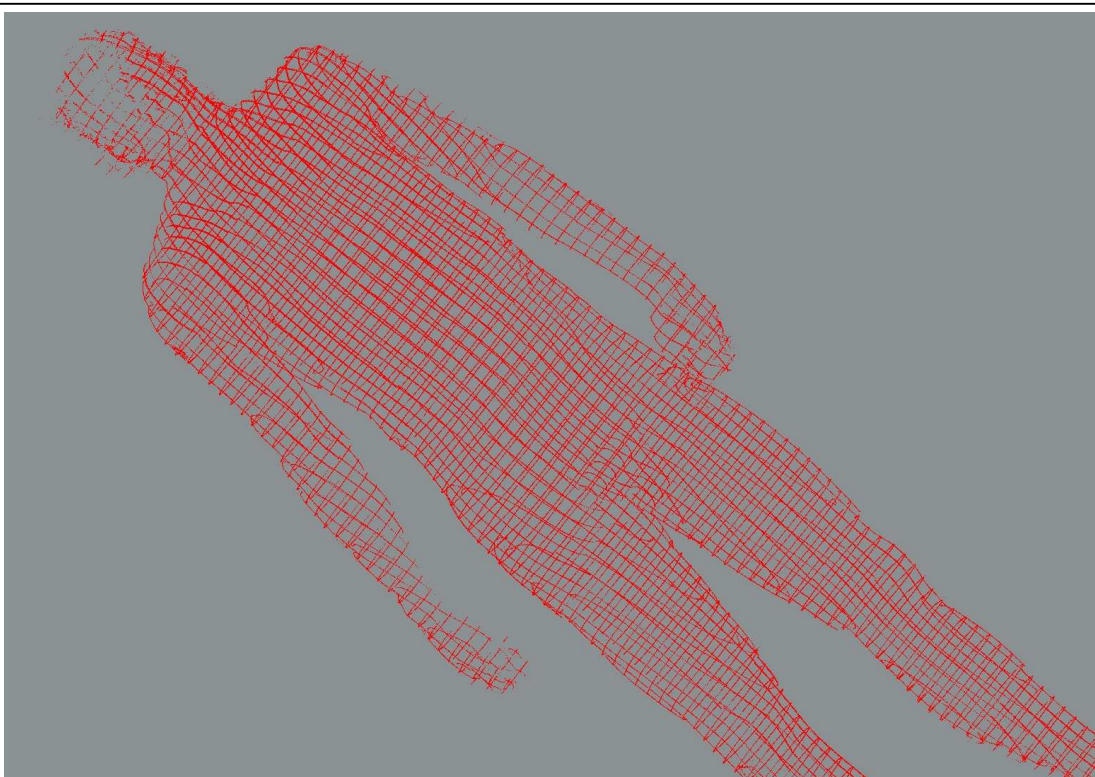


Abbildung 34

Weiterverarbeitung des Oberflächenmodells: Erstellen eines Drahtmodells.

ner, gerichtsmedizinisch relevanter Bereiche mit hoher Punktdichte: Durch diese Technik können einzelne relevante Strukturen besonders zur Darstellung gebracht werden (Abbildung 35: Reduktion der Punktwolkendichte im Kopfbereich zur besseren Darstellung der Schädelbasis und der Kalotte).

- **Visualisierung von Schussverläufen**, Richtung einer Einwirkung von scharfer Gewalt o. Ä. (Abbildung 36: Darstellung eines Kopfes und der Schädelbasis zur Visualisierung eines Schusskanals). Hierzu können die weitreichenden Möglichkeiten der CAD-Gestaltung genutzt werden. Diese umfassen beispielsweise Konstruktionen von Strecken, Flächen oder Volumen.

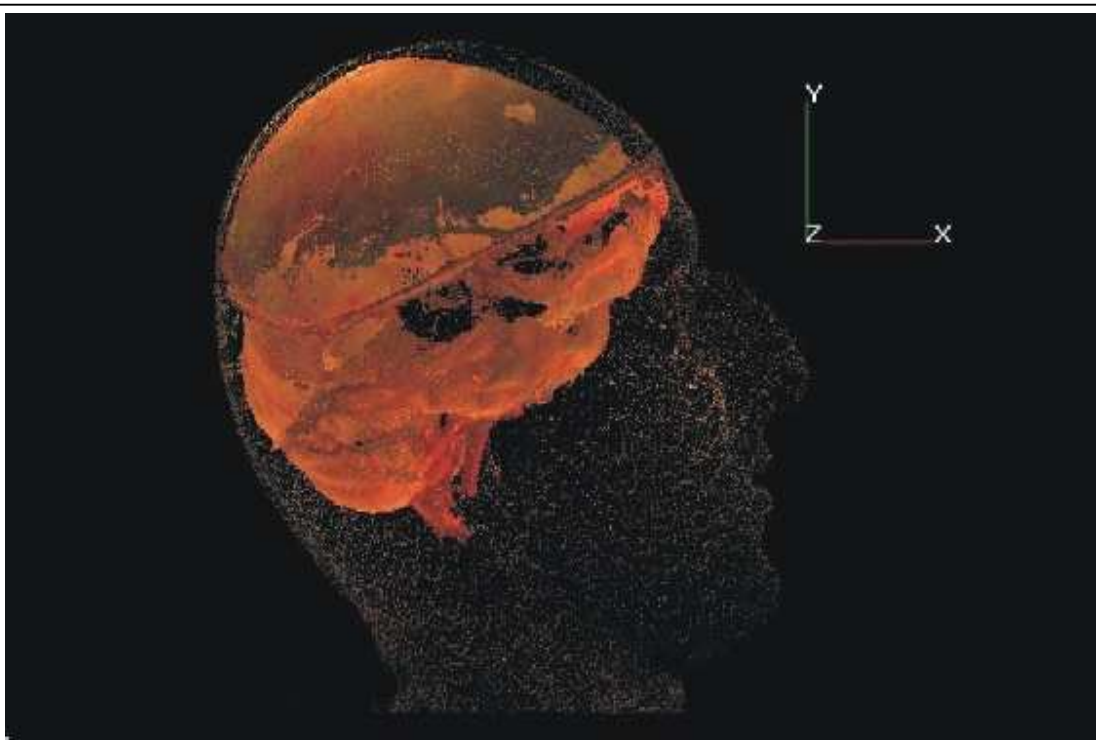


Abbildung 35

Reduktion der Anzahl der Bildpunkte des Gesichts zur besseren Darstellung der Schädelbasis und –kalotte.

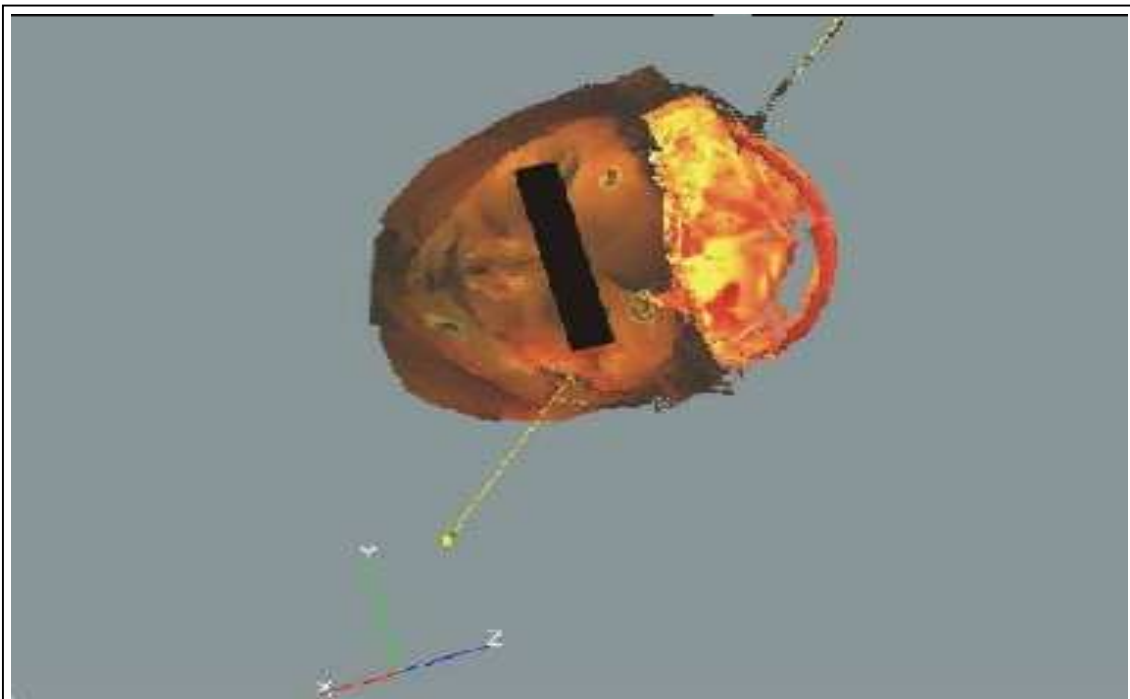


Abbildung 36

Darstellung eines Schusskanals (gelbe Gerade) im Bereich der Schädelbasis.

7.3 Das Herausarbeiten der einzelnen Wunden und Verletzungen

Der große Umfang der Oberflächendaten macht weitere Schritte zur Datenreduktion notwendig. Dies sind einerseits die bereits beschriebenen Schritte zum Schnitt- und Drahtmodell, andererseits die isolierte Darstellung der rechtsmedizinisch oder biomechanisch relevanten Verletzungen und Wunden auf einem dieser Modelle. Dazu werden mit der an die Großanlage montierten Kleinanlage einzelne relevante Verletzungsbereiche gesondert und in höherer Auflösung aufgenommen, nachdem sie mit ein oder zwei Marken versehen worden sind. Diese dienen dem bereits beschriebenen Matchen auf die Gesamtoberfläche. Die so entstehenden Daten werden auf die entsprechende Position der mit der Großanlage erstellten virtuellen Leichenpuppe gematcht. Danach erfolgt knapp um den Verletzungsrand der Zuschnitt mit dem *CircleSelect*-Tool, es verbleibt also nur die eigentliche Verletzung.

Bei Aufnahmen mit der Kleinanlage erfolgt für diesen Zweck die Duplizierung derjenigen Punktwolke oder derjenigen Punktwolkengruppe, welche die Information über die Verletzung trägt. Dieses Duplikat wird ebenfalls knapp um den Verletzungsrand mit dem *CircleSelect*-Tool zugeschnitten, ein Matchen ist in diesem Fall nicht notwendig, weil sich die entsprechenden Punktwolken oder Punktwolken schon an der passenden Stelle befinden.

Um eine übersichtliche Visualisierung zu gewährleisten, werden bei beiden Vorgehensweisen nur relevante Verletzungen dargestellt und solche, die eine gewisse Größe nicht unterschreiten.

Die isolierten Verletzungen können je nach Bedarf mit dem Schnitt- oder Drahtmodell (Abbildung 37) dargestellt werden. Auch eine isolierte Ansicht im Raum ist möglich (Abbildung 38). Hierdurch wird eine spätere dreidimensionale Beurteilung möglich.

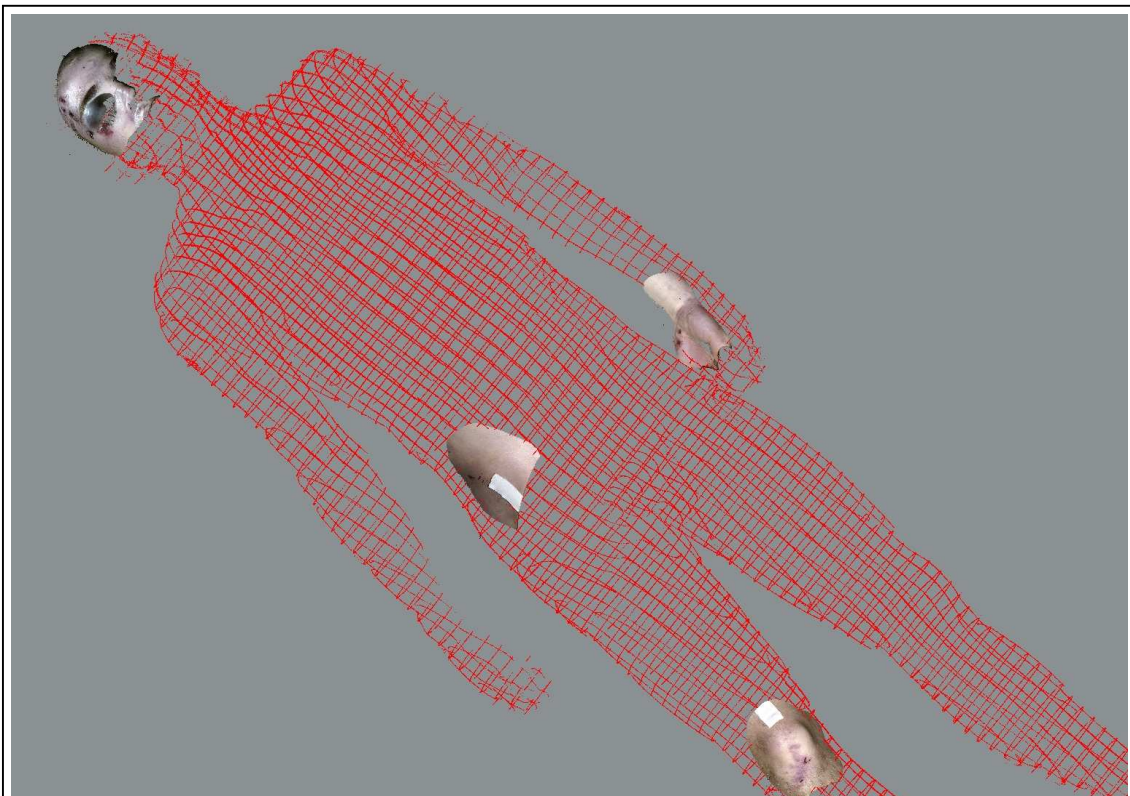


Abbildung 37

Darstellung des Drahtmodells zusammen mit den oberflächlichen Verletzungen.

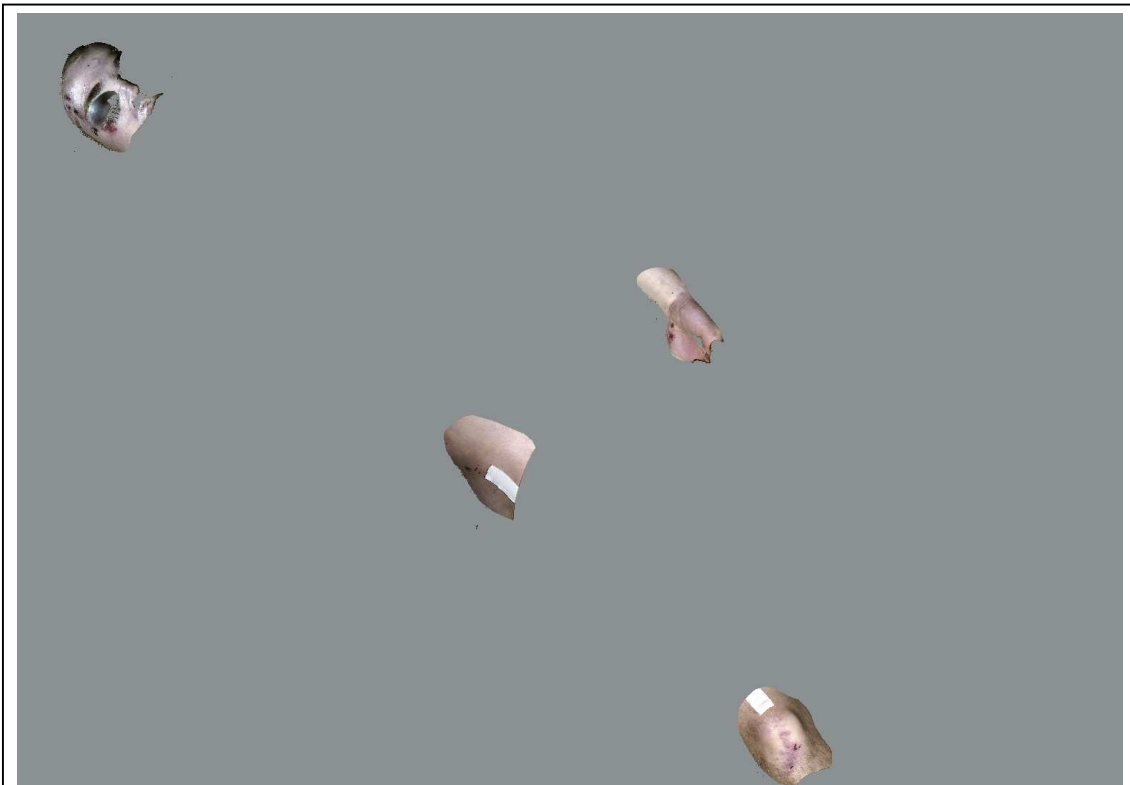


Abbildung 38

Isolierte Darstellung der Wunden.

7.4 Das Einfügen von Schädelbasis, Gehirnscheiben und CT-Daten

Die bis zu diesem Punkt angefertigte und bedarfsgerecht visualisierte virtuelle Leichensuppe erlaubt Rückschlüsse auf den Verletzungshergang. Diese können aber nur aus der oberflächlichen Wundtopografie gezogen werden.

Eine große Zahl von direkt oder indirekt tödlich verlaufenen Unfällen betrifft jedoch auch den knöchernen Schädel sowie das Gehirn. Diese sind der Streifenlichttopometrie als optischem Verfahren an sich nicht zugänglich. Die im Laufe der Leichenschau obligatorische Begutachtung der Kopfhöhle zusammen mit der dafür notwendigen Entfernung des Gehirns legt nahe, die Schädelbasis, das Schädeldach und in einem späteren

Schritt auch das gesondert geschnittene und virtuell rekonstruierte Gehirn mit in die digitale Leichenpuppe aufzunehmen.

Zu diesem Zweck werden jeweils vier bis fünf SLT-Aufnahmen von der Schädelbasis sowie der Innen- und Außenseite der Schädelkalotte angefertigt und nach dem bereits beschriebenen Muster gematcht. Im Gegensatz zur Leichenoberfläche werden keine Markierungen benutzt. Diese Hilfe kann wegen der reichen Zahl von „natürlichen Marken“, also anatomischen Orientierungspunkten in der Schädelbasis, entfallen. Gut für diesen Zweck sind die Crista galli, die Sella turcica oder das Foramen magnum.

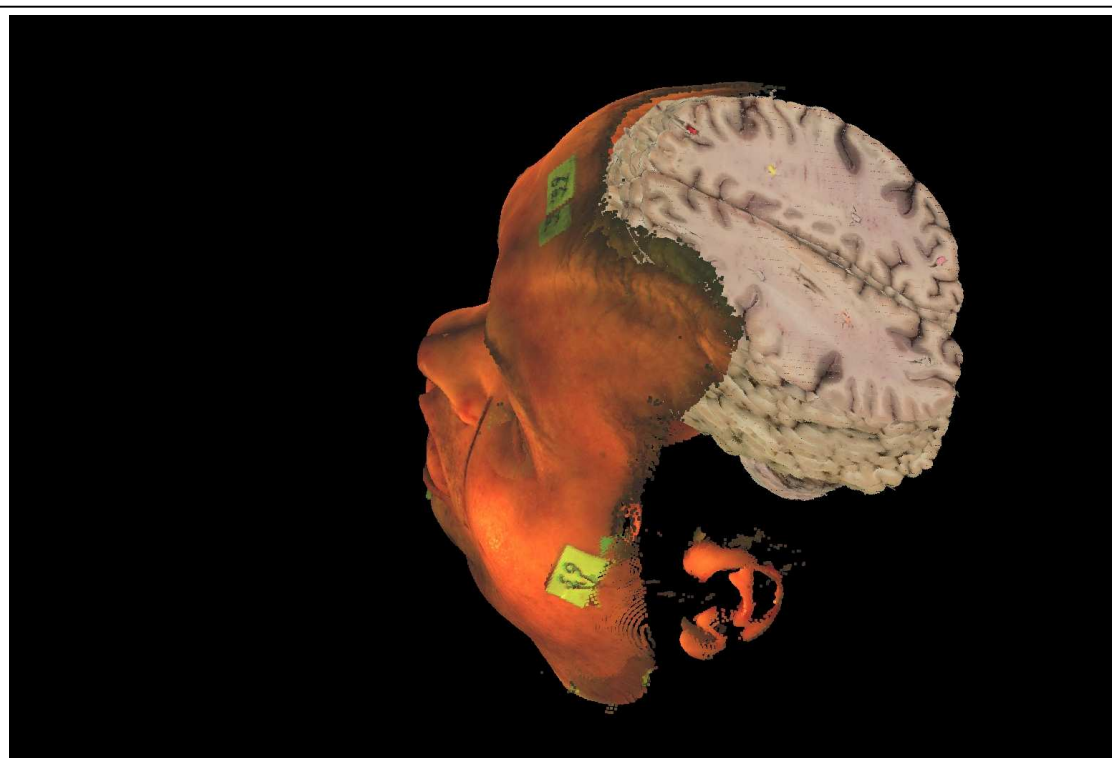


Abbildung 39

Integration des geschnittenen Gehirns in den Kopf der der virtuellen Leichenpuppe

Das "Einsetzen" der Schädelbasis in die virtuelle Leichenpuppe erfolgt durch das *Rotation-* und *Translation-*Tool. Orientierungshilfen hierbei sind Strukturen, die sowohl bei der Oberflächenerfassung als auch bei der Erfassung der Schädelbasis aufgenommen werden, zum Beispiel die Spitze der Nase und die Ohrensippen. Sind diese Strukturen nicht in beiden Aufnahmen zu sehen, oder durch die Präparationstechnik bewegt wor-

den, liefert ein beliebiges Röntgenbild des Schädels in zwei Ebenen gute Anhaltspunkte (vgl. dazu Sobotta, Atlas der Anatomie).

Die Technik zur Verarbeitung des Gehirns und weiterer innerer Organe sowie deren Einfügen in die mit Streifenlichttopometrie gewonnene Leichenpuppe wurde im Gerichtsmedizinischen Institut der Universität Tübingen entwickelt (LIEBISCH 2000, SUBKE et al. 2002). Nach Entnahme und Fixierung des Gehirns wird dieses in drei Millimeter breite, parallele Scheiben geschnitten. Diese werden digitalisiert, digital weiterverarbeitet und schließlich zu einem virtuelle Organ rekonstruiert, das wieder in die leere Schädelhöhle integriert werden kann (Abbildung 39).

Die Integration eines Computertomogramms des Schädels oder eines Computertomogramms des ganzen Körpers in die virtuelle Leichenpuppe erfolgt nach dem Import der entsprechenden Daten. Für die topografische Zuordnung der Daten kann die bereits

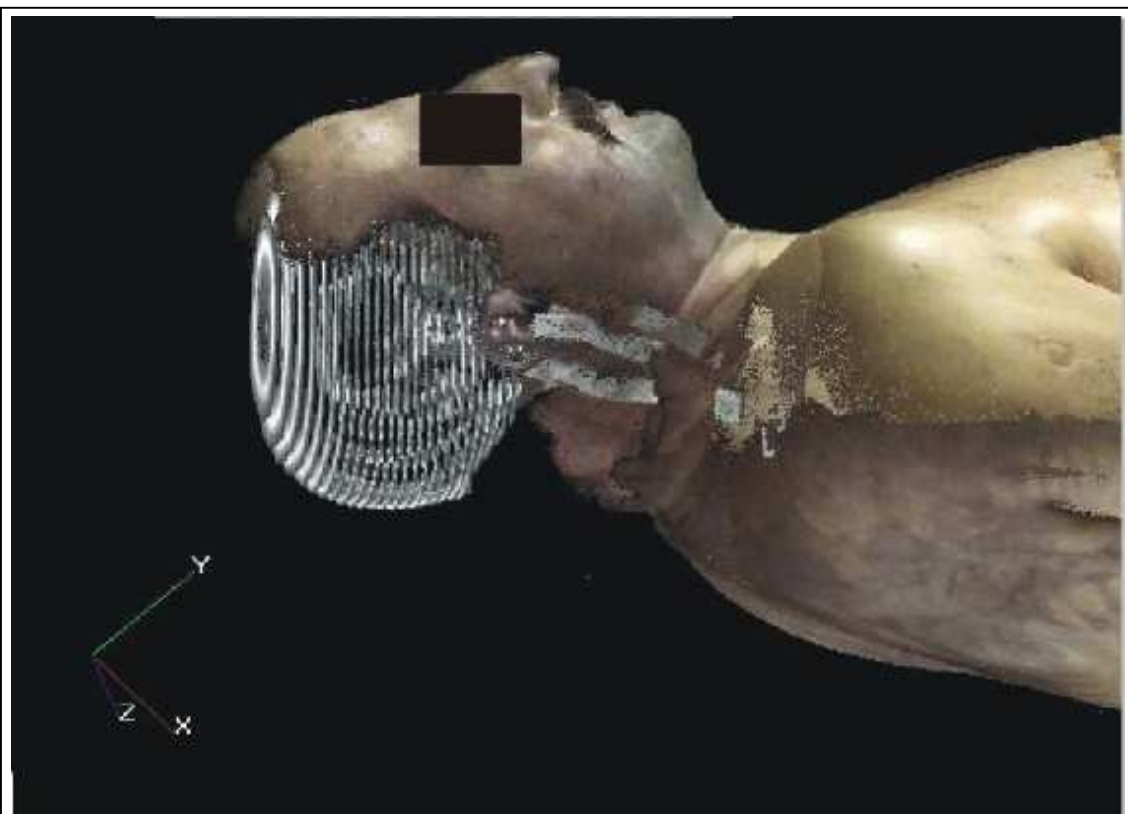


Abbildung 40

Darstellung des Kopfes zusammen mit Schichten des CCTs.

für die Schädelbasis beschriebene Technik verwendet werden (Abbildung 40); auch hier wird das *Rotation-/Translation-Tool* eingesetzt. Ebenfalls erfolgt eine Orientierung an anatomischen Landmarken wie Nase oder Kinn. Allerdings muss hier auf die Ummantelung des Schädels mit Weichteilen geachtet werden.

7.5 Die Benennung der Verletzungen der virtuellen Leichenpuppe

Um die Visualisierung übersichtlicher zu gestalten und mit dem Obduktionsprotokoll abzustimmen, können schriftliche Erklärungen (Labels) zu den einzelnen Wunden gesetzt werden. So kann eine schnelle deskriptive Übersicht über die Verletzungstopografie gegeben werden (Abbildung 41, rechter Anteil). Die Übersichtlichkeit gebietet hierbei, die Wundbeschreibung aus dem Obduktionsprotokoll sinnvoll zu kürzen, auch sollten nur relevante Befunde erwähnt werden.

Obwohl dann bei der virtuellen Leichenpuppe nur eine Kurzfassung der beschreibenden Wunddokumentation vorliegt und diese nur auf eine überschaubare Zahl von Verletzungen angewendet wird, ist das Zusammenführen von beschreibender und streifenlichttopometrischer Wunddokumentation noch aussagefähiger als die Streifenlichttopometrie allein. Die virtuelle Leichenpuppe liefert so zusammen mit dem Labeln einen übersichtlichen und schnell zu erfassenden Eindruck der Verletzungen, einen besseren, als dies ein Obduktionsprotokoll allein tun könnte.

7.6 Vermessungen an der virtuellen Leichenpuppe

Wesentlicher Bestandteil jeder Leichenschau ist das Abgreifen wichtiger Körpermaße. Die Höhe wichtiger anatomischer Landmarken oder Verletzungen ab Sohlenebene wird gemessen, außerdem wichtige Umfänge und Durchmesser. In der virtuellen Leichenpuppe können mit dem *DistanceBetweenPoints-Tool* beliebige Entfernungen genau bestimmt werden.

Umfänge lassen sich mit einer geeignet angeglichenen *B-Spline* erfassen.

Die Entfernungs- und Umfangsmessung ist wesentlich genauer als die während der Leichenschau erfolgende. Zudem können zu jedem späteren Zeitpunkt weitere beliebige Messungen durchgeführt werden (Abbildung 41, linker Anteil).

Tabelle 10 zeigt beispielhaft die Übereinstimmung einiger bei der Obduktion angegebenen Werte mit der Werten, die durch die Software vermessen wurden.

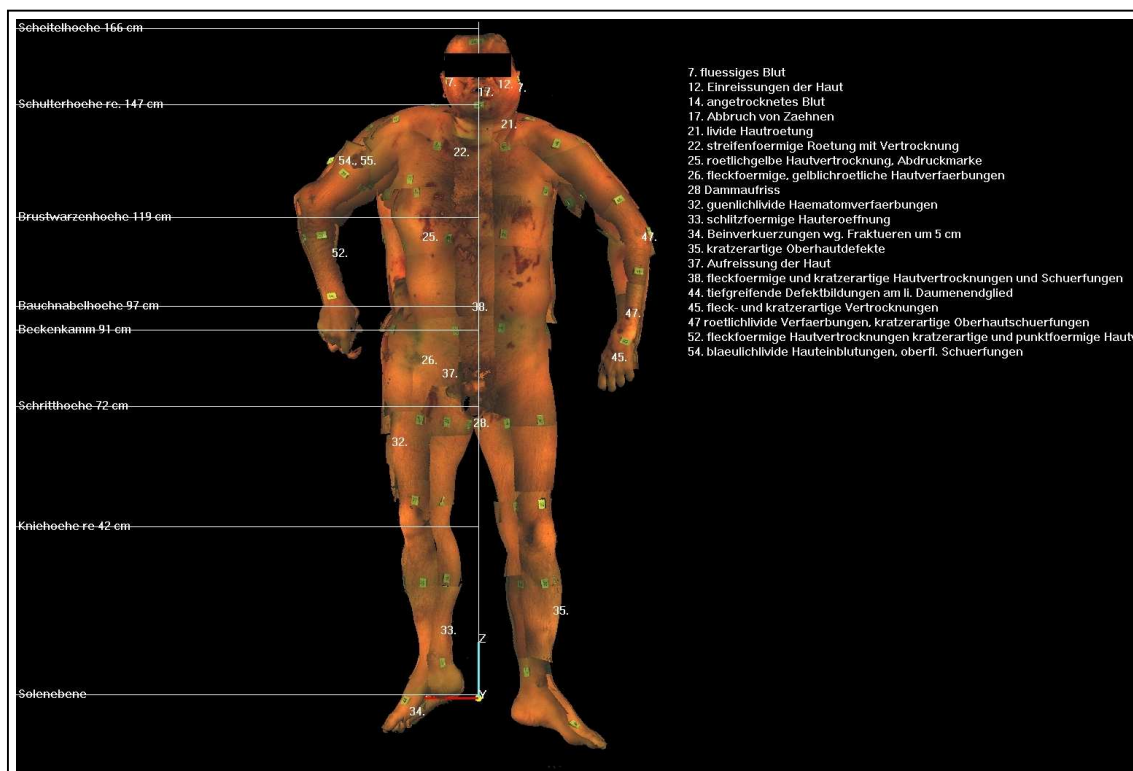


Abbildung 41

Darstellung des vollständigen Modells mit Labeln und Verweisen zur entsprechenden Wunde sowie digitalem Abgreifen einiger Höhen.

	Obduktionsprotokoll	Vermessung in der virtuellen Leichen- puppe
Scheitel	166 cm	165 cm
Schulterpunkt (SP)	142 cm	147 cm
Brustwarze (BW)	119 cm	119 cm
Nabel	98 cm	97 cm
BW – BW	26 cm	25 cm
Brustumfang	92 cm	89 cm
Brustkorbdurchmesser	35 cm	37 cm
Beckenumfang	88 cm	88 cm

Tabelle 10

Vergleich der Genauigkeit zwischen Körpermaßen, die bei der Obduktion gewonnen wurden, und Messungen an der virtuellen Leichenpuppe.

8. Streifenlichttopometrische Aufarbeitung von fünf tödlichen Unfallgeschehen

Grundlage der vorliegenden Arbeit war das Sektionsgut des Institutes für Gerichtliche Medizin der Universität Tübingen. Es wurden vorrangig solche Leichen mittels Streifenlichttopometrie vermessen, die durch ein Unfallgeschehen zu Tode gekommen waren. Die Aufnahmen stammen aus einem Zeitraum zwischen Winter 2001 und Herbst 2002.

Bei jedem dargestellten Fall wurde streng auf Anonymisierung geachtet. So werden nicht die im Institut verwendeten Fallnummern wiedergegeben. Alle Namen, körperlichen Merkmale oder persönlichen Daten wurden unkenntlich gemacht und im Folgenden nicht beschrieben.

Informationsgrundlage für die folgenden Kasuistiken waren die Obduktionsakten des Instituts. Die jedem einzelnen Fall beigefügten vier Abbildungen stellen Screenshots der jeweiligen digitalen Leichenpuppen dar. Diese wurde zwischen zwei Aufnahmen jeweils um 90° um seine senkrechte Achse gedreht.

Um eine übersichtliche Darstellung zu gewährleisten, werden ausschließlich die Leichenpuppen gezeigt. Nicht dargestellt sind: Schädelbasen, computertomographische Aufnahmen, eingefügte Gehirne, die individuelle Weiterverarbeitung zu Schnittmodellen, Vermessungen und Beschriftungen. Diese Elemente finden sich beispielhaft im Text von Kapitel 7.

Auch eventuell zusätzlich aufgenommene Verletzungen mit höherer Auflösung sind nicht dargestellt. Diese würden sich nicht von der übrigen virtuellen Leichenpuppe abheben, da durch, den Druck bedingt, die Auflösung der Darstellung begrenzt ist.

Für jeden einzelnen Fall werden im Folgenden die wesentlichen Daten des Unfallgeschehens erklärt, dann wichtige bei der Obduktion erhobene Befunde. Schließlich folgen kurze Bemerkungen zu den Besonderheiten bei Aufnahme, Umlagerung oder Weiterverarbeitung des Falls.

8.1 SLT-Aufarbeitung eines tödlichen Sturzes von einem Baugerüst

Sachverhalt

Der 30 Jahre alte Mann war von einem ungesicherten Gerüst zirka fünf Meter in die Tiefe gefallen, und dabei auf der Kante eines mit wenig Wasser gefüllten Regenauffangbeckens aufgeschlagen. Er wurde tot in Bauchlage aufgefunden. Die Leichenöffnung erfolgte unter der Fragestellung nach einer Kausalität zwischen Unfall und Todesertritt.

Wesentliche Obduktionsbefunde

Rissquetschwunde im Bereich der rechten Scheitelregion, großflächige schürftartige Hautverletzung der Halsvorderseite, beiderseits spießartige Verletzung am Unterkiefer, Absplitterungen an der Unterkante des rechten Unterkieferastes, stanzförmige Hautver-trocknung mit darunter liegender Einblutung an der linken Schulterrückseite, zirkuläre Schädelbasisfraktur mit Durchsetzung beider Felsenbeine und des Türkensattels, intensive Blutaspilation beider Lungen, Einblutungen in den vorderen Halsweichteilen, Brü-che beider Kehlkopfhörner. Unterblutungen der weichen Hirnhäute, Rindenprellungs-herde des rechten Frontallappens an der Unterseite.

Todesursache

Tod durch Ersticken in Folge massiver Blutaspilation in beide Lungen, Schädelbasis-fraktur als Blutungsquelle

Besonderheiten bei der Aufnahme und Weiterverarbeitung

Die Aufnahme erfolgte mit der SLT-Kleinanlage. Somit ist eine Inhomogenität der Körperoberfläche deutlich erkennbar. Zudem zeigt sich eine Farbverschiebung ins Rö-ich-Braune. Der Zuschnitt der einzelnen Punktwolken erfolgte grob orientiert an einem Schnittmuster. Die Lagerekonstruktion erfolgte mittels Marken und einer Wasseraage.

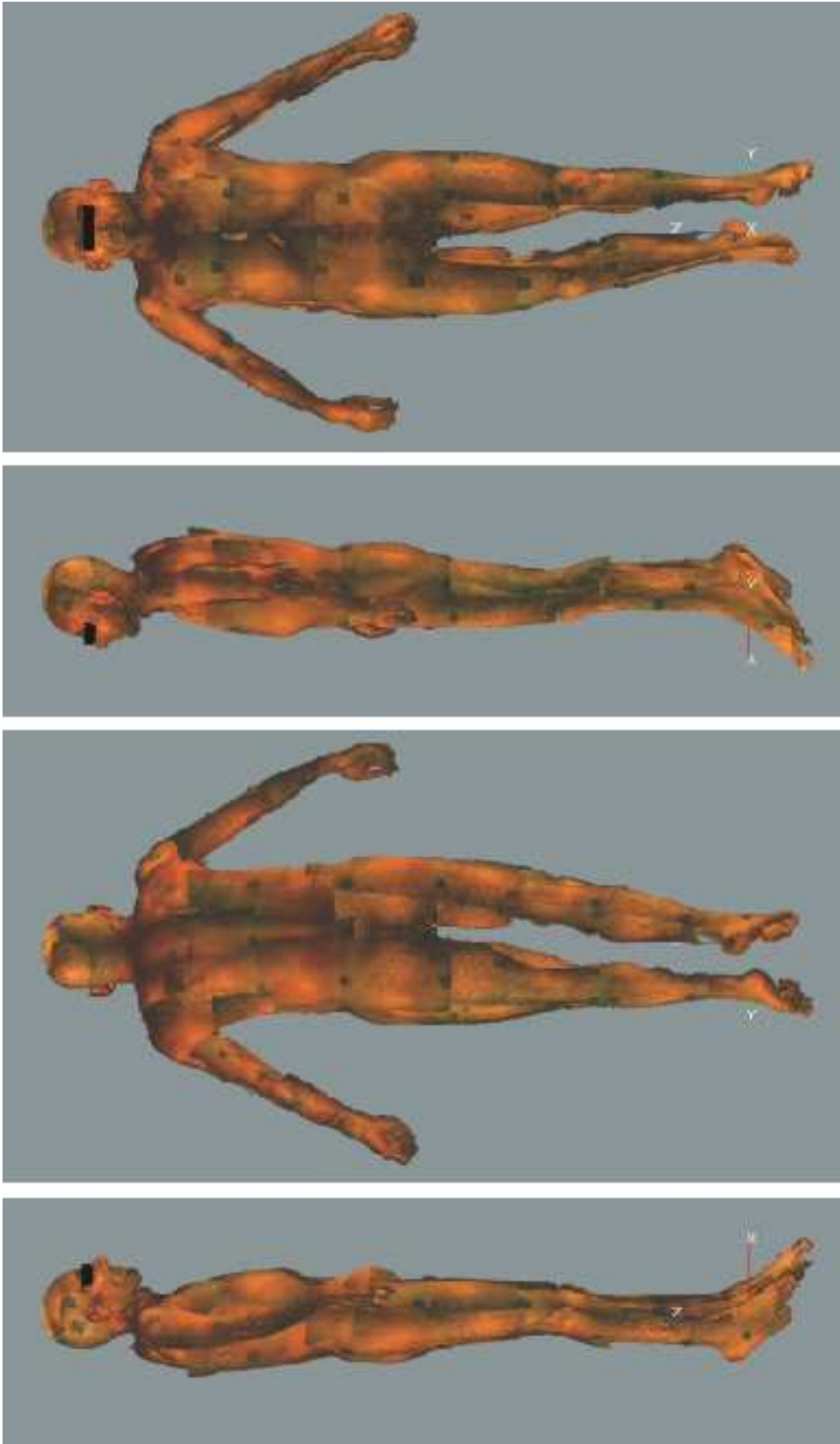


Abbildung 42: Fall 1.

8.2 SLT-Aufarbeitung eines tödlichen Sturzes von einem Hausdach

Sachverhalt

Der 41-jährige Mann war bei der Arbeit als Dachdecker etwa acht Meter in die Tiefe gestürzt. Er wurde danach stationär im Krankenhaus aufgenommen, wo er verstarb. Die Obduktion diente der Klärung der Todesursache.

Wesentliche Obduktionsbefunde

Schädelbruch an der linken Schädelseite bis in die mittlere Schädelgrube, etwa handflächengroße, wenige Millimeter dicke Blutung über der rechten Großhirnhälfte zwischen den Hirnhäuten (subdurales Hämatom), umschriebene Hirngewebsuntergänge an beiden Großhirnhälften, Rippenserienbruch der 2. bis 6. Rippe rechts in der vorderen Axillarlinie, mit Einblutungen und Anspießungen einhergehend, Rippenserienbruch der 3. bis 9. Rippe links neben der Wirbelsäule, Zertrümmerung des 3. Brustwirbelsäulenkörpers, Anspießungsstellen an beiden Lungenunterlappen, eingeblutete Quetschungsbezirke in beiden Lungenunterlappen, umschriebene und nahtversorgte Operationsstellen an beiden Brustseiten, nahtversorgte Riss-Quetschwunde über dem linken Scheitelhöcker, starke Hirnswellung, etwas Schaum in der Luftröhre, kleinere Schürfwunden und Einblutungen an den Gliedmaßen.

Todesursache

Massives Schädel-Hirn-Trauma und schweres Thorax-Trauma.

Besonderheiten bei der Aufnahme und Weiterverarbeitung

Die Leiche des Mannes wies starke Leichenflecken auf; außerdem ist eine deutliche Hellfärbung des Gesäßes erkennbar. Diese beruht auf einer ungleichmäßigen Sonnenexposition im Vergleich zu benachbarten Partien. Die Haare des Mannes im Kopfbereich wurden nicht rasiert und konnten so bei der Messung nicht aufgenommen werden, da ein einzelnes Haar unterhalb des gegenwärtigen Auflösungsvermögens der SLT-Technik liegt.

Die Lagerekonstruktion erfolgte mithilfe einer Wasserwaage, Markierungen und mit Hilfe von Abstandshaltern.

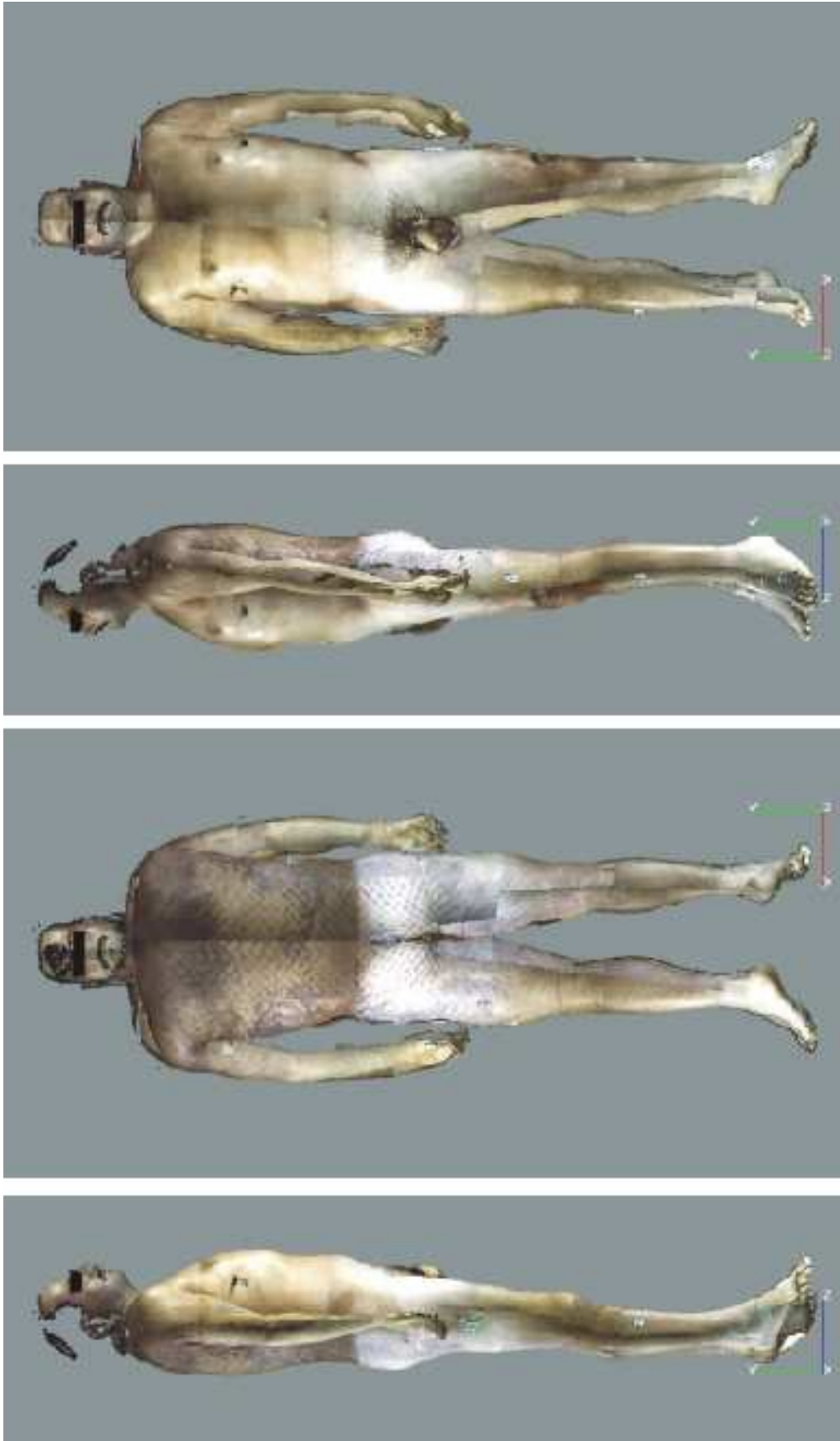


Abbildung 43: Fall 2.

8.3 SLT-Aufarbeitung eines Fußgänger-PKW-Unfalls

Sachverhalt

Der 45 Jahre alte Mann hatte beim Joggen eine Straße überquert und war dabei von einem PKW erfasst worden. Der Betroffene verstarb noch an der Unfallstelle. Die Obduktion diente der Feststellung der Todesursache und der Anfahrtrichtung.

Wesentliche Obduktionsbefunde

Riss-/Quetschwunde im Bereich der Schädelhöhe, weitere, nicht tiefgreifende Hautdefekte der Kopfschwarte im linken Scheitelbereich, deutlich abgeflachte Thoraxpartie links, multiple, überwiegend oberflächliche Hautdefekte im Rumpfbereich sowie an den Extremitäten, komplette Unterarmfraktur links, komplette Unterschenkelfraktur links, massive Einblutungen im Bereich des linken Rückens, Aufriss des Herzbeutels, Aufriss der oberen Hohlvene, Lungenhauptschlagader und Brusthauptschlagader, Rippenserienfrakturen beiderseits mit deutlichen Einspießungen im linken Brustkorbbereich, Fraktur des vierten Brustwirbelsäulenkörpers, vielfache Rippeneinspießungsverletzungen der linken Lunge, oberflächlicher Einriss in den rechten Leberlappen, umblutete linke Nebenniere, Einriss am Milzhilus, Gehirnödem, allgemeine Arteriosklerose mit besonderem Betroffensein der Herzkranzschlagadern und der Hirngrundschlagadern.

Todesursache

Tod durch Polytrauma bei starker Thoraxbeteiligung. Hinweise auf Anfahrtrichtung von links.

Besonderheiten bei der Aufnahme und Weiterverarbeitung

Auffällig sind die deutlichen Farbdifferenzen im Brustbereich; die rechte Thoraxwand ist hell überstrahlt. Dies resultiert aus kurzfristig geänderten Aufnahmeparametern, die wegen einer sehr starken Körperbehaarung variiert werden mussten. Der Kopf der Leiche wurde nicht rasiert, in diesem Bereich konnten somit keine Aufnahmen angefertigt werden.

Das Prematching dieses Falls erfolgte mit Unterlagen, Marken, Wasserwaage und Abstandshaltern.

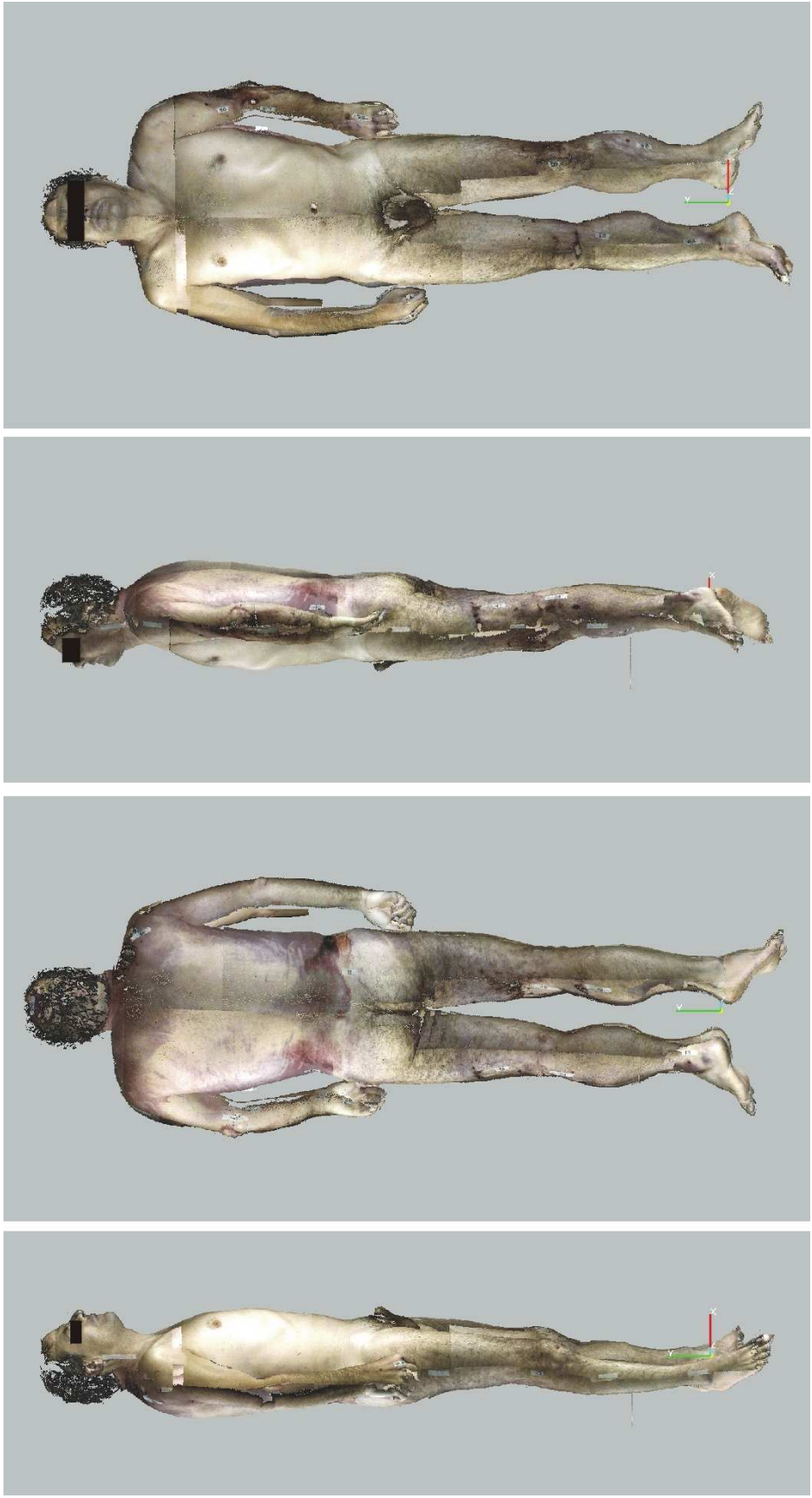


Abbildung 44: Fall 3.

8.4 SLT-Aufarbeitung eines Fahrradfahrer-PKW-Unfalls

Sachverhalt

Der 14-jährige junge Mann war mit seinem Fahrrad als Zweiter in einer Viererkolonne gefahren. Ein entgegenkommendes Fahrzeug musste wegen eines parkenden Fahrzeugs auf die Fahrbahn der Fahrradfahrer ausweichen. Der betroffene junge Mann fiel bei dem angesetzten Bremsmanöver zu Boden und wurde von dem PKW erfasst. Er verstarb noch an der Unfallstelle.

An dem beteiligten PKW konnten vielfache Kontaktsuren und Beschädigungen festgestellt werden. Diese befanden sich im linken Frontbereich, am linken vorderen Radkasten sowie in der Fahrzeugmitte und an der linken Hinterfelge.

Die Leichenöffnung diente der Feststellung der Todesursache und der Unfallrekonstruktion.

Wesentliche Obduktionsbefunde

Ausgedehnte Vertrocknungen im linken Gesichtsbereich übergreifend auf die linke Ohrmuschel, Einreißung des rechten Augenoberlids, ausgedehnte Vertrocknungen im Bereich des linken Schulterpunkts, Schürfungen im rechten Flankenbereich in der Körperachse verlaufend, ausgedehnte Schürfungen im linken Gesäßbereich übergreifend auf die Vorderseite des linken Oberschenkels, ausgedehnte Schürfungszonen im Bereich des großen Rollhügels, Frakturen des linken Oberschenkels etwa im mittleren Drittel, beginnende Frakturlinie im hinteren oberen Bereich des linken Schläfenbeines, dann weiterer Verlauf in querer Richtung durch die komplette Schädelbasis, dadurch Ausbildung eines angedeuteten Scharnierbruchs, ausgedehnte subdurale Blutung, subarachnoidale Blutung, massives Hirnödem, Hirngewebszerstörung im Bereich des linken Schläfenlappens im Basisbereich, ausgedehnte Rindeneinblutungen im Bereich des rechten Schläfen-Scheitellappens im Sinne eines Contre-Coup-Geschehens, Thoraxdrainage links als notärztliche Maßnahme, in der linken Brusthöhle 50 ml Blut, deutlich geschrumpfte Lunge, Bluaspirationsherde im Lungengewebe linksseitig, etwa 150 ml flüssiges Blut in der rechten Brusthöhle, Fraktur des rechten Schlüsselbeins, Blutungen

im oberen Mittelfellraum, einspießende Fraktur der ersten Rippen rechts und links, weitere Rippenfrakturen an den Ansätzen am Brustbein, wenig flüssiges Blut im Herzen, ausgedehnte Unterblutungen der Herzinnenhäute der linken Herzkammer, Blutschmierungen in der Bauchhöhle, Einreißungen im Lebergewebe am Übergang vom linken zum rechten Leberlappen, sehr kleine, blutarme Milz, blasse Nierenrinden, Nierenkapselblutungen, düsterrote bis anthrazitfarbige Beschaffenheit des Lungengewebes im Anschnitt.

Todesursache

Polytrauma bei Fahrradfahrer-PKW-Unfall.

Besonderheiten bei der Aufnahme und Weiterverarbeitung

Die Leiche wies eine hohe Zahl von z.T. konfluierenden Hämatomen auf; zudem waren die Leichenflecken stark ausgeprägt. Die deutlich erkennbar hohe Zahl von Klebemarken resultiert aus der hohen Zahl (17 Stück) von Einzelaufnahmen. Weite Teile des Kopfes wurden nicht mit der Messung erfasst, auch hier lag die Dicke des einzelnen Haares oder kleinerer Strähnen unter dem Auflösungsvermögen der SLT-Anlagen.

Das Prematching dieses und des folgenden Falls wurde mit der Fixiereinheit durchgeführt.

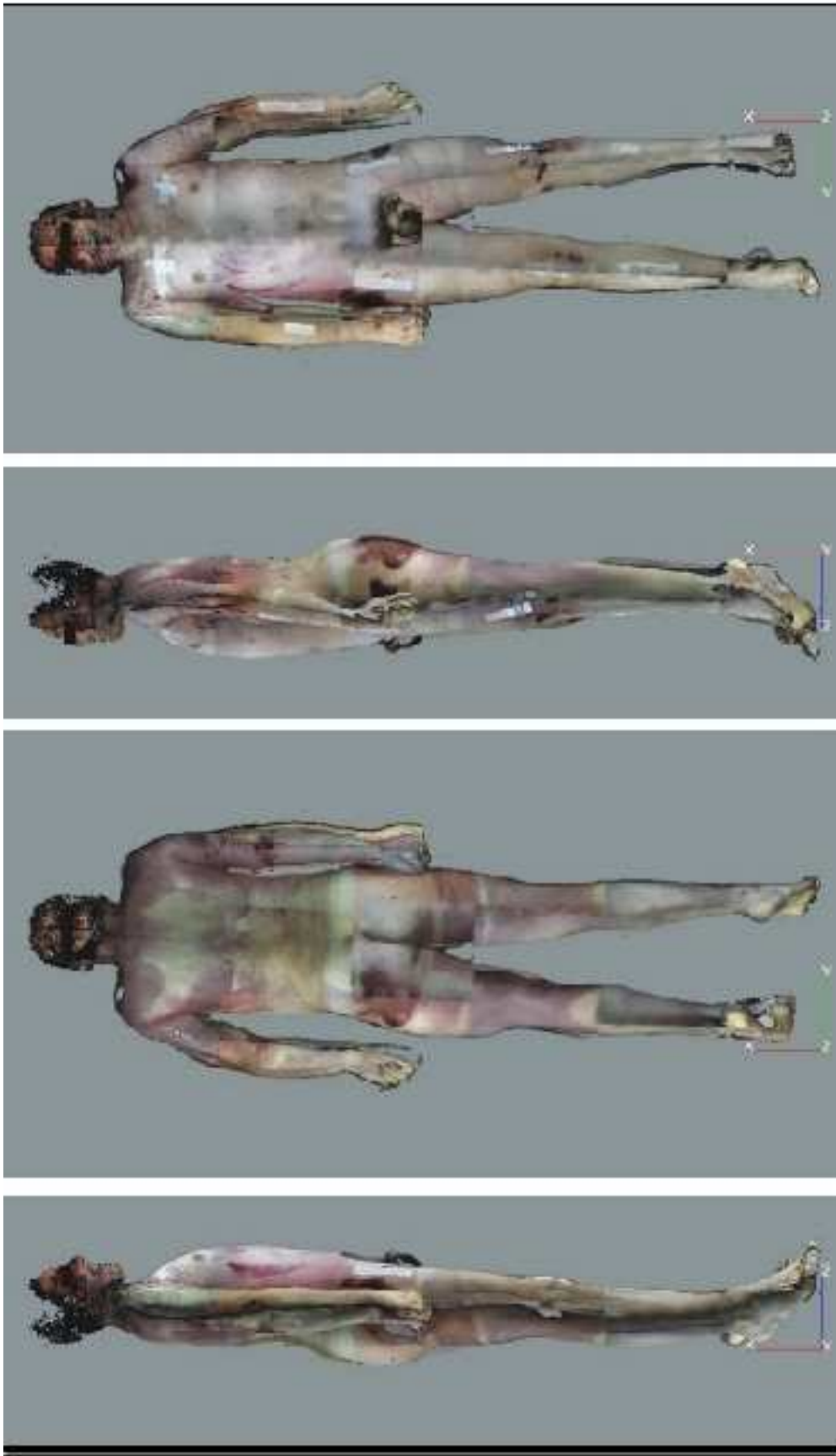


Abbildung 45: Fall 4.

8.5 SLT-Aufarbeitung eines Sturzes aus geringer Höhe

Sachverhalt

Der junge Mann war frühmorgens vor einem Garagentor tot aufgefunden worden, sein Kopf lag in einer Blutlache. Vermutlich war der Mann beim Durchschreiten eines Pfades aus einer Mauerhöhe von ca. zwei Metern abgestürzt.

Die Leichenöffnung diente der Feststellung der Todesursache.

Wesentliche Obduktionsbefunde

Verletzungen im Gesichts- und Stirnbereich. Lidhämatome beiderseits, rechts mehr als links. Schürfwunden der rechten Hand. Schürfwunden im rechten Kniebereich. Textilabdruckspur im rechten Ellenbogenbereich. Schädelbasisbruch der vorderen Schädelgrube mit Einsinken des Bruchs in das rechte Augenhöhlendach. Bruchausläufer nach rechts temporal, Prellmarken der Hirnbasis rechts frontalbasal und links temporal basal.

Todesursache

Schädel-Hirn-Trauma nach Sturz.

Besonderheiten bei der Aufnahme und Weiterverarbeitung

Diese gut gelungene virtuelle Leichenpuppe wurde aus Aufnahmen gefertigt, deren *Dim-Level* eng zusammen lag. So konnten für periphere Bereiche erstmals Aufnahmen verwendet werden, die ein wenig geänderte Parameter aufwiesen. Insgesamt entstand so ein homogenerer Eindruck.

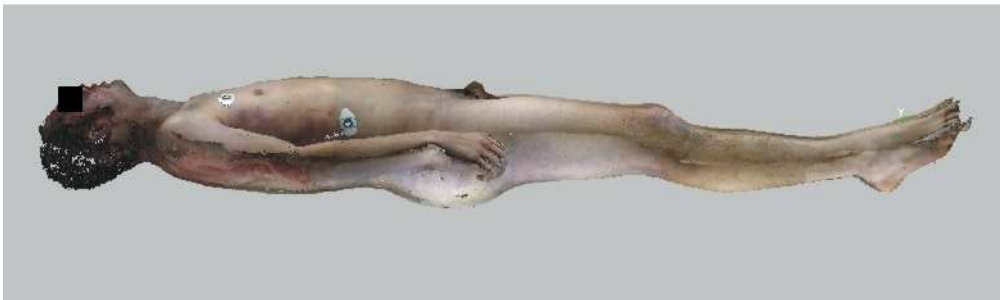
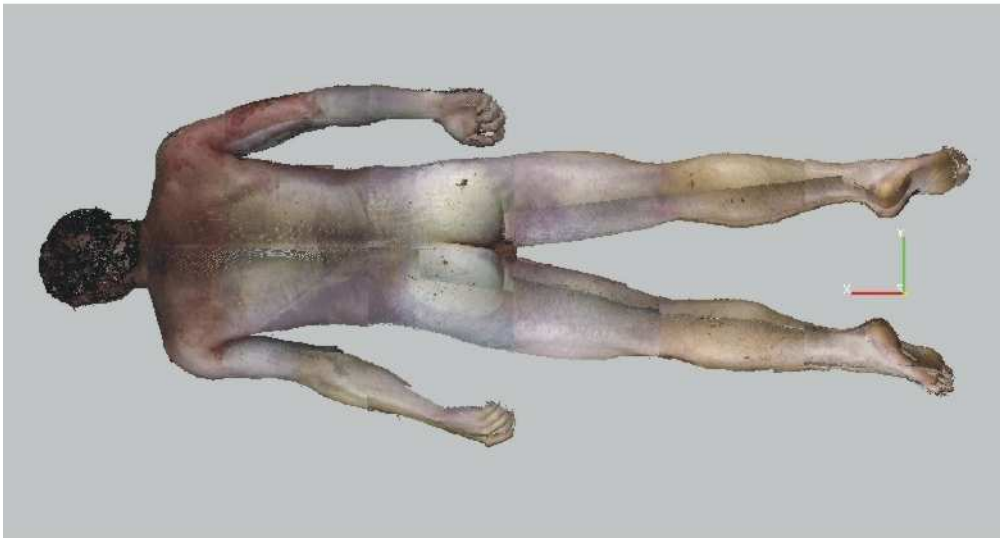
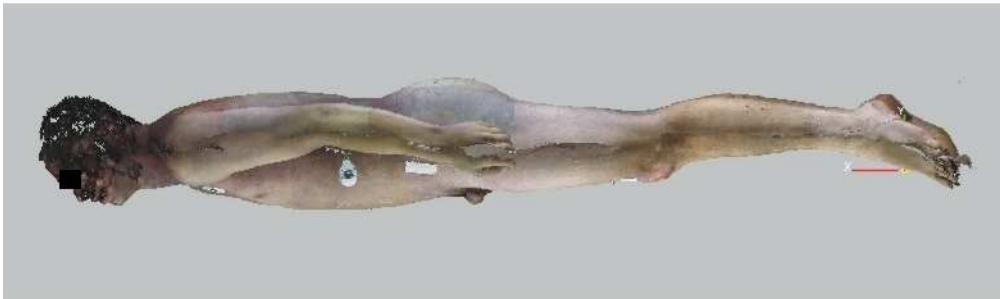
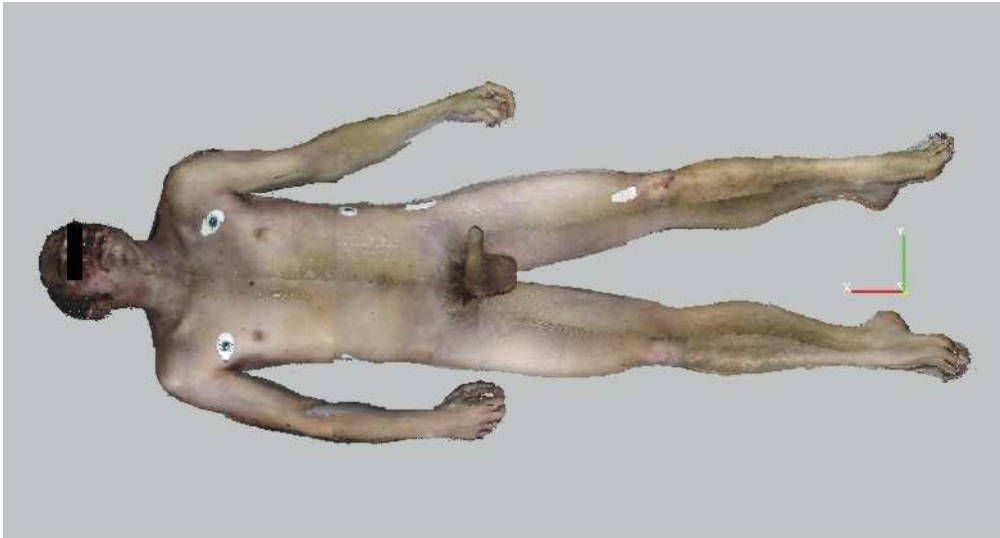


Abbildung 46: Fall 5.

Probeaufnahmen von einer Schaufensterpuppe

Bei diesen Aufnahmen ist die neue Beleuchtungstechnik zum Einsatz gekommen, so dass der periphere Farbfehler im Bereich des seitlichen Rumpfes und der Beine ist fast nicht mehr vorhanden.

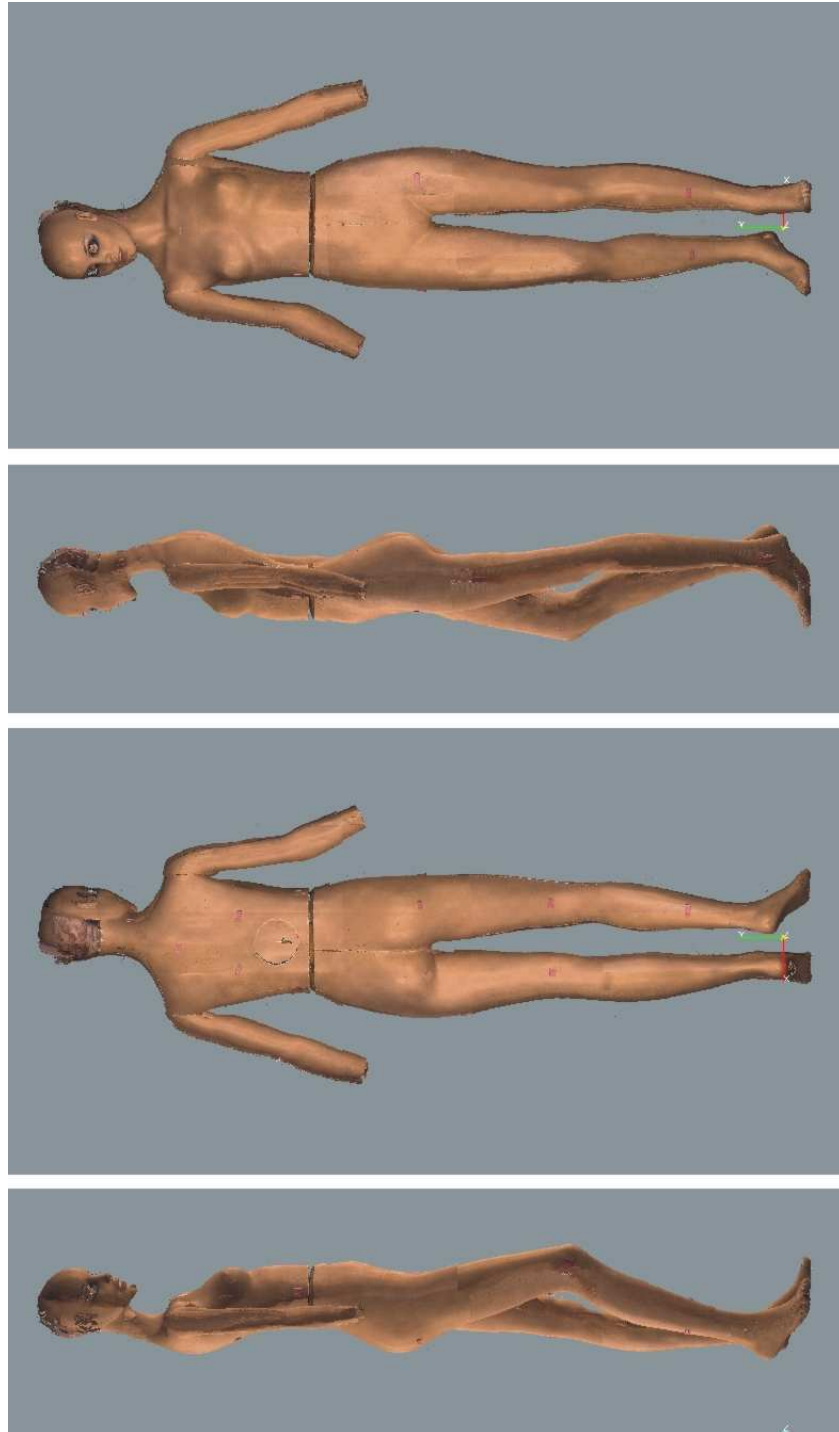


Abbildung 47: Probeaufnahmen an einer Schaufensterpuppe.

Tabellarische Übersicht über die Fälle und ihre individuelle Bearbeitung

Schritt\Fall	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4	Fall 5
Prematching	-	x	x	x	x
Benutzung der Fixiereinheit	-	-	-	x	x
Verwendung von Unterlagen, Markierungen, Wasserwaage	-	x	x	-	-
Kleinanlage (k), Großanlage (g)	k	g	g	g	g
Gesonderte Wundaufnahme	-	x	x	x	x
Gesonderte Wundmarkierung (im Computer)	x	x	x	-	-
Vermessungen	x	-	-	-	x
Wundbeschriftung	x	-	-	-	x
Gesonderte Aufnahme und Einfügen der Schädelbasis	x	∅	x	x	x
Maßgetreue fotorealistische Rekonstruktion des Gehirns	x	-	-	-	-
Einfügen von Schädel-CT	∅	x	∅	∅	∅
Einfügen von Ganzkörper-CT	∅	∅	∅	x	-
Individuelle Weiterverarbeitung (ggf. Schusskanal, Schnittmodell)	-	x	x	-	x

Tabelle 11

Übersicht über die Bearbeitungsschritte der Fälle 1 bis 5.

Legende: ∅ = nicht vorhanden/asserviert/aufgenommen
 - = (noch) nicht durchgeführt
 x = durchgeführt

9. Diskussion der Ergebnisse

Bei der Vorstellung der in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse muss gemäß der ursprünglichen Fragestellung besonders auf zwei Aspekte eingegangen werden.

Erstens konnte die deutliche Überlegenheit der streifenlichttopometrischen dreidimensionalen Oberflächenerfassung gegenüber allen bisher in der medizinischen – und hier besonders der gerichtsmedizinischen – Literatur beschriebenen Verfahren zur Oberflächenvermessung bzw. -archivierung gezeigt werden. Die SLT erwies sich als schnelles Verfahren, das Strukturen präzise und farbecht darstellt. Die dabei erreichte Auflösung liegt im Submillimeterbereich. Mit Hilfe dieser Technik können exakte, individuelle virtuelle Leichenpuppen entstehen, in denen Messungen aller Art möglich werden. Auch die eindeutige Zusammengehörigkeit von Tatwerkzeugen und Verletzungen konnte mehrfach eindrucksvoll gezeigt werden. Dies ist ein Vorgehen, das mit Hilfe konventioneller Techniken nur sehr schwer und ungenau möglich war.

Diese Technik wird in Zukunft die Grundlage für die Erstellung biomechanisch valider Rekonstruktionen sein. Dies sind physikalisch korrekte, eindeutige Rekonstruktionen über Unfallgeschehen oder Tathergänge. Eine Anzahl von Fragen, deren Antworten gegenwärtig in der konventionellen Kriminalistik nur abgeschätzt oder grob errechnet werden können, liessen sich so eindeutig und exakt beantworten.

Zweitens konnten Probleme mit der Aufnahme der Leiche und mit deren Handhabung bei der Drehung gelöst werden. Bei letzterem zeigten sich die angewendeten Verfahren zur Lagereproduktion unterlegen gegenüber dem Einsatz einer Fixiermatte und Zuggurten, die eine Lageveränderung bei Drehung unterdrückten. Zusätzlich erwies sich der Einsatz der Fixiereinheit als deutlich zeitsparend und besser zu handhaben.

Trotz der beschriebenen immensen Vorzüge der neuen Technik besitzt diese auch zwei Nachteile. Zum einen sind die hohen Kosten der SLT-Anlagen zu nennen, die den an sich wünschenswerten breiten Einsatz verzögern dürften. Zum anderen ist der Aufwand zu nennen, den das Erstellen der einzelnen Leichenpuppe mit sich bringt. Dieser lag bei den mit der Kleinanlage aufgenommenen, beschriebenen Fällen im Bereich von bis zu

30 Stunden, bei den mit der Großanlage aufgenommenen Fällen immerhin noch bei 4 bis 6 Stunden. Ein nicht geübter Mitarbeiter dürfte noch deutlich länger brauchen. Dies spricht dafür, die Streifenlichttopometrie nicht für jede in der gerichtsmedizinischen Routine anfallende Leichenschau einzusetzen, sondern ihren Einsatz bis zu einem noch höheren Grad an Automatisierung ausgewählten Fällen vorzubehalten.

Ungeachtet dieser Einwände bietet die Streifenlichttopometrie der Gerichtsmedizin ein neues und leistungsstarkes Werkzeug, dessen breiter Einsatz von großem Wert sein kann.

10. Zusammenfassung

Im Gerichtsmedizinischen Institut Tübingen wurde die Methode der dreidimensionalen, fotorealistischen Oberflächenvermessung mittels Streifenlichttopometrie für die gerichtsmedizinischen Erfordernisse adaptiert. Sie erlaubt die schnelle, im Submillimeterbereich auflösende, vollständige Erfassung von Körperoberflächen.

In der Routine werden momentan zwei SLT-Anlagen eingesetzt: eine mobile mit einem Streifenlichtprojektor und einer Kamera sowie eine fest installierte mit automatisiertem Messkopfvorschub. Dieser Messkopf umfasst drei Kameras und zwei Streifenlichtprojektoren. Letztere erlauben eine weitgehende Automatisierung des Messvorgangs.

Die Wunddokumentation mittels Streifenlichttopometrie zeigt sich gegenüber allen in der gerichtsmedizinischen Praxis angewandten Verfahren als überlegen. Dies wurde in der vorliegenden Arbeit belegt.

Die verbal-beschreibende Verletzungsdokumentation zusammen mit einer hat Nachteile bezüglich ihrer mangelnden Genauigkeit und ihrer starken subjektiven Färbung. Die in der Gerichtsmedizin häufig verwendete Fotografie mit ihren Weiterentwicklungen – maßgetreue Sofortaufnahmen, die Automatisierung von Übersichts- und Detailfotografie, die Verwendung von nicht sichtbarem Licht, Fluoreszenzfotografie und die moderne digitale Fotografie – zeigen sich als deutlich objektiver und genauer. Jedoch fehlt der Fotografie naturgemäß die Dreidimensionalität und damit auch die Möglichkeit, genaue Messungen schnell anzufertigen oder Tatwerkzeuge und Wunden zu vergleichen. In der Literatur mehrfach beschrieben wird die Wunddokumentation mittels Fotogrammetrie. Diese ermöglicht die räumliche, metrisch exakte Darstellung einzelner relevanter Punkte einer Verletzung im Raum. Die fotogrammetrische Verletzungsauswertung ist jedoch ein sehr aufwendiges Verfahren, das zudem keine Farbdarstellung zulässt.

All diese Mängel weist die streifenlichttopometrische Oberflächenerfassung nicht auf. Sie kann deswegen als ein für die gerichtsmedizinische Leichenschau ideales Verfahren bezeichnet werden.

Die notwendigen Schritte bei der streifenlichttopometrischen Datengewinnung und -verarbeitung werden in der vorliegenden Arbeit beschrieben und mit Beispielen und Abbildungen verdeutlicht. Diese Schritte sind: Die Aufnahme und ihre Vorbereitung, das Matchen der einzelnen, noch ohne Bezug zueinander liegenden Punktwolken, die Selektion aller wesentlichen Informationen und eine folgende, am jeweiligen Bedarf orientierte Weiterverarbeitung der virtuellen Leichenpuppe.

Zudem beschreibt die vorliegende Arbeit ein wesentliches Problem der vollständigen Oberflächenaufnahme: das Entstehen von Bewegungsartefakten bei der Umlagerung der Leiche aus der Rücken- in die Bauchlage. Zur Lösung dieses Problems wurden verschiedene Strategien mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen vorgestellt: Die Lagerekonstruktion mit Laborstativen, mit Marken, Unterlagen und einer Wasserwaage sowie mit einer Fixiermatte und Spanngurten.

Als die exakteste und schnellste Methode zur Vermeidung von Bewegungsartefakten bei der Umlagerung erwies sich die Kombination aus Fixiermatte und Spanngurten.

Zur Erleichterung, weiteren Objektivierung und Erweiterung der gerichtsmmedizinischen Leichenschau wurde in der Literatur eine Vielzahl von radiologischen Verfahren beschrieben. Es ist denkbar, so entstandene Bilder passgenau in die virtuelle Leichenpuppe einzufügen. Das Resultat wäre ein vollständiger "digitaler Wundenmann", dessen Verletzungen mit dem jeweils geeignetsten Werkzeug objektiv darstellbar wären. Dieser Schritt würde die vollständige Objektivierung einer Leichenschau gewährleisten.

Literatur- und Quellenverzeichnis

Albrecht P

3D-Koordinaten durch Korrelation von Grauwertfolgen.

Vierter ABW-Workshop Optische 3D-Formerfassung, Technische Akademie Esslingen, Januar 1997

Bale RJ, Burtscher J, Eisner W et al.

Computer assisted neurosurgery by using a noninvasive vacuum-affixed dental cast that acts as a reference base: another step toward a unified approach in the treatment of brain tumors.

Journal of Neurosurgery, Aug 2000, 93(2), 208-13

Bale RJ, Sweeney R, Vogele M et al.

Non-invasive head fixation for external irradiation of tumors of the head and neck.

Strahlenther und Onkol, Jul 1998, 174(7), 350-4

Bale RJ, Vogele M, Dessl A, Cermak B, Waldenberger P, Jaschke W

A new vacuum device for extremity immobilization during digital angiography – initial clinical experiences.

Cardiovasc Intervent Radiol, 1999, 22 Suppl 2, 142

Bale RJ, Vogele M, Freysinger W et al.

Minimally invasive head holder to improve the performance of frameless stereotactic surgery.

Laryngoscope, Mar 1997, 107(3), 373-7

Bale RJ, Vogele M, Hoser C, Fink C, Rosenberger R, Franz R, Rieger M, Jaschke W

Computer assisted interventional procedures using a novel vacuum immobilization device.

Europ Radiol, 2001, 10 Suppl 1, 286

Bale RJ, Vogele M, Lottersberger C, Prassl A, Czermak B, Waldensberger P, Jaschke

A novel vacuum device for extremity immobilization during digital subtraction angiography.

Europ Radiol, 2001, 10 Suppl 1, 286

Bale RJ, Vogele M, Rieger M et al.

A new vacuum device for extremity immobilization.

Am J Roentgenol, April 1999, 172(4), 1093-4

Beal AD

A new method of immobilization of patients for radiotherapy.

Brit J Radiol, 1977, 50, 435-6

Belanger AJ, Lopes AE, Sinard JH
Implementation of a practical digital imaging system for routine gross photography in an autopsy environment.
Arch Pathol Lab Med, Jan 2000, 124(1), 160-5

Betz P, Eisenmenger W
Documentation of injuries.
Unfallchirurg, Sept 1993, 96(9), 493-6

Bisset B
Magnetic resonance imaging may be alternative to necropsy.
BMJ, Nov 1998, 317, 1450

Boyko OB, Becker GJ, Burt RW, Pless JE
Application of SPECT Scanning with I123 HIPDM to Forensic Medicine.
J Comp Assist Tomogr, 1986, 10(5), 885-7

Brill B
NMR reduces need for autopsies.
Neurology, Feb 1984, 34, 264

Brüschweiler W, Braun M, Fuchser HJ
Photogrammetrische Vermessung morphologischer Befunde.
Kompodium 4. Tagung Deutsche Gesellschaft Rechtsmedizin (Region Süd), 1995, Bern/Schweiz

Bush K, Antonyshin O
Three-dimensional facial anthropometry using a laser surface scanner: Validation of the technique.
Plast Reconstr Surg, 1996, 98, 226-35

Butts JD
Measuring Wounds on autopsy photographs.
Am J Forensic Med Pathol, Dec 1986, 7(4), 356

Clark JA, Kelly WM
Common artefacts encountered in magnetic resonance imaging.
Radiol Clin North Am, Sep 1988, 26(5), 893-920

Committee of Ministers
Recommendation No.R (99) 3 of the Committee of Ministers to member States on the harmonization of medico-legal autopsy rules.
Forensic Sci Int (Ireland), Jul 2000, 111(1-3), 5-58

Debus J, Schlaudt G, Gademann G et al.
Präzisionslagerung für den Kopf-/Hals und Thoraxbereich. Tagungsbericht des Symposiums: Neue Planungstechniken in der Strahlentherapie, Heidelberg 19. und 20. März 1993.

Strahlenther Onkol, 1993, 169, 565

Deck C, Willinger R, Subke J, Wehner HD
Severe head trauma of an infant caused by a sculpture. Part II: biomechanical reconstruction. Computer Methods in Biomechanics & Biomedical Engineering – 4 (eds.) J Middleton, ML Jones, GN Pande
Gordon and Breach Science Publisher

Donchin Y, Rivkind AI, Bar-Ziv J et al.
Utility of postmortem computed tomography in trauma victims.
J Trauma (United States), Oct 1994, 37(4), 552-6

Friedmann Z, Kugel C, Hiss J et al.
The abbreviated injury scale – A valuable tool for forensic documentation of trauma.
American Journal of Forensic Medicine and Pathology, Sep 1996, 17(3), 233-8

Geyer P
Eine einfache Vorrichtung zur Verbesserung der Reproduzierbarkeit der Patientenlagerung bei kraniospinaler Bestrahlung.
Strahlenther Onkol, 1997, 173, 23-6

Golden GS
Forensic photography: an expanding technology.
J Calif Dent Assoc, May 1996, 24(5), 50-6

Götz C
Entwicklung eines Finite-Elemente-Modells des menschlichen Schädels zur Simulation von Stößen.
Dissertation, 1998, Universität Tübingen

Gresham GA
Farbatlas der gerichtlichen Medizin.
Schattauer Verlag 1997
Ins Deutsche übertragen von H. Leithoff

Hanzlick RL
The autopsy lexicon: suggested headings for the autopsy report.
Arch Pathol Lab Med (United States), Apr 2000, 124(4), 594-603

Hauri-Bionda R, Marty W, Vonlanthen B
Modern image documentation in forensic medicine.
Arch Kriminol (Germany), Sept-Oct 1992, 190(3-4), 109-16

Hawliczek R, Theil E, Schmidt W
Zweikomponententechnik zur Herstellung von Lagerungshilfen für hochpräzise Strahlentherapie.
Strahlenther Onkol, 1989, 165, 680-2

Henham AP, Lee KA
Photography in forensic medicine.
J Audiov Media Med, Jan 1994, 17(1), 15-20

Henke W
Reproduzierbare Lagerung und Immobilisation bei Bestrahlungen an Kopf und Hals.
Med. Dissertation, 1982, Universität Würzburg

Homepage der Firma ABW, <http://www.abw-3d.de>

Homepage der Firma Medint, <http://www.medint.de>

Homepage der Firma Meili,: <http://www.meili.de>

Homepage des Institutes für Geschichte der Medizin der Universität Würzburg
<http://www.uni-wuerzburg.de/medizingeschichte/krieg.html>

Kahana T, Hiss J
Forensic radiology.
Br J Radiol, 1999, 72, 129-33

König H
Vom Trauma zur Traumatisierung – Theorie und Praxis Spurentechnischer
Rekonstruktion in der Rechtsmedizin.
Dissertation, 1998, Universität Tübingen

Kratter J
Lehrbuch der Gerichtlichen Medizin.
Verlag von Ferdinand Enke, Stuttgart (1912)

Kraus K
Photogrammetrie. Grundlagen und Standartverfahren, Vol. 1,
3rd ed., 1990, Bonn: Dümmler

Krauss TC
A discussion of “The detection and documentation of trace wound pattern by use of an
alternative light source”.
J Forensic Sci, Nov 1993, 38(6), 1255-8

Lampalzer R, Schielzeth A, Häusler G
Über physikalische Grenzen der Streifenprojektion und wie man sie umgeht.
Zweiter ABW-Workshop Optische 3D-Formerfassung, Technische Akademie Esslingen, Januar 1996

Lawrence RD

Inaccuracy of measuring wounds on autopsy photographs.

Am J Forensic Med Pathol, Mar 1985, 6(1), 17-8

Liebisch A

Maßgetreue dreidimensionale Schußkanalvermessung am photorealistisch rekonstruierten Gehirn.

Med. Dissertation, 2000, Universität Tübingen

Maresch W

Angewandte Gerichtsmedizin.

Urban und Schwarzenberg, 1983

Menke M, Hirschfeld F, Mack T, Pastyr O, Sturm V, Schlegel W

Photogrammetric accuracy measurements of head holder systems used for fractionated radiotherapy.

Int J Rad Onkol Biol Phys, 1994, 29, 1147-55

Myers JC, Okoye MI, Kiple D, et al.

Three-dimensional (3-d) imaging in post-mortem examinations: elucidation and identification of cranial and facial fractures in victims of homicide utilizing 3-D computerized imaging reconstruction techniques.

Int J Legal Med (Germany), 1999, 113(1), 33-7

Nardecchia E, Colesanti C, Gallucci M et al.

Possibilità applicative della risonanza magnetica nucleare in medicina legale.

Zacchia, 1989, 62, 105-22

Niewald M, Berberich W, Schnabel K et al.

Eine einfache Methode zur Lagerung und Fixierung der Extremitäten bei der Strahlentherapie von Weichteilsarkomen.

Strahlenther Onkol, 1990, 166, 295-6

Norwood HM, Stubbs B

Patient movements during radiotherapy.

Br J Radiol, 1984, 57, 155-8

Patscheider H, Hartmann H

Leitfaden der Gerichtsmedizin.

Verlag Hans Huber 1988

Ros P, King L, Vo P, Baer H, Staab E

Preautopsy Magnetic Resonance Imaging: Initial experience.

Mag Res Im, 1999, 8, 303-8

- Schiebler ML, Listerud J
Common artefacts encountered in thoracic magnetic resonance imaging: recognition, derivation and solutions.
Top Magn Reson Imaging, Jun 1992, 4(3), 1-17
- Schyma C, Schyma P
Video documentation in forensic practice.
Arch Kriminol (Germany), Sept-Oct 1995, 196(3-4), 93-104
- Sobotta
Atlas der Anatomie auf CD-Rom
20. Auflage, 1997
- Subke J, Wehner HD, Götz C
Matching von Realdaten auf individuelle computertomographisch gestützte Schädelmodelle.
Rechtsmedizin, 1997, 8, 13-16
- Subke J, Wehner HD, Wehner F
Wundtopographie mittels Streifenlichttopometrie.
Z. Rechtsmedizin, 1998, 8 Suppl 1, 26
- Subke J, Wehner HD, Wehner F, Szczepaniak S
Streifenlichttopometrie (SLT): a new method for the three-dimensional photorealistic forensic documentation in colour.
Forensic Sci Int, Sep 2000, 113(1-3), 289-95
- Subke J, Wehner HD, Wehner F, Willinger R, Wolf K
Severe head Trauma of an infant caused by a sculpture. Part I: Forensic documentation and model generation.
2002, In press
- Surwald C, Ward-Booth P
Initial experiences with digital 3-dimensional stereophotogrammetry imaging.
Mund Kiefer Gesichtschir, May 2000, 4(3), 183-6
- Sweeney RA, Bale R, Auberger T et al.
A simple and non-invasive vacuum mouthpiece-based head fixation system for high precision radiotherapy.
Strahlentherapie und Onkologie, Jan 2001, 177(1), 43-7
- Thali MJ, Braun M, Brüscheweiler W et al.
Matching tire tracks on the head using forensic photogrammetry.
Forensic Sci Int, Sept 2000, 113(1-3), 281-7

Thali, MJ, Yen K, Schweitzer W, Vock P, Boesch C et al.
Virtopsy, a New Imaging Horizon in Forensic Pathology:
Virtual Autopsy by Postmortem Multislice Computed Tomography (MSCT) and
Magnetic Resonance Imaging (MRI) - a Feasibility Study.
J Forensic Sci 2003 Mar; 48 (2): 386-403

Vonlanthen B, Tollinger U
Maßgetreue Sofortbilder: eine hilfreiche fotografische Darstellung makroskopischer
Befunde in der forensischen Medizin.
Referat gehalten am 25.05.1991 an der 18. Regionaltagung in Süddeutschland (Passau)
der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin

Walz FH, Wehren A, Niggi, E et al
Automatic over-all and detail photography of autopsies.
Arch Kriminol (Germany, West), May-Jun 1983, 171 (5-6), 168-72

West MH, Barsley RE
The detection and documentation of trace wound patterns by use of an alternative light
source.
J Forens Sci, 1992, 37(6), 1480-8

Wilson SL, Finney JS, Powell GE, Andrews K
Problems in magnetic resonance imaging of patients with severe brain injury and a
solution to one of them.
Brain Inj, Jan-Feb 1992, 6(1), 75-77

Wolf H
Optische 3D-Formerfassung großer Objekte.
Erster ABW-Workshop Optische 3D-Formerfassung, Technische Akademie Esslin-
gen, 20.6.1995

Wolf H, Wolf K,
Neue Hard- und Softwareentwicklungen bei ABW.
Vierter ABW-Workshop Optische 3D-Formerfassung, Technische Akademie Esslin-
gen, Januar 1997

Wood MC, Henkelmann RM
Magnetic Image artifacts from periodic motion.
Med Phys, 1985, 12, 143-51

Wullenweber R, Schneider V, Grumme T
A computer-tomographical examination of cranial bullet wounds.
Z. Rechtsmed (Germany, West), Nov 1977, 80(3), 227-46

Danksagungen

Mein Dank gilt.....

...Herrn Professor Dr. Wehner für die sehr angenehme Zusammenarbeit.

...Stefan Eckers für die Bereitstellung als „Proband“ (vgl. Abbildung 4)!

...meinem Vater für die Korrekturen und die konstruktive Kritik.

...Konstatinos Blatzonis für die Anregungen zu Kapitel 3.3.

...meinen Eltern, die mich auf vielfältige Weise unterstützt haben.

Weingarten, den 11.09.2004

Lebenslauf

Johannes Kruse	Eltern: Prof. Dr. Norbert Kruse Christel Kruse
8. Oktober 1976	Geburt in Ravensburg
1983 bis 1987	Grundschule in Schlier und Weingarten
1987 bis 1996	Gymnasium in Weingarten
21. Juni 1996	Abitur
September 1996 bis September 1997	Zivildienst
April 1998	Beginn des Studiums der Humanmedizin in Tübingen
März 2000	Physikum in Tübingen
März 2001	Erstes Staatsexamen in Tübingen
November 2001 bis Februar 2003	Wissenschaftliche Hilfskraft im Institut für Gerichtliche Medizin an der Universität Tübingen
August 2003	Zweites Staatsexamen in Tübingen
Oktober 2003 bis Sep- tember 2004	Praktisches Jahr in Ravensburg und Chur, Schweiz
November 2004	Drittes Staatsexamen