
BACHELORARBEIT

Frau
Larissa Michèle Koch

**Ableiten des Griffgeschehens
anhand sichergestellter
Spuren**

Mittweida, 2023

Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften

BACHELORARBEIT

Ableiten des Griffgeschehens anhand sichergestellter Spuren

Autor:
Frau

Larissa Michèle Koch

Studiengang:
Allgemeine und Digitale Forensik

Seminargruppe:
FO19w4-B

Erstprüfer:
Prof. Dr. rer nat. Dirk Labudde

Zweitprüfer:
B.Sc. Fabian Schmiedel

Einreichung:
Mittweida, 19.06.2023

Verteidigung/Bewertung:
Mittweida, 2023

Faculty Applied Computer Sciences &
Biosciences

BACHELORTHESIS

Reconstruction of the grip movement based on ensured traces

Author

Ms. Larissa Michèle Koch

course of studies:

General and Digital Forensic Science

seminar group:

FO19w4-B

first examiner:

Prof. Dr. rer. Nat. Dirk Labudde

second examiner:

B.Sc. Fabian Schmiedel

submission:

Mittweida, 19.06.2023

defence/ evaluation:

Mittweida, 2023

Bibliografische Beschreibung:

Koch, Larissa Michèle:

Ableiten des Griffgeschehens anhand sichergestellter Spuren. 54 Seiten, 35 Abbildungen, 5 Tabellen

Hochschule Mittweida, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften

Bachelorarbeit, 2023

Referat:

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, ob und inwiefern es möglich ist, das Griffgeschehen anhand sichergestellter Spuren digital zu rekonstruieren. Um die Frage zu beantworten, wird sich neben der Anatomie der Hand auch mit den Ansprüchen der Photogrammetrie sowie der Erstellung und Weiterverarbeitung von 3D-Modellen beschäftigt. Das Ziel besteht zum einen darin, mittels photogrammetrischer Aufnahmen, ein 3D-Modell von dem Spurenträger sowie dem Spurenverursacher zu erstellen. Die Hand soll hierbei ausgestreckt sein. Zum anderen soll mit den entstandenen Modellen der Griff wiederhergestellt werden, in dem das Handmodell in Blender bewegt werden soll. Es stellte sich heraus, dass sich die vorgestellten Methoden zur Erstellung eines Handmodells nicht eigneten, um der Fragestellung dieser Arbeit nachzugehen. Der Hauptgrund besteht darin, dass die Hand, anders als die Tasse, kein Objekt ist und somit nicht auf den Drehteller abgestellt werden kann. Anders als bei Objekten, konnten die photogrammetrischen Aufnahmen folglich ausschließlich händisch aufgenommen werden. Zudem erwiesen sich die Aufnahmen der ausgestreckten Hand als schwierig. Besondere Probleme bereitete hierbei das Stillhalten der Hand aufgrund der unnatürlichen Pose und der Dauer der Bildaufnahmen. Insgesamt dienen die Ergebnisse dieser Arbeit als Grundlage für weitere Forschungsthemen im Bereich Photogrammetrie sowie der Rekonstruktion des Griffgeschehens.

Inhalt

Inhalt I

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VI
1 Einleitung.....	1
1.1 <i>Motivation.....</i>	1
1.2 <i>Zielstellung.....</i>	2
2 Grundlagen	5
2.1 <i>Anatomie der menschlichen Hand.....</i>	5
2.1.1 <i>Knochen und Gelenke der Hand</i>	6
2.1.2 <i>Muskeln der Hand</i>	8
2.2 <i>Greifarten</i>	9
2.3 <i>Der Spurenbegriff.....</i>	9
2.4 <i>Daktyloskopie.....</i>	10
2.4.1 <i>Entstehung daktyloskopischer Spuren.....</i>	10
2.4.2 <i>Sichtbarmachung und Sicherung daktyloskopischer Spuren</i>	13
2.5 <i>Photogrammetrie.....</i>	15
2.5.1 <i>Bilddaufnahme</i>	16
2.5.2 <i>Datenverarbeitung in Meshroom</i>	18
2.6 <i>Bearbeitung der Modelle mit Blender.....</i>	20
3 Material und Methoden	21
3.1 <i>Auswahl Spureenträger und Spurenverursacher</i>	21
3.2 <i>Materialien und Versuchsaufbau</i>	24
3.3 <i>Sichtbarmachung daktyloskopischer Spuren</i>	26
3.4 <i>Photogrammetrische Aufnahmen</i>	27
3.4.1 <i>Polfilteraufnahmen von der Tasse mit mehreren Lichtquellen.....</i>	27
3.4.2 <i>Bilddaufnahmen von der Hand</i>	28
3.4.2.1 <i>Ausgestreckte Hand</i>	28
3.4.2.2 <i>Griff um Glasvase.....</i>	29
3.4.2.3 <i>Ausgestreckte Hand auf Acrylglasgestell.....</i>	29

3.4.2.4	Griff um Glasvase auf Acrylglasgestell	30
3.5	<i>Erstellung der 3D-Modelle mittels Meshroom</i>	30
3.6	<i>Bearbeiten der 3D-Modelle in Blender</i>	32
4	Ergebnisse	35
4.1	<i>Entstandene Modelle in Meshroom</i>	35
4.1.1	Tasse.....	35
4.1.2	Modelle der ausgestreckten Hand.....	36
4.1.3	Modelle der greifenden Hand	37
4.2	<i>Ergebnisse in Blender</i>	39
4.2.1	Rekonstruieren des Griffes	39
4.2.2	Vermessen der Modelle	40
5	Diskussion	42
6	Fazit und Ausblick	46
	Literatur	49
	Selbstständigkeitserklärung	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hauptbereiche der Handinnenfläche mit der a Fingerwurzel, b Daumenballen, c Kleinfingerballen [Tietze & Witthuhn, 2001, S. 3]	5
Abbildung 2: Knöcherne Unterteilung der Hand in Fingerglieder, Mittelhand und Handwurzel und deren jeweiligen Bestandteile [Deutsches Zentrum für Orthopädie, o. D.]	6
Abbildung 3: Überblick der Gelenkformen: Kugelgelenk, Eigelenk, Scharniergelenk (obere Reihe); Rad- oder Zapfengelenk, Sattelgelenk, planes Gelenk (untere Reihe). Die Pfeile zeigen die Bewegungsrichtung der Gelenke um die jeweilige Achse [Faller, 1995, S. 108]	7
Abbildung 4: Grenzfurchen der Handwurzel sowie der jeweiligen Finger [Tietze & Witthuhn, 2001, S. 14].....	12
Abbildung 5: Handflächenfurchen: Daumenballenfurche (blau), Fünffingerfurche (rot), Dreifingerfurche (gelb), Mittelfingerfurche (grün) [eigene Darstellung]	12
Abbildung 6: Falten-M aus Daumenballenfurche, Fünffingerfurche und Dreifingerfurche [Tietze & Witthuhn, 2001, S. 18].....	12
Abbildung 8: Marabufedern (links), Fehhaarpinsel (mitte), Zephir-Pinsel (rechts) [Steinert, 2010, S. 20].....	14
Abbildung 7: Magnetstab zur Sicherung mittels magnetischem Pulver [Steinert, 2010, S. 20].....	14
Abbildung 9: Auswirkung des Polfilters bei spiegelnde Oberflächen [Framos, 2018]	16
Abbildung 10: 360° - Aufnahme aus verschiedenen Blickwinkeln [Becker et al., o. D.]....	17
Abbildung 11: Belichtungs-dreieck: Zusammenspiel zwischen ISO-Wert, Belichtungszeit und Blende [Pixolum o. D.].....	18
Abbildung 12: CCTag Typ 3 als Referenzmaß für die maßstabsgetreue Datenverarbeitung, Abstand zwischen den Mittelpunkten der Kreise: 5 cm, Länge insgesamt: 10 cm [eigene Darstellung].....	18

Abbildung 13: Beispiel für das Ableiten von 3D-Koordinaten aus den entsprechenden Oberflächenpunkten [Moons et al., 2009, S. 293].....	19
Abbildung 14: Ausgewähltes Objekt: Tasse mit einer reflektierenden Oberfläche [eigene Darstellung].....	21
Abbildung 15: Darstellung der 16 Messstrecken für die Vermessung der Hand [Jain et al., 1999] mit eigener Beschriftung.....	22
Abbildung 16: Set-Up für die photogrammetrischen Aufnahmen der Tasse, a: vorheriges Set-Up, b: verändertes Set-Up mit einer weiteren Softbox hinter der mittleren Kamera [eigene Darstellung].....	25
Abbildung 17: Set-Up für die photogrammetrischen Aufnahmen der Hand [eigene Darstellung].....	26
Abbildung 18: Natürliches Greifen der Tasse mit der rechten Hand der Autorin aus verschiedenen Perspektiven [eigene Darstellung].....	26
Abbildung 19: Sichtbargemachte Handabdruckspuren mittels grünem Fluoreszenzpulvers und einem Magnetstab [eigene Darstellung]	27
Abbildung 20: Photogrammetrische Aufnahmen von dem Spurenräger aus der a Untersicht, b Frontalsicht, c Obersicht [eigene Darstellung]	28
Abbildung 21: Photogrammetrische Aufnahmen von der ausgestreckten Hand auf einem Stativ aus der a Obersicht, b Frontalsicht, c Untersicht [eigene Darstellung].....	29
Abbildung 22: Photogrammetrische Aufnahmen von dem Griff um die Glasvase auf einem Stativ aus der a Obersicht, b Frontalsicht, c Untersicht [eigene Darstellung].....	29
Abbildung 23: Photogrammetrische Aufnahmen von der ausgestreckten Hand auf dem Acrylglasgestell aus der a Obersicht, b Frontalsicht, c Untersicht [eigene Darstellung] ...	30
Abbildung 24: Photogrammetrische Aufnahmen von dem Griff um die Glasvase auf dem Acrylglasgestell als Unterlage aus der a Obersicht, b Frontalsicht, c Untersicht [eigene Darstellung].....	30
Abbildung 25: Optimierte Pipeline für die Meshroom-Version 2020.1.1 [eigene Darstellung].....	31

Abbildung 26: Einstellungen für den Abstand der CCTag Kreise auf 5 cm in der SfMTransform – Node [eigene Darstellung].....	31
Abbildung 27: Rigging des Handmodells mittels Amatures, welche entsprechend der Anatomie der Hand angeordnet werden [Jayanam, 2021a, Screenshot: 6:38 min].....	33
Abbildung 28: Entstandene Modelle von der Tasse nach dem Hinzufügen einer weiteren Lichtquelle hinter der mittleren Kamera, erkannte Bilder: 159/159 [eigene Darstellung] ..	35
Abbildung 29: Qualitätsvergleich zwischen dem Ausgangsmodell aus dem Praktikum (links) und dem Modell, welches mit einer zusätzlichen Lichtquelle erstellt wurde [eigene Darstellung].....	36
Abbildung 30: Ergebnis: Ausgestreckte Hand, welche in die Luft gehalten wurde [eigene Darstellung].....	37
Abbildung 31: Ergebnis: Ausgestreckte Hand auf dem Acrylglasgestell, erkannte Bilder: 81/164 [eigene Darstellung].....	37
Abbildung 32: Ergebnis: Greifende Hand um eine Glasvase, welche in der Luft gehalten wurde, erkannte Bilder: 92/131 [eigene Darstellung]	38
Abbildung 33: Ergebnis: Greifende Hand um eine Glasvase, welche auf dem Acrylglasgestell abgelegt wurde, erkannte Bilder: 187/190 [eigene Darstellung]	38
Abbildung 34: Vergleich der Detailgenauigkeit des Modells auf dem Handrücken (links) mit der auf der Greifseite (rechts) [eigene Darstellung].....	39
Abbildung 35: Übereinanderlegen der beiden Modelle entsprechend des Griffgeschehens in Blender [eigene Darstellung]	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vermessung der Tasse	22
Tabelle 2: Beschreibung der Messstrecken.....	23
Tabelle 3: Messungen der rechten Hand des Autos (Spurenverursacher)	23
Tabelle 4: Verwendete Materialien	24
Tabelle 5: Ergebnis: Vermessung des weiterverwendeten Modells der Tasse in Blender	40
Tabelle 6: Ergebnis: Vermessung des weiterverwendeten Handmodells in Blender.....	41

1 Einleitung

„Physikalische Beweismittel können nicht falsch sein, sie können sich selbst nicht verstellen, sie können nicht vollständig verschwinden. Nur menschliches Versagen, diese zu finden, zu studieren und zu verstehen, kann ihren Wert zunichtemachen“. [Locard, 1930] Eine gründliche Tatort- und Spurensicherung stellt somit eine große Bedeutung für die Aufklärung einer Straftat dar. Um eine möglichst realitätsnahe Rekonstruktion eines Tathergangs zu ermöglichen, ist es wichtig, dass an einem Tatort keine Informationen verloren gehen oder dazukommen. [Labudde & Spranger, 2017, S. 8] Hierbei müssen die Spuren zunächst fachgerecht gesichert und anschließend fotografisch dokumentiert werden [Labudde, 2020, VL3, Folien 33, 34]. Aus der späteren Analyse ergeben sich anschließend Informationen, die eine Theorie über einen möglichen Tathergang bestätigen oder widerlegen können. Ein unbewusstes Kontaminieren der Spuren führt zu Trugspuren. Sie stellen Fehlerquellen dar und verursachen von der Realität abweichende Ermittlungsansätze. Obwohl es hierbei einige Qualitätssicherungsmaßnahmen gibt, kann eine Kontamination während der Tatortarbeit nicht ausgeschlossen werden. [Brenneisen et al., 2011] Hierbei eignen sich moderne Aufnahmemethoden wie beispielsweise die Photogrammetrie. Sie ermöglicht eine Rekonstruktion von Tatorten oder Gegenständen in Form eines dreidimensionalen Modells. [Labudde & Spranger, 2017, S. 16] Folglich kann eine kontaminationsfreie Vermessung einer Spur oder eine Bemaßung eines Gegenstandes gewährleistet werden [Börner & Unger, 2021]. Des Weiteren können beispielsweise Lagebeziehungen von Objekten zueinander und räumliche Zusammenhänge umfangreicher und vollständiger dokumentiert werden [Labudde & Spranger, 2017, S. 16].

1.1 Motivation

Wie bereits erwähnt, stellt die Photogrammetrie eine Möglichkeit der kontaminationsfreien Analyse von Spuren dar. In dieser Arbeit soll es im weitesten Sinne um das Ableiten des Griffgeschehens gehen. Hierbei soll zunächst ein Fokus auf das Griffgeschehen und der daraus resultierenden Spur gelegt werden. Um im Folgenden das Griffgeschehen ableiten zu können, muss zunächst eine fachgerechte Spurensicherung in Form von photogrammetrischen Aufnahmen gewährleistet werden. Hierbei stellt insbesondere die Qualität der Bildaufnahmen eine Basis für eine erfolgreiche Dokumentation der Spur dar. In vorherigen Arbeiten stellt sich dies als problematisch heraus, da sich beispielsweise transparente, glänzende, reflektierende oder einfarbige Spureinträger nicht für die Photogrammetrie eignen, sodass hierbei nach Lösungen gesucht werden muss.

Ein weiterer Fokus wird auf die Rekonstruktion, also das Wiederherstellen des Griffgeschehens gelegt. Hierbei kann überprüft werden, ob die sichergestellten Spuren mit der Hand sowie mit der beschriebenen Handlung einer Person übereinstimmen.

1.2 Zielstellung

Die vorliegende Arbeit besteht aus zwei Teilen und beschäftigt sich zum einen mit der Fragestellung, ob es möglich ist, ein in der Praxis anwendbares und realitätsnahes 3D-Modell eines Spurenträgers zu erzeugen, wodurch der entsprechende Griff digital abgeleitet werden kann.

Um die Frage zu beantworten, sollen die photogrammetrischen Aufnahmen weiter verbessert werden. Ziel hierbei ist es, die Lösungsansätze für die Erstellung reflektierender Spurenträger aufzugreifen und zu optimieren, sodass es folgende Ansprüche erfüllt:

(1) Vollständigkeit des Modells

Das Modell soll vollständig sein. Das heißt, es soll keine oder wenig Löcher aufweisen, sodass die Spur im Gesamten erkannt und analysiert werden kann.

(2) Ausreichende Beleuchtung

Eine Voraussetzung, um die einzelnen Merkmale der daktyloskopischen Spur analysieren zu können, ist eine ausreichende Beleuchtung des Modells.

(3) Keine Reflektion

Reflektierende Gegenstände erweisen sich für die Photogrammetrie als schwierig, da die Reflektion der Lichtquelle auf dem Spurenträger zu einem Qualitätsverlust führen kann. Ziel ist es also, diese bei den Bildaufnahmen zu verringern.

(4) Detailgenauigkeit

Damit die Merkmale der daktyloskopischen Spur analysiert werden können und ein Vergleich mit der Hand möglich ist, müssen die Papillarlinien erkennbar sein.

Grundlage für diese Arbeit stellt das Praktikum des vorhergehenden Praxissemesters der Autorin dar, wobei die Ergebnisse eine Basis für weitere Ansätze darstellen, um die Frage zu klären, welche Methoden der Bildaufnahme sich am besten eignen, damit das Modell die genannten Ansprüche erfüllt.

Im zweiten Teil beschäftigt sich die Arbeit mit der Erstellung eines Handmodells, mit dem das Griffgeschehen digital rekonstruiert werden soll. Hierbei besteht die Aufgabe zunächst darin, ein Modell zu erzeugen, welches die Ansprüche insbesondere hinsichtlich der Voll-

ständigkeit sowie der Detailgenauigkeit erfüllt. Ziel hierbei ist, die Merkmale der Spur mit denen der Hand abzugleichen, damit der Spurenverursacher identifiziert werden kann.

Da die Hand kein Objekt, sondern ein Teil des Körpers ist, besteht die Herausforderung zunächst darin, die photogrammetrischen Aufnahmen an diese Bedingung anzupassen, sodass ein Modell erstellt werden kann, welches für eine Weiterverarbeitung geeignet ist.

2 Grundlagen

Als biometrisches Merkmal bietet der Handabdruck eine Möglichkeit, Personen bei kriminalistischen Handlungen zu identifizieren [BSI, o. D.]. Zum Verständnis der folgenden Abschnitte werden in diesem Kapitel die notwendigen Grundlagen dargelegt. Hierbei werden unter anderem die Anatomie der menschlichen Hand, der Spurenbegriff sowie die Entstehung und Sicherung daktyloskopischer Spuren erläutert. Zudem wird auf die Eigenschaften der Handinnenfläche eingegangen. Des Weiteren wird die Funktion sowie die Bedeutung der Photogrammetrie betrachtet, wobei ein Fokus auf die fotografische Dokumentation sowie auf die Datenverarbeitung gelegt wird.

2.1 Anatomie der menschlichen Hand

Um die verschiedenen Greifarten besser verstehen zu können, wird zunächst auf den Aufbau der menschlichen Hand eingegangen.

Im Allgemeinen besteht die Oberfläche der menschlichen Hand aus der Greifseite/Handinnenseite und dem Handrücken. Daktyloskopisch wird die Handinnenseite in Anbetracht der Funktionalität der Hand und der damit zusammenhängenden Spurenentstehung in zwei Bereiche gegliedert: die Finger(-fläche) und die Handfläche. Wie in Abbildung 1 zu sehen ist, unterteilt sich die Handinnenfläche hierbei in drei Hauptbereiche: Fingerwurzel, Kleinfingerballen und Daumenballen. [Tietze & Witthuhn, 2001, S. 4]

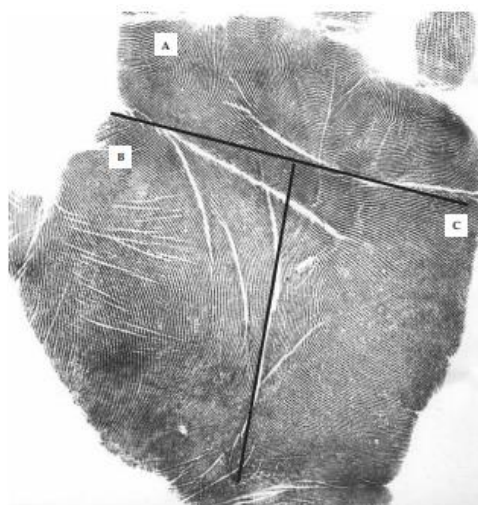


Abbildung 1: Hauptbereiche der Handinnenfläche mit der a Fingerwurzel, b Daumenballen, c Kleinfingerballen [Tietze & Witthuhn, 2001, S. 3]

Die Hand gehört zum Bewegungsapparat des Menschen. Hierbei wird zwischen dem passiven und dem aktiven Bewegungsapparat unterschieden. Der passive Bewegungsapparat beschreibt das Skelett sowie die Skelettverbindungen (Gelenke). Zu dem aktiven Bewegungsapparat gehört die quergestreifte Skelettmuskulatur. [Faller, 1995, S. 67]

2.1.1 Knochen und Gelenke der Hand

Gelenke ermöglichen im Allgemeinen Bewegungen der einzelnen Bestandteile des Rumpfes und der Extremitäten. In der Hand befinden sich 27 Knochen und 36 Gelenke, welche einen wesentlichen Bestandteil für die Funktion der Hand, das Greifen, darstellen [Deutsches Zentrum für Orthopädie, o. D.].

Die knöchernen Bereiche der Hand werden in drei Abschnitte unterteilt: die Handwurzel, die Mittelhand und die Finger [ebd.]. In Abbildung 2 werden die einzelnen Unterteilungen dargestellt.

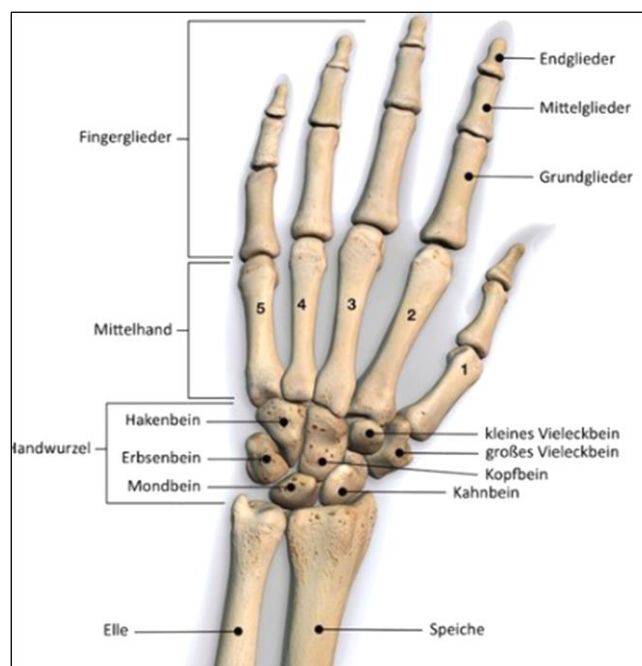


Abbildung 2: Knöcherne Unterteilung der Hand in Fingerglieder, Mittelhand und Handwurzel und deren jeweiligen Bestandteile [Deutsches Zentrum für Orthopädie, o. D.]

Die Handwurzel besteht aus acht Knochen, welche in zwei Reihen angeordnet sind. Die obere (proximale) Reihe der Handgelenkknochen verbindet die Hand mit den beiden Unterarmknochen. Diese besteht aus dem Kahnbein, Mondbein, Erbsenbein und Dreieckbein. Die Knochen der unteren (distalen) Reihe heißen Großes Vieleckbein (Trapezbein), Kleines Vieleckbein (Trapezoidbein), Kopfbein und Hakenbein. [ebd.]

Beide Handwurzelreihen besitzen jeweils ein Gelenk. Zwischen der Elle und Speiche und der proximalen Handwurzelreihe befindet sich das proximale Handwurzelgelenk, welches ein sogenanntes Eigelenk darstellt [Faller, 1995, S. 110]. Wie die folgende Abbildung 3 zeigt, besitzen Eigelenke ellipsenförmige Gelenkkörper mit einer konvexen und konkaven Gelenkfläche. Bewegungen um zwei Hauptachsen, die senkrecht aufeinander stehen, sind möglich, sodass vier Hauptbewegungen ausgeführt werden können. [ebd., S. 73] Zwischen der proximalen und der distalen Handwurzelreihe liegt das distale Handwurzelgelenk. Es besitzt einen verzahnten S-förmigen Gelenkspalt und wird auch als verzahntes Scharniergelenk bezeichnet. Es besitzt eine Bewegungsachse, welche zwei Hauptbewegungen ermöglicht. [Schiebler & Korf, 2007, S. 481] Beide Gelenke wirken bei Bewegung der Hand zusammen, allerdings erfolgt ein Großteil der Bewegungen aufgrund der Verzahnung zwischen den beiden Handwurzelreihen im proximalen Handgelenk [Faller, 1995, S. 110]

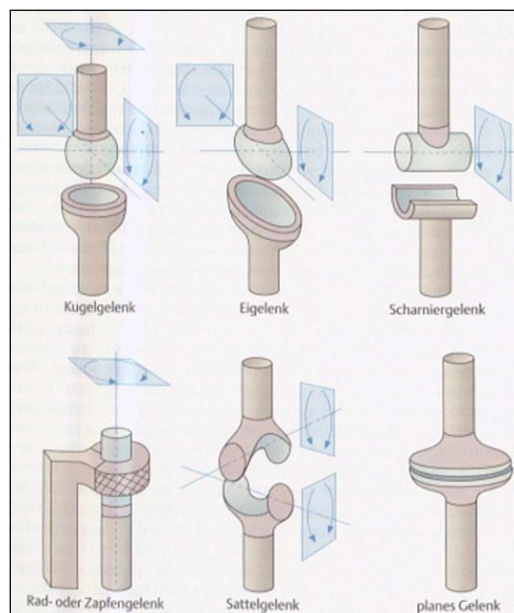


Abbildung 3: Überblick der Gelenkformen: Kugelgelenk, Eigelenk, Scharniergelenk (obere Reihe); Rad- oder Zapfengelenk, Sattelgelenk, planes Gelenk (untere Reihe). Die Pfeile zeigen die Bewegungsrichtung der Gelenke um die jeweilige Achse [Faller, 1995, S. 108]

Die Mittelhand besteht aus fünf Knochen, welche durch straffe Gelenke mit den Handwurzelknochen verbunden sind [ebd., S. 108]. Der Mittelhandknochen des Daumens bildet hierbei mit dem großen Vieleckbein das flexible Daumensattelgelenk [ebd., S. 105]. Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, besitzen Sattelgelenke jeweils eine konvex und konkav gekrümmte Gelenkfläche mit zwei senkrecht zueinanderstehenden Hauptbewegungsachsen. Somit lassen Sattelgelenke insgesamt vier Hauptbewegungen zu. Hierbei kann der Daumen herangeführt, abgespreizt, gestreckt und gebeugt werden. Außerdem kann eine Rotationsbewegung ausgeführt werden, bei welcher der Daumen den Kleinfinger berührt. [ebd., S. 110]

An die Mittelhandknochen schließen die fünf Fingerknochen, die sogenannten Phalangen an, welche jeweils aus Grund-, Mittel- und Endglied bestehen. Der Daumen besteht nur aus dem Grund- und Endglied (ebd., S. 108).

Zwischen den Phalangen befindet sich jeweils ein Gelenk, sodass der Daumen aus zwei und alle anderen Finger aus jeweils drei gleichnamigen Gelenken besteht. Am Übergang zur Mittelhand befindet sich das Fingergrundgelenk, darauf folgen das Fingermittelgelenk und das Fingerendgelenk. [Deutsches Zentrum für Orthopädie, o. D.]

Das Zusammenwirken aller Gelenke, besonders mit dem Daumensattelgelenk, lässt die Hand zu einem Greifwerkzeug werden. Im Alltag werden allerdings nur 40 % der Bewegungsmöglichkeiten ausgenutzt. [Schiebler & Korf, 2007, S. 480]

2.1.2 Muskeln der Hand

Für die Bewegung der Hand sind neben den Gelenken auch die Muskeln von wesentlicher Bedeutung. Gelenke, Muskeln, Bänder und Weichteile begrenzen das Ausmaß der Bewegung, wobei die Richtung durch die Anordnung der Muskeln zu den Bewegungsachsen der Gelenke bestimmt wird. [Faller, 1995, S. 74]

Die Muskeln, die eine Bewegung der Hand ermöglichen, befinden sich größtenteils im Unterarm. Damit unterschiedliche Bewegungen ausgeführt werden können, müssen verschiedene Muskeln zusammenarbeiten. [Lippert et al., 2017, S. 147 f.]:

Wird das Handgelenk gebeugt, wirken der speichenseitige und ellenseitige Handbeuger, der Hohlhandsehnenspanner sowie der Fingerbeuger zusammen. Für das Strecken sind der speichen- und ellenseitige Handstrecker und der Fingerstrecker verantwortlich. Das Abspreizen Richtung Elle erfolgt mit dem ellenseitigen Handstrecker und Handbeuger. Das Handgelenk kann außerdem Richtung Speiche, also zur Daumenseite abgespreizt werden, hierbei werden die jeweiligen Gegenspieler sowie der Daumenabspreizer aktiviert. Der lange und kurze Daumenabspreizer wird benötigt, wenn der Daumen vom Zeigefinger abgespreizt werden soll. Für das Anziehen des Daumens werden die Muskeln des Daumenballens und der erste rückseitige Zwischenknochenmuskel erfordert. Die Daumengelenke ermöglichen neben dem Abspreizen und Anziehen auch die Bewegung zum Kleinfinger hin, wobei die Muskeln des Daumenballens aktiviert werden. Das Rückstellen des Daumens erfolgt durch das Zusammenspiel des kurzen und langen Daumenstreckers. Das Daumengrundgelenk kann sich Beugen und Strecken. Zu den Beugern gehört hierbei der kurze und lange Daumenbeuger und zu den Streckern der kurze und lange Daumenstrecker. Der Daumenabspreizer ermöglicht das Abspreizen des Daumens, während der Daumenanzieher für das Anziehen verantwortlich ist. Für das Beugen und Strecken des Endgelenks wird ausschließlich der lange Daumenbeuger bzw. -strecker benötigt. Bei den jeweils anderen Fingergrundgelenken sind die Zwischenknochenmuskeln für das Beugen und die Fingerstrecker für das Strecken verantwortlich. Das Abspreizen erfolgt mittels hintere Zwischenknochenmuskeln und das Anziehen mit den vorderen.

Das Abspreizen des Kleinfingers erfolgt hierbei mit dem Kleinfingerabspreizer. Für die Bewegung der Fingermittelgelenke wird der oberflächliche und tiefe Fingerbeuger für das Beugen und die Zwischenmuskeln für das Strecken benötigt. Das Beugen und Strecken der Fingerendgelenke erfolgt mit den jeweiligen gleichnamigen Beugern und Streckern. [Lippert et al., 2017, S. 147 f.]

2.2 Greifarten

Bei der Greifbewegung werden zunächst die Fingerendgelenke gebeugt. Danach folgen die Mittel- und anschließend die Grundgelenke. Die Grundgelenke bestimmen hierbei die jeweilige Griffform. Die Streckung zur Neutralisierung beginnt mit den Grundgelenken und endet mit den Fingerendgelenken. Je nach Beteiligung und Stellung der Finger werden unterschiedliche Greifformen unterschieden, die je nach Literatur unterschiedlich benannt und unterteilt werden. Diese Arbeit beschränkt sich hierbei auf die Begrifflichkeiten von Zilles und Tillmann (2010). Diese unterscheiden zwischen bidigitale, tridigitale und pentadigitale Griffformen. Ersterer beinhaltet den Fein- oder Spitzgriff. Der Schreibgriff wird dem tridigitalen Griff zugeordnet. Beim Grobgriff handelt es sich um den pentadigitalen Griff, wobei die Finger und der Daumen mit den Greifpolstern der Handinnenfläche einen Gegenstand halten. [Tillmann & Zilles, 2010, S. 200]

Nachdem ein Gegenstand gegriffen wurde, hinterlässt die Hand folglich einen nicht sichtbaren Abdruck. Im forensischen Kontext stellt dieser eine Spur dar, die es ermöglicht einen Täter zu identifizieren. [Labudde & Mohaupt, 2018, S. 3 f.]

2.3 Der Spurenbegriff

Der allgemeine Spurenbegriff beschreibt eine Spur als einen materiellen Hinweis auf ein früheres Geschehen [Hermann & Saturnus, 2007, S. 8].

Im kriminalistischen Kontext stellen Spuren sichtbare oder latente materielle Veränderungen dar, welche im Zusammenhang mit einem kriminalistisch relevanten Ereignis entstehen und zu dessen Aufklärung beitragen sollen [Labudde & Spranger, 2017, S. 8]. In diesem Zusammenhang wird zwischen Spurenverursacher und Spurenräger unterschieden. Subjekte oder Objekte, die nach dem Locard'schem Prinzip eine kriminalistisch verwertbare Veränderung bewirken, werden als Spurenverursacher bezeichnet. Hierzu zählen unter anderem Menschen, Tiere, Gegenstände und die Umwelt. Unter Spurenrägern werden Orte oder Gegenstände bezeichnet, an denen Spuren hinterlassen wurden. Allerdings ist bei einer gefundenen Spur nicht davon auszugehen, dass diese auch einen Bezug zu der Straftat darstellt. [Labudde & Mohaupt, 2018, S. 3] An einem Tatort können sich neben den tatrelevanten Spuren auch Trugspuren sowie Fingierte Spuren befinden. Trugspuren stehen in keinem Zusammenhang mit einer Straftat, während Fingierte Spuren bewusst von dem Täter oder dem Opfer gelegt werden, um das Ermittlungsverfahren

zu erschweren, indem es in eine falsche Richtung gelenkt wird. [Herrmann & Saternus, 2007, S. 10] Oftmals ist der Tatbezug einer Spur nicht sofort ersichtlich [Labudde & Spranger, 2017, S. 8]. Aus diesem Grund ist es ratsam, zunächst alle an einem Tatort befindlichen Spuren unmittelbar zu sichern, da andernfalls auch tatrelevante Spuren unwiderruflich verloren gehen oder kontaminiert werden können [Labudde & Mohaupt, 2018, S. 3].

Des Weiteren lassen sich Spuren aufgrund ihrer physischen Eigenschaften in die Kategorien Materials Spuren, Formspuren, Situationsspuren und Gegenstandsspuren einteilen. Materials Spuren wie Haare, Sperma-, Blut- und Speichelspuren unterscheiden sich aufgrund ihrer stofflichen Eigenschaften. Spuren, aus denen kriminalistische Schlussfolgerungen abgeleitet werden können, werden Formspuren genannt. Darunter fallen beispielsweise Blutspritzmuster und Werkzeugabdrücke auf der Haut oder auf den Knochen. Situationsspuren geben Aufschluss über die Lagebeziehungen von Spuren oder Gegenständen und sind daher bei der Rekonstruktion von Tathergängen von großer Bedeutung. Hierzu zählen unter anderem die Stellung von Türen und die Lage von Kleidung. Gegenstandsspuren sind Gegenstände, die von dem Täter oder von Beteiligten an einem Tatort zurückgelassen werden. [Herrmann, 2007, zitiert nach Labudde & Mohaupt, 2018, S. 3]

Entscheidend für eine erfolgreiche und fachgerechte Aufklärung einer Straftat ist eine gründliche und koordinierte Tatort- sowie Spurensicherung. Hierbei sollen möglichst wenig Informationen verloren gehen oder hinzukommen. [Labudde & Spranger, 2017, S. 8]

2.4 Daktyloskopie

Die Daktyloskopie stellt eine von Wissenschaft und Rechtsprechung anerkannte Methode zur Personenidentifikation dar. Der Begriff Daktyloskopie setzt sich aus den griechischen Wörtern „Daktylos“ für Finger und „skopein“ für schauen zusammen und bedeutet „Fingerschau“. Hierbei handelt es sich um ein Verfahren zum Aufnehmen und Auswerten individueller Ausprägungen der menschlichen Papillarleisten in den Handinnen- und Fußunterseiten. Zu den daktyloskopischen Spuren gehören folglich sowohl Finger- als auch Handabdrücke. Diese sind in Ermittlungsverfahren oder vor Gericht von großer Bedeutung, da sie eine zuverlässige Identifizierung des Spurenverursachers ermöglichen können. [Herrmann & Saternus, 2007, S. 101 f.]

2.4.1 Entstehung daktyloskopischer Spuren

Bei der Entstehung von daktyloskopischen Spuren ist vor allem die Greifseite der Hand von wesentlicher Bedeutung. Während die Handinnenseite sowie die Fußsohlen eine sogenannte Leistenhaut aufweisen, besteht der restliche Körper aus einer Felderhaut. Der Unterschied besteht darin, dass die Leistenhaut zahlreiche Schweißdrüsen, jedoch keine Haare oder Talgdrüsen besitzt. [Steinert, 2010, S. 6] Die parallel verlaufenden und durch furchenartige Vertiefungen eingegrenzten Erhebungen der Leistenhaut werden als Papil-

larleisten bezeichnet [Hermann & Saternus, 2007, S. 107]. Diese stellen aufgrund ihrer von Finger zu Finger unterschiedlichen sowie individuellen Besonderheiten wie Linienunterbrechungen und Muster wie Schleifen, Bögen und Wirbel den höchsten Identifizierungswert dar [Labudde & Spranger, 2017, S. 40]. Neben der Einmaligkeit ist auch die Unveränderlichkeit eine wichtige Eigenschaft der Papillarleisten eines Menschen. Sie entstehen durch einen Zufallsprozess während des dritten bis vierten Schwangerschaftsmonat und bleiben bis nach dem Tode unveränderlich. [Labudde & Mohaupt, 2018, S. 138, 142 f.]

Unter daktyloskopischen Spuren werden die an Gegenständen hinterlassenen Abbilder von Papillarleisten verstanden [Steinert, 2010, S. 7]. Die Abdrücke, Eindrücke, Fotografien oder Zeichnungen der Papillarleisten werden als Papillarlinien bezeichnet [Hermann & Saternus, 2007, S.108]. Die am häufigsten anzutreffende daktyloskopische Spur entsteht durch die Übertragung von Ausscheidungssubstanzen der Leistenhaut. Hierbei handelt es sich um eine latente Spur, die in einem nächsten Schritt zunächst sichtbar gemacht werden muss. Ein sichtbarer Finger- oder Handabdruck entsteht beispielsweise infolge einer Abtragung fremder Substanzen wie Blut oder Farbe. Gut erkennbar sind Eindrücke entsprechend des Papillarleistenmusters in formbares Material wie frisches Fensterkitt, Staub oder Fett. [Steinert, 2010, S. 7]

Neben den Papillarlinien charakterisieren auch Unterbrechungen des Linienvlaufes eine daktyloskopische Spur. Diese sogenannten weißen Bereiche können linienförmig oder auch flächenhaft auftreten. Weiße Flächen entstehen durch einen fehlenden Kontakt der Hautoberfläche zum Spurenläger. [Tietze & Witthuhn, 2001, S. 11] Dies kann bei pentadigitalen Griffen beobachtet werden. Ein Beispiel für den pentadigitalen Griff stellt unter anderem das Greifen einer Tasse dar. In diesem Fall umgreifen alle Finger das Objekt, wobei der Daumen maximal von dem Zeigefinger abgespreizt ist [Kapandji, 2009, S. 262]. Die durch die Krümmung entstehende Hohlhand führt zu einer weißen Fläche auf dem Spurenläger [Tietze & Witthuhn, 2001, S. 4].

Linienförmige Vertiefungen der Leistenhaut werden weiße Linien genannt. Sie unterscheiden sich zwischen Furchen und Falten. [ebd., S. 13] Furchen sind stark ausgeprägte und unveränderliche Vertiefungen, dessen Grundverlaufsrichtung bei nahezu jedem Menschen ähnlich verläuft. Sie sind sogenannte Sollknickstellen, da sie in einem Zusammenhang mit den Gelenkbewegungen der Hand auftreten. Furchen, die an den Grenzen der Handinnenfläche und an dem Übergang zu anderen Körperteilen vorkommen, werden Grenzfurchen genannt. Diese werden in Abbildung 4 dargestellt. Hierbei schließt die Handwurzelfurche die Handfläche zum Unterarm hin (= proximal) ab. Sie bildet somit eine Grenze zwischen der Felderhaut des Unterarms und der Leistenhaut der Handinnenfläche. Die Daumen-,Zeigefinger-,Mittelfinger-, Ringfinger- und Kleinfingerwurzelfurche stellen eine distale Begrenzung zum entsprechenden Finger dar, wobei der Verlauf der Papillarleistenstruktur zwischen Handfläche und Finger unterbrochen wird und sich anschließend weiter fortsetzt. [ebd. S. 13-15]

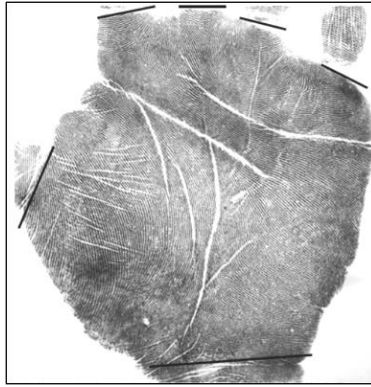


Abbildung 4: Grenzfurchen der Handwurzel sowie der jeweiligen Finger [Tietze & Witthuhn, 2001, S. 14]

Neben den Grenzfurchen gibt es auch die in Abbildung 5 dargestellten Handflächenfurchen, welche sich inmitten der Handinnenfläche befinden.

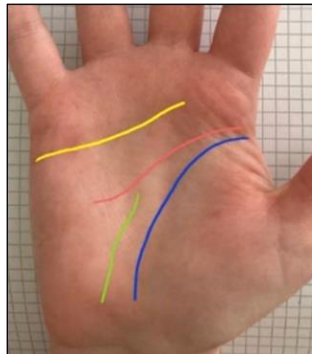


Abbildung 5: Handflächenfurchen: Daumenballenfurche (blau), Fünffingerfurche (rot), Dreifingerfurche (gelb), Mittelfingerfurche (grün) [eigene Darstellung]

Die Daumenballenfurche, die Fünffingerfurche sowie die Dreifingerfurche stellen drei Hauptfurchen dar, die in Kombination das sogenannte Falten-M ergeben (siehe Abbildung 6) [ebd. S. 14, 18].

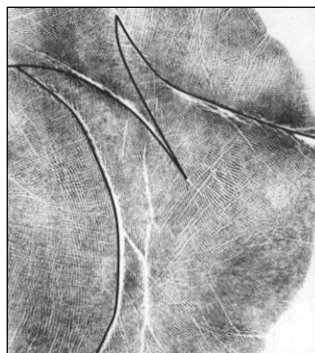


Abbildung 6: Falten-M aus Daumenballenfurche, Fünffingerfurche und Dreifingerfurche [Tietze & Witthuhn, 2001, S. 18]

Des Weiteren gibt es noch die Mittelfingerfurche (grüne Linie), welche gradlinig parallel zu der Daumenballenfurche verläuft. Einen Sonderfall stellt die Vierfingerfurche dar, weil diese bei Menschen nur selten auftritt. Hierbei verlaufen Drei- und Vierfingerfurche ineinander. [ebd. S. 19]

Weniger tief ausgeprägte Oberflächenvertiefungen der Leistenhaut werden Falten genannt. Sie werden aufgrund ihrer geringen Tiefe nicht immer abgebildet und sind daher von dem Pressdruck abhängig. Falten entstehen bereits in den jungen Jahren eines Menschen, wobei sie bei weiblichen Personen meist früher auftreten. Außerdem verlaufen sie im Gegensatz zu den Furchen nicht parallel zu den Papillarleisten. Ein weiterer Unterschied ist, dass Falten zwar in ihrer Lage, allerdings nicht in ihrer Form unveränderlich sind. Neben typischen Faltenarten, die bei allen Menschen die gleichen Merkmalen aufweisen, gibt es auch atypische Falten, mit einem unregelmäßigen Verlauf. Typische Falten sind die ausschließlich im Daumenballenbereich befindlichen Gitternetzfaltensowie die Keilfaltens, welche an der ulnaren Handkante des Kleinfingerballens auftreten. Es gibt zudem Keilfaltensähnliche Falten, die auf dem radialen Daumenballenseite zu finden sind. Die in Falten endenden schräg angeordneten Ausläufe der Furchen werden Krähenfüße genannt. Ähnlich dazu sind Schwalbenschwänze, die sich als gespaltene Falte am Ende einer Furche zeigen. Parallel zu den verlängerten Fingerachsen können Dehnungsfalten beobachtet werden. Sie verlaufen allerdings in den meisten Fällen regellos. Atypische Falten sind unregelmäßig verteilte Falten, die hauptsächlich infolge der Hautalterung entstehen. Sie befinden sich ausschließlich in Bereichen, in denen keine Gitternetzfaltensvorkommen. [ebd. S. 20-24]

Die Entstehung daktyloskopischer Spuren ist allerdings abhängig von dem Verhalten des Spurenlegers, wobei das natürliche bzw. anatomisch mögliche Greifverhalten zu berücksichtigen ist. Hierbei unterscheiden sich die Spuren unter anderem zwischen dem ausgeübten Druck, der Berührungsdauer, dem Zustand der Papillarleisten oder dem Gewicht des Gegenstandes. [Herrmann & Saturnus, 2007, S. 108]

Eine Voraussetzung der Identifizierung ist das Übereinstimmen von Merkmalen der Spur mit denen des Vergleichsmaterials [BKA, o. D].

2.4.2 Sichtbarmachung und Sicherung daktyloskopischer Spuren

Wie bereits erwähnt treten daktyloskopische Spuren meist latent auf, weshalb sie zunächst mittels chemischer oder physikalischer Hilfsmittel sichtbar gemacht werden müssen. Das Tränken, Besprühen oder Bedampfen mit Reaktionsmitteln gehört zu den chemischen Methoden, welche unter Laborbedingungen zum Einsatz kommen. Die physikalische Methode beinhaltet das pulverförmige Adhäsionsverfahren, welches vor allem an Tatorten durchgeführt wird. [Steinert, 2010, S. 16] Da die Hilfsmittel entweder auf die charakteristischen Eigenschaften des Spurenlägers oder auf die Inhaltsstoffe der Spur reagieren, richtet sich die Auswahl dieser unter anderem nach der Oberflächenbeschaffen-

heit des Spurenträgers. Hierbei wird zwischen saugenden und nicht saugenden Oberflächen unterschieden. [Frings & Rabe, 2016, S. 74] Des Weiteren muss das Material wie beispielsweise Papier, Metall oder Glas berücksichtigt werden. Damit die Spur sichtbar wird, ist es wichtig, einen Kontrast zwischen Spur und Spurenträger zu erzeugen. Daher muss auch die Farbe des Untergrundes in Betracht gezogen werden. Zudem ist es wichtig, Umstände wie Zeit, Aufwand oder Verfügbarkeit des Verfahrens mit einzubeziehen. Auch das Alter oder wetterbedingte Veränderungen der Spur müssen beachtet werden. [Steinert, 2010, S. 16]

In den meisten Fällen werden Adhäsionsmittel wie Ruß- oder Magnetpulver sowie fluoreszierende und farbige Pulver zur Sichtbarmachung daktyloskopischer Spuren eingesetzt, da sie vor allem auf glatten und nicht saugenden Oberflächen wie Glas, Kunststoff oder Porzellan angewendet werden können. Die pulverförmigen Staube reagieren mit der Feuchtigkeit des Schweißes. Daher gilt es zu beachten, dass bei älteren, und somit trockenen Spuren die Wirksamkeit des Adhäsionsverfahrens abnimmt. [Frings & Rabe, 2016, S. 75] Die Spur wird zunächst mit einem Pulver und einem feinen Pinsel in eine Richtung eingestäubt. Das aufgetragene Pulver bleibt auf der feuchten Spur besser haften als auf der Oberfläche des Spurenträgers, daher ist zu beachten, dass der Spurenträger trocken und fettfrei ist. Bei der Verwendung von farbigen Adhäsionsmitteln wird eine Farbmischung gewählt, die einen starken Kontrast zum Untergrund des Spurenträgers ergibt. [Steinert, 2010, S. 19]

Bei der Verwendung des Magnetpulvers kommt der Magnetstab zum Einsatz (siehe Abbildung 7). Geeignete Pinsel zum Einstäuben der Spur sind Marabufedern sowie der Fehhaar- und Zephir-Pinsel (siehe Abbildung 8). [ebd., S. 20]



Abbildung 8: Magnetstab zur Sicherung mittels magnetischem Pulver [Steinert, 2010, S. 20]

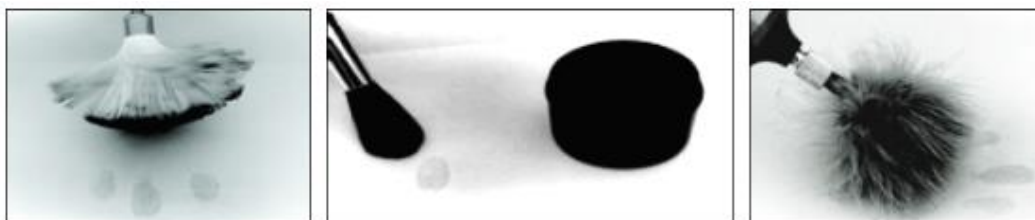


Abbildung 7: Marabufedern (links), Fehhaarpinsel (mitte), Zephir-Pinsel (rechts) [Steinert, 2010, S. 20]

Nachdem die Spur sichtbar gemacht wurde, muss sie mithilfe von daktyloskopischen Folien gesichert werden. Auch hier gilt es, einen optimalen Farbkontrast zu erzielen. Folglich werden bei dunklem Adhäsionsmittel die Spuren mittels Weißfolie und bei hellem Pulver mit Schwarzfolie abgezogen. Anschließend wird die Folie auf eine Trägerschicht oder Spurenkarte geklebt und fotografisch gesichert. [Steinert, 2010, S. 19, 24]

Neben den physikalischen Methoden zur Sichtbarmachung und Sicherung daktyloskopischer Spuren gibt es auch chemische Verfahren. Hierbei reagieren die Spurensicherungsmittel, auch Reagenzien genannt, mit einem Bestandteil des Schweißes und bilden somit eine chemische Reaktion, aus der ein sichtbares Produkt entsteht. Chemische Verfahren werden hauptsächlich bei porösen stumpfen Oberflächen wie Papier, Karton oder Holz eingesetzt. [ebd. S. 23]

2.5 Photogrammetrie

Photogrammetrie stellt die Wissenschaft der Messung von Fotografien dar, wobei die Geometrie eines Objektes oder auch seine räumliche Lage mittels verschiedener Messmethoden und Auswertverfahren abgeleitet wird [Labudde & Spranger, 2017, S. 16]. Somit sollen die bei der Fotografie verlorenen Tiefeninformationen eines Objektes zurückerlangt werden [AliceVision, o. D.]. Bei diesem Vorgang werden überlappende Fotos von beispielsweise einem Gegenstand oder einem Raum in ein dreidimensionales Modell umgewandelt [Autodesk, o. D.]. Eine Besonderheit der Photogrammetrie ist, dass nicht nur die Geometrie, sondern auch die Textur des Objektes erzeugt werden kann [Software3D, o. D.]. Aufgrund von fortschrittlichen Aufnahmegeräten sowie erweiterten Methoden der digitalen Bildverarbeitung haben photogrammetrische Verfahren in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen und stellen gegenwärtig eine Grundlage der modernen Rekonstruktion dar [Labudde & Spranger, 2017, S.16]. Eingesetzt wird die Photogrammetrie häufig von Landvermessern, Architekten, Ingenieuren und Bauunternehmern, da mittels dreidimensionaler Modelle reale Gegebenheiten geschaffen werden können, um beispielsweise topografische Karten oder Netze zu erstellen [Autodesk, o. D.]. Auch in der Forensik ist die Photogrammetrie von großer Bedeutung, da somit die Lagebeziehungen von Objekten zum Aufnahmezeitpunkt rekonstruiert werden können [Labudde & Spranger, 2017, S. 16]. Im Allgemeinen wird zwischen der Luftbild- und der Nahbereichs-Photogrammetrie unterschieden. Die Luftbild-Photogrammetrie erstellt dreidimensionale Modelle aus Aufnahmen, die mittels einer Drohne oder aus einem Flugzeug heraus erfasst werden. Bei der Nahbereichs-Photogrammetrie werden hingegen Bilder von kleinen Objekten oder Gebäuden mit einer Handkamera, einer Smartphone-Kamera oder Kameras auf einem Stativ aufgenommen, um anschließend dreidimensionale Modelle zu erzeugen. [Autodesk, o. D.]

Die Arbeitsschritte der Photogrammetrie unterteilen sich in zwei Hauptbereiche: Die Bildaufnahme und die Datenverarbeitung mittels einer Photogrammetrie Software. In dieser Arbeit wird hierfür die open Source Software Meshroom verwendet.

2.5.1 Bildaufnahme

Eine gelungene Bildaufnahme stellt eine bedeutsame Basis der Photogrammetrie dar, um ein optimales dreidimensionales Modell erstellen zu können. Hierbei muss jeder Punkt eines Objektes aus mindestens drei verschiedenen Perspektiven erkannt werden. Auf diesem Weg entsteht eine sogenannte Punktwolke im dreidimensionalen Raum, welche ein digitales Abbild des Objektes darstellt. Die zu erkennenden Punkte müssen eindeutig zuordenbar sein, wobei sie sich von anderen Punkten unterscheiden müssen. Reflektierende oder spiegelnde Oberflächen stellt hierbei eine große Herausforderung dar. [Software3D, o. D.] Die Verwendung eines Polarisationsfilters, auch Polfilter, ermöglicht eine Milderung von Reflektionen und Lichtablenkungen. Licht ist aus physikalischer Sicht eine Welle. Diese Wellen treffen nicht polarisiert in verschiedenen Winkeln und Schwingzuständen auf Objekte und Flächen auf. Infolgedessen wird das Licht reflektiert oder gestreut, sodass Informationsverluste in Form von Lichtflecken, Blitzen oder Blendungen auftreten. Der Polfilter wirkt auf die Lichtwellen, indem die Wellen einer bestimmten Ausrichtung gefiltert werden. Dies entspricht zirka 50 Prozent des einfallenden Lichtes. [Framos, 2018] In Abbildung 9 ist die Auswirkung des Polfilters auf einer spiegelnden Oberfläche dargestellt.



Abbildung 9: Auswirkung des Polfilters bei spiegelnde Oberflächen [Framos, 2018]

Eine höhere Anzahl an aufgenommenen Bildern stellt die Grundlage für ein genaues Modell dar [Sculpteo, o. D.]. Aus diesem Grund ist die Wahl der Aufnahmemethode sowie der Kameraeinstellungen entscheidend. Ein besonderes Aufnahmeverfahren stellt die Structure from Motion (SfM) -Methode dar. Diese ermöglicht eine 360°- Aufnahme aus verschiedenen Perspektiven (siehe Abbildung 10). Es entstehen mehrere sich überlappende Fotos, welche in einem nächsten Schritt als Eingabe verwendet werden, um Extraktions- und 3D-Rekonstruktionsalgorithmen verwenden zu können, sodass eine 3D-Struktur entsteht. [Becker et al., o. D.]

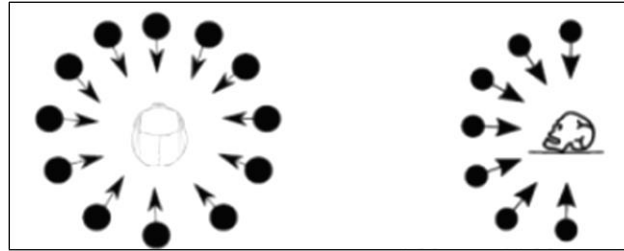


Abbildung 10: 360° - Aufnahme aus verschiedenen Blickwinkeln [Becker et al., o. D.]

Bei der Bildaufnahme müssen verschiedene Faktoren berücksichtigt werden. Unter anderem ist es wichtig, auf eine homogene Ausleuchtung zu achten. Außerdem sollten die Bilder im Vollformat aufgenommen werden. Wichtig ist auch die zu verwendende Kameraeinstellung, wobei diese manuell gewählt werden sollte. [Becker, 2019, Folie 29]

Der ISO-Wert beschreibt die Lichtempfindlichkeit des Bildsensors. Hierbei gilt: Je dunkler die Umgebung, desto höher muss der ISO-Wert gewählt werden. Jedoch haben steigende ISO-Werte einen Qualitätsverlust zur Folge und es entsteht ein sogenanntes Bildrauschen. Niedrige ISO-Werte haben hingegen eine hohe Bildqualität und sind daher zu bevorzugen. Allerdings sind die Bilder meist zu dunkel, sodass die Belichtungszeit und die Blendenöffnung entsprechend angepasst werden müssen. [Pratzner, o. D.]

Die Belichtungszeit bestimmt, wie lange die Blende geöffnet ist, sodass Licht auf den Sensor der Kamera einfallen kann. Neben der Helligkeit kann auch die Schärfe einer Aufnahme reguliert werden. Je höher die Belichtungszeit, desto heller ist das Bild. Allerdings steigt hierbei die Gefahr, verwackelte und unscharfe Bilder zu erzeugen. Um dem entgegenzuwirken kann beispielsweise mit einem Kamerastativ gearbeitet werden. Bei sich bewegenden Objekten muss die Belichtungszeit niedriger eingestellt werden. Dies hat zur Folge, dass der Verschluss der Kamera über einen kürzeren Zeitraum geöffnet ist und weniger Licht auf den Sensor fällt. Das Bild ist somit dunkler. [ebd.]

Mit der Blendenöffnung wird die Menge an Licht reguliert, die durch das Objektiv gelangt. Eine große Blendenöffnung führt dazu, dass viel Licht auf den Bildsensor fällt, sodass ein helles Bild entsteht. Zudem bestimmt die Öffnung der Blende auch die Schärfentiefe, wobei eine weiter geschlossene Blende mehr Schärfentiefe zur Folge hat. Bei Portraits wird demzufolge eine kleine Blendenzahl verwendet. [ebd.]

Die folgende Abbildung 11 veranschaulicht die Auswirkung der jeweiligen Einstellungsparameter und deren Zusammenhang

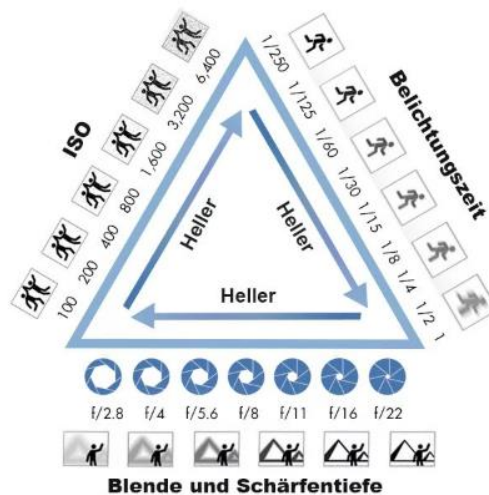


Abbildung 11: Belichtungsdreieck: Zusammenspiel zwischen ISO-Wert, Belichtungszeit und Blende [Pixolum o. D.]

Eine weitere Voraussetzung ist das Verwenden von Maßstäben und Zielmarken [Becker, 2019, Folie 29]. Diese gelten als Referenzmaß und werden neben das Objekt gelegt. Meshroom unterstützt hierbei die CCTag-Marker, die aus konzentrischen Kreisen bestehen [GitHub, o. D.]. In dieser Arbeit wird daher das CCTag Typ 3 als Referenzmaß verwendet [siehe Abbildung 12]. Die Maße der Kreise sind bekannt, sodass die abgebildeten Marker lokalisiert und die Position eines Bildes genau erfasst werden können. Somit ist es möglich, ein reales Abbild des Objektes zu erstellen.



Abbildung 12: CCTag Typ 3 als Referenzmaß für die maßstabsgetreue Datenverarbeitung, Abstand zwischen den Mittelpunkten der Kreise: 5 cm, Länge insgesamt: 10 cm [eigene Darstellung]

2.5.2 Datenverarbeitung in Meshroom

Nach der Bildaufnahme erfolgt anschließend die Bildverarbeitung. In dieser Arbeit wird hierfür die Open-Source-Software Meshroom verwendet, welche von dem photogrammetrischen Computer-Vision-Framework AliceVision angeboten wird [AliceVision, o.D.]. Sie

verwendet eine Nodebasierte Benutzeroberfläche und ist somit einfach zu bedienen [Hofmann, 2019].

Bei der Erstellung eines 3D-Objektes durchläuft Meshroom folgende Arbeitsschritte: Nachdem die aufgenommenen Fotos in die Photogrammetrie-Software importiert wurden, werden aus diesen zunächst mehrere Punkte, sogenannte Features, extrahiert. Hierbei wird häufig der SIFT (Scale-invariant-feature-transform) -Algorithmus eingesetzt. [Börner & Unger, 2021] Das Erkennen der relativen Positionen der Features zueinander ermöglicht anschließend eine Berechnung der entsprechenden Aufnahmepositionen der Kameras [Megel, o. D.]. Als nächstes erfolgt der Merkmalsabgleich (Feature-Matching), wobei Repräsentationen gleicher Merkmale in allen Bildern gefunden werden sollen. Um diesen Prozess zu beschleunigen, werden in einem vorherigen Zwischenschritt diejenigen Bilder ausgewählt, die mit hoher Wahrscheinlichkeit gleiche Bereiche des aufgenommenen Objektes darstellen. Somit kann verhindert werden, dass jedes Merkmal mit jedem anderen verglichen wird. [Börner & Unger, 2021]

Auf Basis der ermittelten Features sowie der umliegenden Kamerapositionen werden anschließend die Tiefeninformationen der einzelnen Punkte trianguliert [Megel, o. D.]. Hierbei werden aus den jeweiligen Oberflächenpunkten die entsprechenden 3D-Koordinaten abgeleitet, sodass eine Punktwolke generiert wird [Formlabs, o. D.]. Eine Voraussetzung ist, dass jeder Punkt in mindestens zwei verschiedenen Bildern sichtbar sein muss [Megel, o. D.]. Ist dies der Fall, werden die Sichtlinien von der Kamera auf den Punkt zu einer Strahlenwolke rekonstruiert, dessen Schnittpunkte die 3D-Koordinaten der jeweiligen Bildpunkte ergeben. In Abbildung 13 wird dieser Vorgang anhand eines Beispiels veranschaulicht. Daraufhin werden Lichtverhältnisse und Textur analysiert und eine Tiefenkarte (Depth Map) erzeugt. [Formlabs, o. D.]

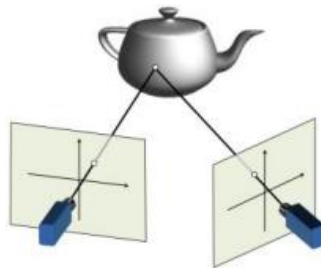


Abbildung 13: Beispiel für das Ableiten von 3D-Koordinaten aus den entsprechenden Oberflächenpunkten [Moons et al., 2009, S. 293]

Als nächstes erfolgt die Meshgenerierung. Dieser Schritt beinhaltet die Vernetzung der Punktwolke, sodass ein Flächenmodell, das sogenannte Mesh, entsteht. Dieses setzt sich aus Polygonen zusammen, welche je nach Anzahl verbundener Ecken unterschiedliche Formen annehmen können. In der Regel handelt es sich allerdings um Dreiecke. Zu-

dem wird in dem letzten Schritt eine zweidimensionale Textur für das berechnete Flächenmodell erzeugt, welche über das Flächenmodell gelegt wird. [Börner & Unger, 2021]

2.6 Bearbeitung der Modelle mit Blender

Um das 3D-Modell zu bearbeiten, kann es mittels Blender in einen 3D-Raum importiert und dort beispielsweise vermessen, verschoben oder rotiert werden [Blender.org, o. D.].

Blender ist eine Open-Source-Software, welche von Linux, MacOS und Windows unterstützt wird. Die vielseitige Auswahl an Werkzeugen bietet verschiedene Möglichkeiten der Erstellung und Bearbeitung von 3D-Modellen. Dazu gehören beispielsweise Animationen, und verschiedene Arten von Simulationen. Bei der Animation wird ein Objekt bewegt oder in seiner Form verändert. Mittels Simulationen können reale physikalische Phänomene erzeugt werden, indem statische und dynamische Effekte hinzugefügt werden. [ebd.]

Zudem kann Blender für die Videobearbeitung verwendet werden. Hierbei kann eine Kombination aus Videoschnittoperationen mit den Animationsmöglichkeiten von Blender erfolgen. [ebd.]

Weitere Möglichkeiten stellen das Rigging, das Rendern oder die Texturierung dar. Das Rigging wird oft im Zusammenspiel mit der Animation verwendet. Hierbei können dem Objekt Steuerelemente hinzugefügt werden, damit beispielsweise anatomische Bewegungen sinngemäß dargestellt werden. Rendern beschreibt das Umwandeln einer 3D-Szene in ein 2D-Bild. Bei der Texturierung kann eine 2D-Textur auf ein 3D-Objekt abgebildet werden. [ebd.]

Aufgrund des großen Spektrums an Werkzeugen und Möglichkeiten weist Blender zwar eine erhöhte technische Komplexität auf, allerdings können mittels der hochqualifizierten 3D-Architektur Aufgaben erfolgreich und schnell bewältigt werden. [ebd.]

Aus diesem Grund erfolgt die Bearbeitung der Modelle in dieser Arbeit mit Blender. In Anbetracht der Zielstellung soll hierbei das Modell des Spurenrägers mit dem Modell der Hand mittels Blender bearbeitet, zusammengeführt und verglichen werden.

3 Material und Methoden

In diesem Kapitel werden die verwendeten Materialien sowie die angewandten Methoden vorgestellt. Hierbei wird zunächst das verwendete Objekt als Spureträger sowie der Spurenverursacher vorgestellt und vermessen. Anschließend sollen die benötigten Methoden dargelegt werden, um der Fragestellung, ob sich das Griffgeschehen digital rekonstruieren lässt, nachzugehen. Hierbei beschäftigt sich der erste Teil dieser Arbeit mit der Erstellung eines 3D-Modells der Tasse bzw. des Spureträgers. Diesbezüglich wird auf die Verbesserung der photogrammetrischen Bildaufnahmen eingegangen, indem die Methoden aus dem Praktikum aufgegriffen und entsprechend der Ergebnisse angepasst werden.

Der zweite Teil beschäftigt sich mit der Erstellung eines 3D-Modells des Spureträgers bzw. der Hand. Dieses soll anschließend in Blender weiterverarbeitet und vermessen werden.

3.1 Auswahl Spureträger und Spurenverursacher

Da die Methoden und die entsprechenden Ergebnisse aus dem Praktikum die Grundlage für diese Arbeit bilden, wird die Tasse, welche in Abbildung 14 zu sehen ist, weiterhin als Spureträger verwendet.



Abbildung 14: Ausgewähltes Objekt: Tasse mit einer reflektierenden Oberfläche [eigene Darstellung]

Diese wird mit der ganzen Hand umfasst, sodass das Griffgeschehen und die daraus entstehenden Spur der Handinnenfläche analysiert und verglichen werden können. Spurenverursacher ist die Autorin, wobei die rechte Hand die Tasse umgreifen soll. Die Tasse stellt für die Photogrammetrie aufgrund ihrer reflektierenden und glatten Oberfläche eine

Schwierigkeit dar. Der Henkel besitzt, anders als die restlichen Bereiche der Tasse, keine Kontraste, sodass auch dieser ein Problem darstellt.

Die Abmessungen des Objektes können der folgenden Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Vermessung der Tasse

	28.03.22	28.03.22	29.03.22	Mittelwert	Standardabweichung
Höhe	94,89	94,79	94,60	94,76	0,1203
Durchmesser	82,22	81,29	81,90	81,80	0,3858
Höhe Henkel	74,62	76,11	76,68	75,80	0,8685
Breite Henkel	15,31	15,23	15,36	15,30	0,0535
Dicke Henkel	6,96	6,86	7,89	7,24	0,4638

Damit die Spur im späteren Verlauf mit der Hand verglichen werden kann, wird eine Vermessung der Hand vorgenommen. Hierbei liegt die Hand auf einem Papier mit Orientierungspunkten. Diese sollen dabei helfen, die einzelnen Finger so zu positionieren, dass sie in einem bestimmten Abstand zueinander liegen. Mit einem digitalen Messschieber werden insgesamt 16 Messstrecken der rechten Hand der Autorin vermessen. Die Messstrecken orientieren sich an dem Paper von Ross, Jain und Pankanti aus dem Jahr 1999 und werden in Abbildung 15 dargestellt. [Jain et al., 1999] In Tabelle 2 werden diese genauer beschrieben.

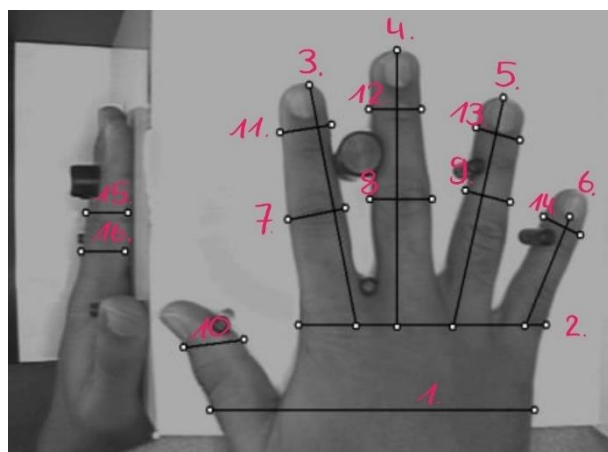


Abbildung 15: Darstellung der 16 Messstrecken für die Vermessung der Hand [Jain et al., 1999] mit eigener Beschriftung

Tabelle 2: Beschreibung der Messstrecken

Nr.	Beschreibung der Messstrecken
1	Oberhalb Daumengrundgelenk bis unterhalb Fingergrundgelenk
2	Grundgelenk (seitlich) Zeigefinger bis Grundgelenk (seitlich) Kleinfinger
3	Grundgelenk Zeigefinger bis Fingerende Zeigefinger
4	Grundgelenk Mittelfinger bis Fingerende Mittelfinger
5	Grundgelenk Ringfinger bis Fingerende Ringfinger
6	Grundgelenk Kleinfinger bis Fingerende Kleinfinger
7	Breite Mittelgelenk Zeigefinger
8	Breite Mittelgelenk Mittelfinger
9	Breite Mittelgelenk Ringfinger
10	Breite Endgelenk Daumen
11	Breite Endgelenk Zeigefinger
12	Breite Endgelenk Mittelfinger
13	Breite Endgelenk Ringfinger
14	Breite Endgelenk Kleinfinger
15	Höhe des Zeigefingers über dem Mittelgelenk
16	Höhe des Zeigefingers unter dem Mittelgelenk

Die Abmessungen der rechten Hand der Autorin können folgender Tabelle 3 entnommen werden. Die im März 2022 durchgeführten Messungen erfolgten an drei unterschiedlichen Tagen. Aus den Werten werden zudem der Mittelwert und die Standardabweichung berechnet.

Tabelle 3: Messungen der rechten Hand des Autos (Spurenverursacher)

	28.03.22	29.03.22	30.03.22	Mittelwert	Standardabweichung
1	106,90	106,20	106,78	106,63	0,31
2	73,51	77,70	77,05	76,09	1,84
3	91,35	89,84	92,25	91,15	0,99
4	100,31	100,99	100,10	100,47	0,38
5	92,05	94,39	92,81	93,08	0,97
6	76,56	76,08	76,46	76,37	0,21
7	17,75	17,09	17,33	17,39	0,27
8	16,59	16,77	16,66	16,67	0,07
9	15,24	15,37	15,94	15,52	0,30
10	25,05	22,43	22,82	23,43	1,15
11	15,22	14,82	15,54	15,19	0,29
12	15,58	14,64	15,08	15,10	0,38

13	14,44	14,21	14,16	14,27	0,12
14	13,01	13,87	13,58	13,49	0,36
15	14,10	13,90	13,95	13,98	0,08
16	15,21	16,42	16,89	16,17	0,71

3.2 Materialien und Versuchsaufbau

Für die Durchführung der Versuche werden die in Tabelle 4 aufgeführten Materialien verwendet.

Tabelle 4: Verwendete Materialien

Bezeichnung	Hersteller	Details
Samsung Galaxy S22	Samsung	Dokumentation von Spuren, Spurenläger, Spurenlverursacher und Set-Up
Digitaler Messschieber	Powerfix	Messbereich: 150 mm
Maßstab (weiß)	Lightning Powder	Länge: 15,2 cm, in Millimeterschritten
Maßstab (grau)	Lightning Powder	Länge: 15,2 cm, in Millimeterschritten
Maßstab (gelb)	Lightning Powder	Länge: 15,2 cm, in Millimeterschritten; Anzahl: 2
Magnetstab	Coloprint GmbH	Standard Magnetic Powder Applicator, No. 125L
Fluoreszenzpulver	Sirchie	Flourescent Magnetic Latent Print Powder, Farbe: grün, 30 ml
Spurensicherungsfolie (schwarz)	Coloprint GmbH	Gelatine-Spurensicherungsfolie, schwarz, Format 13x18 cm
Drehteller	Stageonair 3	M-SON GmbH
Kamera (Oben/45°Aufsicht)	Nikon D7500	Objektiv: AF-S Nikkor 18-140mm 1:3.5-5.6 ED Stativ: Manfrotto
Kamera (Mitte/0°Frontalsicht)	Nikon D7100	Objektiv: AF-P Nikkor 18-55mm 1:3.5-5.6G Stativ: Cullmann
Kamera (Unten/-45°Untersicht)	Nikon D7100	Objektiv: AF-S Nikkor 18-55mm 1:3.5-5.6G Stativ: Cullmann
Softboxen (3)	Walimex	Position 1: Aufsicht Position 2: Frontalsicht Position 3: Untersicht

Studialeuchte	NANGUANG NG-220A	Dauerlicht Flächenleuchte
Glasvase		Durchmesser: 83.86, Höhe: 255.32 leichte konkave Krümmung mittig

Für die photogrammetrischen Aufnahmen der Tasse wird ein bestimmtes Set-Up gewählt. Verwendet werden hierbei drei Digitalkameras, welche jeweils auf einem Stativ befestigt werden. Diese sind in verschiedenen Winkeln und Positionen zum Objekt gerichtet, so dass es möglich ist, dieses von unten, von oben sowie frontal zu erfassen. Das Objekt befindet sich mit dem CCTag Typ 3 (Abstand der Kreismittelpunkte: 5 cm) auf einem Acrylglasgestell, welches auf einem Stativ befestigt ist. Das Stativ wird hierbei auf den Drehteller gestellt, welcher sich während eines Aufnahmevorgangs um 360 Grad dreht.

In den späteren Aufnahmen wird mit der Open-Source-Software digiCamControl die Gesamtanzahl der Fotos (Number of Captures) sowie die Zeit zwischen dem jeweiligen Auslösen der Kameras in Sekunden (Wait time (sec)) ausgewählt. Um die für die Erstellung der 3D-Modelle erforderlichen Überlappungen zu gewährleisten, werden je Kamera 53 Fotos erstellt. Die Kameras lösen hierbei automatisch nach jeweils fünf Sekunden aus. Die Geschwindigkeit des Drehteller wird mittels dazugehörigen Software stageonair control auf die niedrigste Stufe (speed = 02) eingestellt.

Um die gleiche Ausgangssituation zu den vorherigen Modellen zu gewährleisten, und den Einfluss von Sonnenlicht zu vermeiden, werden die Fenster mit Pappe bedeckt.

Das Set-Up dieser Arbeit orientiert sich an dem des vorherigen Praktikums. Allerdings wird es verändert, in dem bei den Aufnahmen von der Tasse eine zusätzliche Softbox hinter die mittlere Kamera gestellt wird. Beide Set-Ups werden in Abbildung 16 dargestellt.



Abbildung 16: Set-Up für die photogrammetrischen Aufnahmen der Tasse, a: vorheriges Set-Up, b: verändertes Set-Up mit einer weiteren Softbox hinter der mittleren Kamera [eigene Darstellung]

Für die Handaufnahmen muss der Raum etwas freigeräumt werden. Folglich besteht das Set-Up, welches in Abbildung 17 zu sehen ist, aus dem Drehteller mit dem darauf befindlichen Stativ, zwei Lichtquellen aus der Obersicht sowie einem Unterlicht.



Abbildung 17: Set-Up für die photogrammetrischen Aufnahmen der Hand [eigene Darstellung]

3.3 Sichtbarmachung daktyloskopischer Spuren

Zuerst müssen die Spuren sichtbar gemacht werden. Hierbei wird die Tasse, entsprechend der Abbildung 18, für eine kurze Zeit angefasst.



Abbildung 18: Natürliches Greifen der Tasse mit der rechten Hand der Autorin aus verschiedenen Perspektiven [eigene Darstellung]

Anschließend werden die Spuren mit Fluoreszenzpulver und einem Magnetstab sichtbar gemacht und fotografisch dokumentiert. Die sichtbargemachte Spur ist in Abbildung 19 zu sehen.

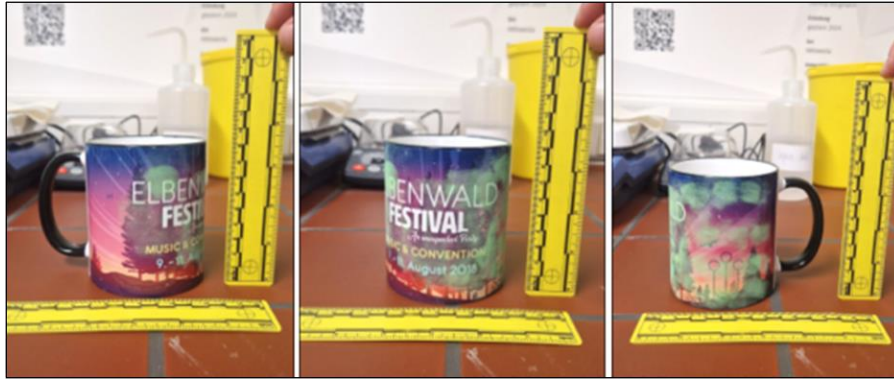


Abbildung 19: Sichtbargemachte Handabdruckspuren mittels grünem Fluoreszenzpulvers und einem Magnetstab [eigene Darstellung]

3.4 Photogrammetrische Aufnahmen

In diesem Abschnitt werden die verschiedenen Versuche zur Erfüllung der Zielstellung erläutert. Als erstes sollen hierfür die Bildaufnahmen der Tasse verbessert werden. Die Verwendung des Polfilters stellt sich in vorherigen Arbeiten als sinnvoll heraus. Allerdings sind die Aufnahmen meist zu dunkel, sodass auch die Modelle entsprechend zu dunkel erscheinen. Aus diesem Grund werden die Polfilteraufnahmen in dem vorherigen Praktikum durch Anpassung der Kameraeinstellungen aufgehellt. Diese Methode führt dazu, dass die Modelle verbessert werden können, allerdings weiterhin etwas dunkel erscheinen. Daher soll in dieser Arbeit ein weiterer Ansatz vorgestellt werden.

Zudem wird auch die Hand photogrammetrisch aufgenommen. Da die Hand kein einzelnes Objekt ist und somit nicht auf den Drehteller abgelegt werden kann, werden hier andere Aufnahmemethoden verwendet und miteinander verglichen.

3.4.1 Polfilteraufnahmen von der Tasse mit mehreren Lichtquellen

Wie bereits erwähnt stellt das Ergebnis des Praktikums eine Grundlage für diese Aufnahmemethode dar. Demzufolge werden die Kameraeinstellungen und das Vorgehen übernommen und im Folgenden kurz zusammengefasst:

Der Polfilter wird eingesetzt, um einen Informationsverlust durch Reflektionen auf der glatten Oberfläche der Tasse zu verhindern. Allerdings sind nur zwei Polfilter vorhanden, die sich ausschließlich für die Objektive AF-P Nikkor 18-55mm 1:3.5-5.6G und AF-S Nikkor 18-55mm 1:3.5-5.6G eignen. Folglich können die Polfilter nur auf die untere sowie auf die mittlere Kamera gesetzt werden, sodass ein zweiter Durchgang geplant werden muss. In dem ersten Durchgang werden die Bilder aus der Frontal- sowie der Untersicht aufgenommen. Anschließend wird bei dem zweiten Durchgang die mittlere Kamera auf das obere Stativ gesetzt. Um den Auswirkungen des Polfilters entgegenzuwirken, werden die

Kameraeinstellungen an den Polfilter angepasst. Hierbei wird der ISO-Wert jeweils auf 400, die Blendenzahl auf 8f und die Belichtungszeit auf 1/50 eingestellt.

Anders als im Praktikum, befindet sich bei dieser Aufnahme auch hinter der mittleren Kamera eine Lichtquelle, sodass das Objekt besser ausgeleuchtet wird.

Die folgende Abbildung 20 zeigen die verschiedenen Aufnahmen aus den jeweiligen Positionen.

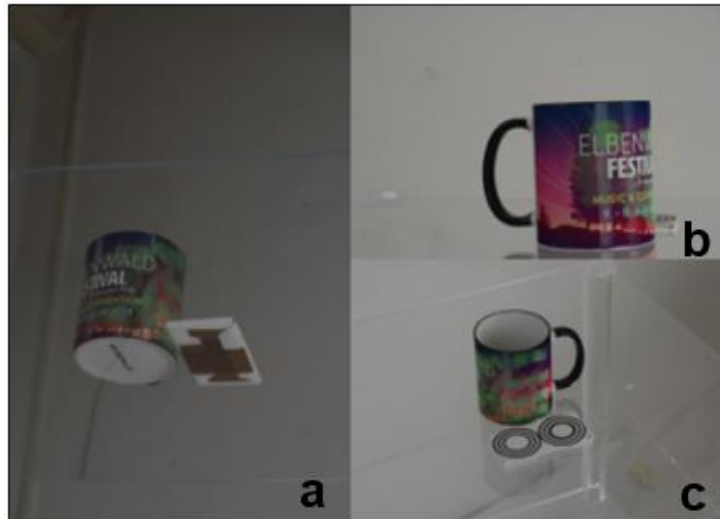


Abbildung 20: Photogrammetrische Aufnahmen von dem Spurenräger aus der a Untersicht, b Frontalsicht, c Obersicht [eigene Darstellung]

3.4.2 Bildaufnahmen von der Hand

Die Aufnahmen von der Hand können ausschließlich händisch aufgenommen werden. Dies erfolgt mit der Nikon D7100. Eine zweite Person läuft hierbei in den verschiedenen Perspektiven um die Hand herum und fotografiert diese nach kurzen Abständen, sodass die Bilder sich überlappen. Die Schwierigkeit besteht darin, dass die Aufnahmen den Ansprüchen an die Photogrammetrie gerecht werden. Die Hand muss in der Zeit ruhig gehalten werden. Außerdem wird auf eine ausreichende Beleuchtung geachtet.

Im Folgenden werden verschiedene Methoden der Bildaufnahme mit unterschiedlichen Posen der Hand, mit und ohne Hilfsmittel vorgestellt.

3.4.2.1 Ausgestreckte Hand

Die Erste Aufnahme erfolgt von der ausgestreckten Hand der Autorin. Abbildung 21 zeigt den Versuchsaufbau aus den verschiedenen Perspektiven. Hierbei wird der Arm auf ein Stativ abgelegt und somit stabilisiert. Die Finger werden gespreizt. Damit das Modell richtig skaliert ist, wird auch bei diesen Aufnahmen das CCTag Typ 3 verwendet, indem es

sichtbar mit Klebeband auf den Unterarm geklebt wird. Zudem wird die Handoberseite mit zwei farbigen Klebepunkten markiert. Diese dienen bei der Modellerstellung als zusätzliche Merkmale und Orientierungspunkte.



Abbildung 21: Photogrammetrische Aufnahmen von der ausgestreckten Hand auf einem Stativ aus der a) Obersicht, b) Frontalsicht, c) Untersicht [eigene Darstellung]

3.4.2.2 Griff um Glasvase

Damit eine stabilere Position der Finger ermöglicht werden kann, wird bei der zweiten Aufnahme eine Glasvase als Hilfsmittel verwendet (siehe Abbildung 22). Diese hat den gleichen Umfang wie die Tasse und wird somit auf gleiche Weise gegriffen. Die transparente Vase wird als Hilfsmittel verwendet, weil sie sich nicht für die Photogrammetrie eignet und diese folglich bei der Erstellung des 3D-Modells nicht mit abgebildet wird. Dementsprechend kann ein 3D-Modell erzeugt werden, welches das Griffgeschehen der Tasse darstellt. Der Unterarm wird während der Aufnahme wieder auf das Stativ abgelegt. Das CCTag befindet sich, wie im vorherigen Versuch, auf dem Handgelenk.



Abbildung 22: Photogrammetrische Aufnahmen von dem Griff um die Glasvase auf einem Stativ aus der a) Obersicht, b) Frontalsicht, c) Untersicht [eigene Darstellung]

3.4.2.3 Ausgestreckte Hand auf Acrylglasgestell

Bei der zweiten Aufnahme wird das Set-Up geändert. Der Versuchsaufbau wird in Abbildung 23 dargestellt.

Hierbei liegt die flache Hand auf dem Acrylglasgestell, welches sich auf dem Drehteller befindet. Somit kann sichergestellt werden, dass sich die Hand oder die Finger nicht mehr bewegen. Ein weiterer Vorteil ist, dass sich die Hand weiter höher befindet und somit die

Aufnahmen aus der Untersicht erleichtern. Damit die Kameraaufnahmen, vor allem aus der Unter- sowie der Frontalsicht gleichmäßiger und stabiler sind, wird bei diesen Aufnahmen ein Stativ verwendet. Die Papillarleisten der Hand weisen wenig Kontraste auf, daher werden einige Merkmale mit einem bunten Stift nachgezogen.



Abbildung 23: Photogrammetrische Aufnahmen von der ausgestreckten Hand auf dem Acrylglasgestell aus der a) Obersicht, b) Frontalsicht, c) Untersicht [eigene Darstellung]

3.4.2.4 Griff um Glasvase auf Acrylglasgestell

Bei dem letzten Versuch umgreift die Hand wieder die transparente Vase. Diese wird allerdings diesmal wie bei den vorherigen Aufnahmen, auf das Acrylglasgestell gelegt. Der Vorteil dieser Methode ist, dass die Vase abgestellt werden kann, sodass keine Kraft benötigt wird, um sie während der gesamten Aufnahme festzuhalten. Das lange Festhalten kann ein Verrutschen der Finger oder ein zu starkes Andrücken zur Folge haben. Dieser Versuch kann dem entgegenwirken, da die Vase kontrollierter und gleichmäßiger angefasst wird.

Die Aufnahmen aus der Unter- und Frontalsicht werden wieder mit dem Stativ aufgenommen und sind in Abbildung 24 dargestellt.

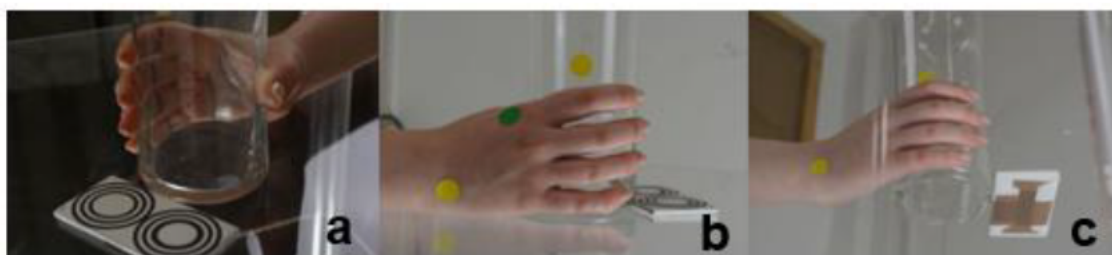


Abbildung 24: Photogrammetrische Aufnahmen von dem Griff um die Glasvase auf dem Acrylglasgestell als Unterlage aus der a) Obersicht, b) Frontalsicht, c) Untersicht [eigene Darstellung]

3.5 Erstellung der 3D-Modelle mittels Meshroom

Nachdem die verschiedenen Methoden der Bildaufnahme jeweils optimiert und angepasst wurden, erfolgt die Datenverarbeitung in Meshroom. Die Software wird von der Hochschule Mittweida auf einer virtuellen Maschine zur Verfügung gestellt. Für die Erstellung der

3D-Modelle wird eine bereits optimierte Pipeline übernommen (siehe Abbildung 25). Da die neue Meshroom-Version 2021.1.0 aufgrund einer Änderung bei der Feature-Extraction in der Regel keine Modelle erstellt, wird weiterhin die Version 2020.1.1 verwendet. Ziel hierbei ist die Erstellung von qualitativen und maßstabsgetreuen 3D-Modellen.



Abbildung 25: Optimierte Pipeline für die Meshroom-Version 2020.1.1 [eigene Darstellung]

Für die Erstellung der 3D-Modelle werden die verschiedenen Aufnahmen zunächst in jeweils ein neues File importiert und in unterschiedlichen Ordnern gespeichert. Anschließend wird in dem SfMTransform-Node der x-Wert des zweiten Markers (Marker1) auf 5 gesetzt (siehe Abbildung 26). Hierbei handelt es sich um den Abstand der beiden CCTag Kreise, welcher, je nachdem wie groß das CCTag ausgedruckt wird, entsprechend angepasst werden muss. Durch das Kennen der genauen Maße des CCTags kann Meshroom dieses als Referenzobjekt verwenden und eine entsprechende Skalierung vornehmen. Hierbei wird die in den vorherigen Schritten erstellte Punktwolke angepasst, sodass Marker0 in (0,0,0) und Marker1 in (5,0,0) liegen. Damit dies möglich ist, muss das Programm allerdings wissen, wo sich die Tags in der entstandenen Punktwolke befinden. Aus diesem Grund wird das CCTag3 in den vorherigen Nodes FeatureExtraction, FeatureMatching und StructureFromMotion extrahiert und gematched. Ansonsten werden keine weiteren Anpassungen vorgenommen.

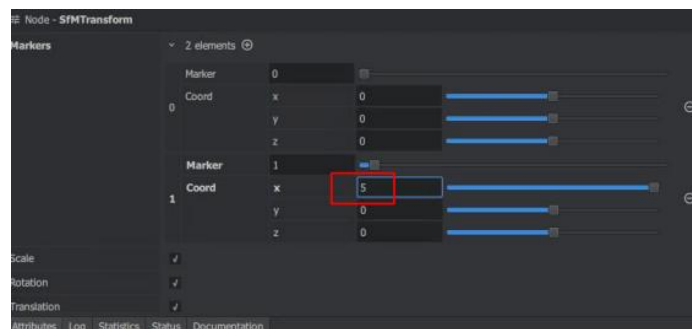


Abbildung 26: Einstellungen für den Abstand der CCTag Kreise auf 5 cm in der SfMTransform – Node [eigene Darstellung]

In einem nächsten Schritt werden die nicht zum Modell gehörigen Artefakte mit der Verarbeitungssoftware MeshLab entfernt.

3.6 Bearbeiten der 3D-Modelle in Blender

Nachdem die Modelle erstellt werden, sollen diese in Blender weiterverarbeitet werden.

Als erstes muss überprüft werden, ob alle Modelle richtig skaliert sind. Das Vermessen der Modelle erfolgt mithilfe des Messwerkzeuges in Blender. Aufgrund des CCTags, welches bei allen Aufnahmen verwendet wird und den jeweils gleichen Einstellungen bei Meshroom, müssten alle Modelle ihrer realen Größe entsprechen. Ist dies jedoch nicht der Fall, ist es möglich, die Modelle händisch zu skalieren. Hierbei kann sich an dem CCTag orientiert werden. Dieses besitzt eine Länge von 10cm. Mit der Verarbeitungssoftware MeshLab kann unter *Transform: Scale, Normalize* die Skalierung entsprechend angepasst werden. Hierfür wird ein Skalierungsfaktor berechnet, der sich aus dem Quotient der Maße des realen Objektes und der Maße des Modells ergibt.

Damit das Griffgeschehen rekonstruiert werden kann, soll das Modell der ausgestreckten Hand um das Modell der Tasse gelegt werden. Die Finger werden hierbei auf den entsprechenden Bereich der Spur gelegt, sodass am Ende ein Modell von einer greifenden Hand erzeugt wird, die den Griff darstellt. Zudem sollen die Größenverhältnisse und Merkmale der Hand mit denen der Spur abgeglichen werden, damit der Spurenverursacher identifiziert werden kann. Voraussetzung hierbei ist, dass die jeweiligen Modelle die Ansprüche erfüllen, die in der Zielstellung genannt werden. Folglich müssen die Modelle vollständig, detailgenau und ausreichend beleuchtet sein. Außerdem sollen keine Informationen durch Reflektion verloren gehen. Die Vollständigkeit der Modelle bezieht sich vor allem auf die Bereiche der Hand, die auch bei der Spur auf der Tasse zu sehen sind.

Sind alle Bedingungen erfüllt, kann das Modell des Griffes in Blender erstellt werden.

Damit das ausgestreckte Modell der Hand beweglich wird, muss es geriggt werden. Hierfür müssen in Blender einige Arbeitsschritte vorgenommen werden. Bei dem folgenden Vorgehen wird sich an zwei Video Tutorials orientiert welche jeweils angegeben sind.

Zuerst muss das Modell in Blender importiert und ausgerichtet werden. Im Edit Mode wird anschließend das Innere der Hand mit Armatures versehen, die der Anatomie entsprechend einzeln skaliert und angeordnet werden. Abbildung 27 veranschaulicht die Idee des Vorgehens. Die Armatures repräsentieren hierbei die Knochen und die jeweiligen Gelenke. Am Handgelenk befinden sich folglich zwei Glieder, zwischen denen das Handwurzelgelenk erstellt werden soll. Wichtig für den Griff der Tasse sind insbesondere die Grund-, Mittel- und Endgelenke der jeweiligen Finger. Aus diesem Grund besitzen diese jeweils drei Armatures. Auch der Daumen besteht aus drei Teilen. Diese stellen das Grund- und Endglied mit den jeweiligen Gelenken sowie den Mittelhandknochen mit dem Sattelgelenk dar. Bei der Positionierung kann sich zudem an den Hautfalten der Finger orientiert werden. [Jayanam, 2021a]

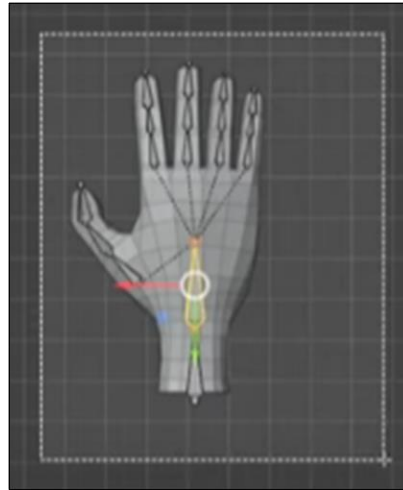


Abbildung 27: Rigging des Handmodells mittels Amatures, welche entsprechend der Anatomie der Hand angeordnet werden [Jayanam, 2021a, Screenshot: 6:38 min]

Als nächstes muss die Bewegungsabfolge der Finger festgelegt werden. Hierzu werden die Fingergrundgelenke als Parent-Knochen festgelegt. Wird dieser bewegt, führt dies dazu, dass die anderen Fingerglieder, die Child-Knochen, sich entsprechend mitbewegen. Im *Object Mode* werden die Amatures anschließend mit dem Mesh der Hand zusammengefügt, sodass beide gemeinsam in Abhängigkeit bewegt werden können. Dieses sogenannte parenting erfolgt unter *Set Parent*. Damit die Finger sich der Realität entsprechend mit verformen, wird die Option *With Automatic Weights* ausgewählt. [Jayanam, 2021a] Die Gewichte werden automatisch an die jeweiligen Gelenke angebracht. Allerdings müssen diese in einem nächsten Schritt verbessert werden, da sich das Mesh bei Bewegung des Grundgelenks unnatürlich verformt. Im *Weight Paint Mode* kann dieses Problem korrigiert werden, indem der entsprechende Knochen ausgewählt und das *Weight* auf null gesetzt wird. Anschließend werden die betroffenen Bereiche mit dunkelblauer Farbe übermalt. Der Einfluss der Gewichtung auf das Mesh wird somit sehr geringgehalten, sodass sich die Hand im Bereich des Grundgelenks realistisch bewegen lässt. [Jayanam, 2021b]

Für eine natürlichere Greifbewegung soll im letzten Schritt das Grundglied der jeweiligen Finger rotiert werden. Wie bereits erwähnt stellt dieser den Parent-Knochen dar. Die Child-Knochen sollen sich entsprechend mitbewegen. Dafür wird zunächst das Mittelglied und dann das Endglied ausgewählt. Anschließend werden unter *Copy Rotation* die Einstellungen für den *Target* und den *Owner* jeweils auf *Local Space* verändert. Daraufhin wird erst das Grund- und dann das Endglied ausgewählt und dieselbe Einstellung vorgenommen. Dieser Vorgang wird für jeden Finger wiederholt. [ebd.]

Ist das Rigging erfolgreich, kann im letzten Schritt verglichen werden, ob der in Blender rekonstruierte Griff mit dem Griff übereinstimmt, welcher photogrammetrisch mithilfe der Glasvase erstellt wird. Da die Glasvase den gleichen Umfang hat wie die Tasse, soll mit dieser Methode das Griffgeschehen der Tasse dargestellt werden. Dies muss allerdings

zunächst bestätigt werden. Daher soll das Modell der greifenden Hand über das Modell der Tasse gelegt werden. Anschließend sollen die Merkmale der Hand und die der Spur sowie die Größenverhältnisse miteinander abgeglichen werden. Voraussetzung ist hierbei, dass die oben genannten Ansprüche an das Modell erfüllt sind. Es soll somit als Referenzmodell dienen und zeigen, ob oder inwieweit es möglich ist, den Griff digital in Blender zu rekonstruieren.

4 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der erläuterten Methoden dargestellt. Hierbei werden zunächst die entstandenen Modelle von der Tasse sowie der Hand vorgestellt. Außerdem werden die Ergebnisse zur Modellweiterverarbeitung und -vermessung in Blender dargelegt.

4.1 Entstandene Modelle in Meshroom

In diesem Abschnitt sollen die entstandenen Modelle von der Tasse sowie der Hand gezeigt werden. Hierbei wird anhand der aufgezeigten Ansprüche an ein Modell überprüft, ob es sich für die Weiterverarbeitung in Blender eignet, sodass die Zielstellung dieser Arbeit erfüllt werden kann.

In den folgenden Abschnitten soll zunächst das Modell der Tasse vorgestellt werden, bei der insbesondere die Ausleuchtung des Modells betrachtet wird. Anschließend werden die entstandenen Modelle der vier verschiedenen Aufnahmemethoden von der Hand gezeigt.

4.1.1 Tasse

Das durch Hinzufügen einer weiteren Lichtquelle veränderte Set-Up soll das Objekt besser ausleuchten, sodass das Modell entsprechend heller ist. Die folgende Abbildung 28 stellt das Ergebnis dieser Aufnahmemethode dar.

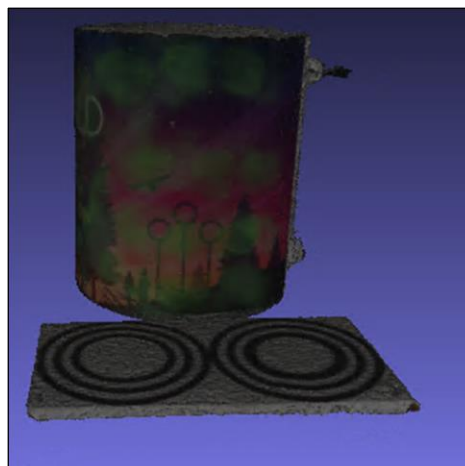


Abbildung 28: Entstandene Modelle von der Tasse nach dem Hinzufügen einer weiteren Lichtquelle hinter der mittleren Kamera, erkannte Bilder: 159/159 [eigene Darstellung]

In Anbetracht der Zielstellung dieses Modells fällt insgesamt auf, dass das Modell hinsichtlich der Helligkeit kein besseres Ergebnis erzielt als das Ausgangsmodell. In der folgenden Abbildung 29 wird ein Vergleich beider Modelle dargestellt. Außerdem können die Papillarlinien nur sehr schwach erkannt werden, sodass auch das Kriterium der Detailgenauigkeit nicht erfüllt ist. Aus diesem Grund kann das Modell nicht für das Vergleichen der Merkmale in Blender verwendet werden. Wie bei den vorherigen Modellen fehlt weiterhin der Henkel. Ansonsten weist das Modell wenig Löcher auf und ist somit vollständig, sodass die Spur im Gesamten erkennbar ist. Zudem zeigt sich keine Reflektion auf der Tasche.

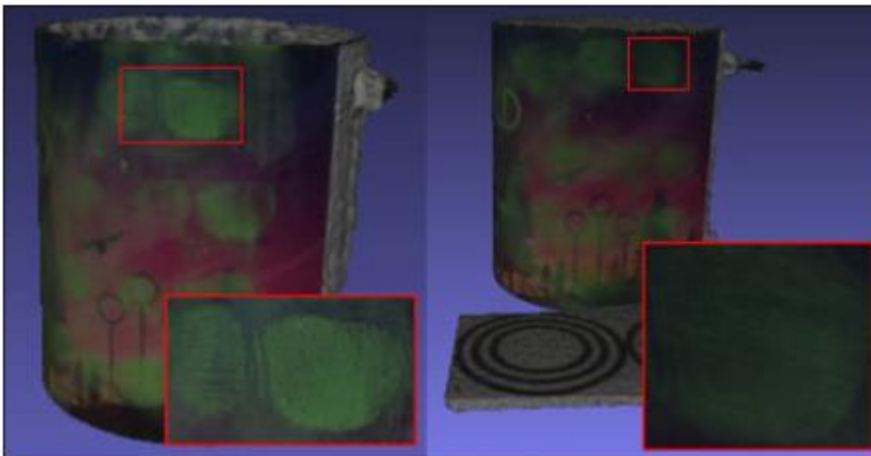


Abbildung 29: Qualitätsvergleich zwischen dem Ausgangsmodell aus dem Praktikum (links) und dem Modell, welches mit einer zusätzlichen Lichtquelle erstellt wurde [eigene Darstellung]

Da die Methode keine Verbesserung erreicht hat und das Ausgangsmodell weiterhin das beste Ergebnis, vor allem in Bezug auf die Detailgenauigkeit darstellt, wird dieses für die Weiterverarbeitung in Blender verwendet.

4.1.2 Modelle der ausgestreckten Hand

Bei der ersten Aufnahme wird der Arm mit der ausgestreckten Hand auf ein Stativ abgelegt und ohne weitere Hilfsmittel händisch fotografiert. Hierbei kann kein Modell von der Hand erstellt werden, sodass nicht weiter auf die Kriterien eingegangen wird. Die Abbildung 30 zeigt das Ergebnis dieser Aufnahmemethode.



Abbildung 30: Ergebnis: Ausgestreckte Hand, welche in die Luft gehalten wurde [eigene Darstellung]

Um die Aufnahme zu verbessern, wird anschließend das Acrylglasgestell auf dem Drehteller zur Stabilisierung der Hand verwendet. Das daraus entstehende Modell zeigt verglichen zu dem vorherigen Ergebnis eine Verbesserung und wird in Abbildung 31 veranschaulicht.

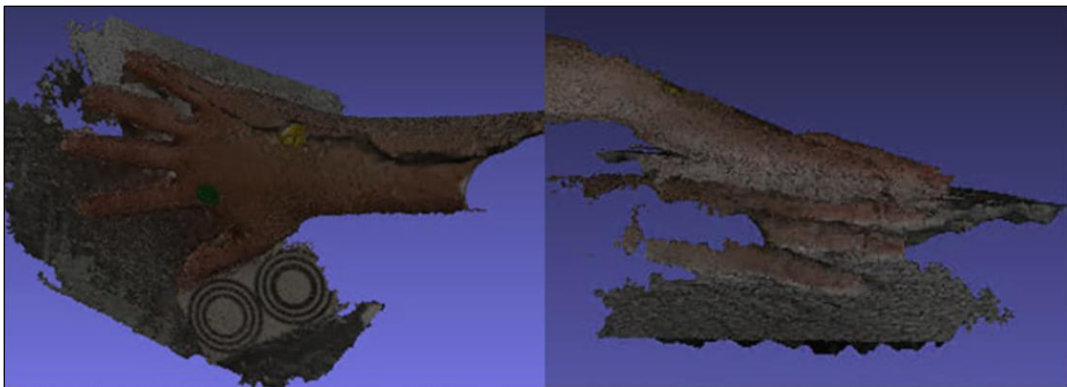


Abbildung 31: Ergebnis: Ausgestreckte Hand auf dem Acrylglasgestell, erkannte Bilder: 81/164 [eigene Darstellung]

Das Modell ist etwas dunkel und weist einige Löcher sowie Unebenheiten auf der Oberfläche auf. Folglich können die Papillarleisten der Hand nicht erkannt und das Modell somit nicht für die Weiterverarbeitung verwendet werden. Bei der Untersicht fällt auf, dass die Hand mit vielen Fragmenten verschmolzen ist. Zudem ist bei der Sicht von oben eine Dopplung des Modells zu erkennen. Des Weiteren wird das Modell in Meshroom nicht richtig skaliert, sodass es nicht der realen Größe entspricht und händisch angepasst werden muss.

4.1.3 Modelle der greifenden Hand

Das folgende Modell in Abbildung 32 zeigt das Ergebnis der Aufnahme, die mithilfe einer Glasvase erstellt wird. Die Glasvase ist transparent und wird somit nicht erstellt, somit kann das Modell der Hand in der entsprechende Greifform erstellt werden, die auch bei

der Tasse eingenommen wird. Die Skalierung muss wie bei dem vorherigen Modell händisch vorgenommen werden, damit es der realen Größe entspricht.

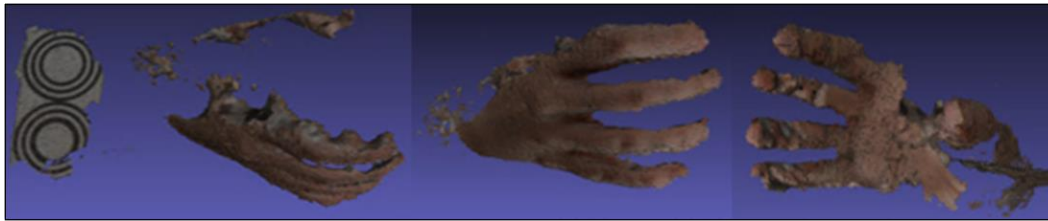


Abbildung 32: Ergebnis: Greifende Hand um eine Glasvase, welche in der Luft gehalten wurde, erkannte Bilder: 92/131 [eigene Darstellung]

Das Modell ist etwas dunkel und weist viele Löcher insbesondere im Bereich des Daumens auf, sodass der Griff nicht vollständig erkannt wird. Bei den anderen Fingern sind nur wenige Löcher zu erkennen, dennoch sind sie nur grob dargestellt. Zudem ist die Oberfläche der Haut sehr uneben, sodass die Papillarlinien nicht erkannt werden können. Aus diesen Gründen eignet sich das Modell nicht für die Weiterverarbeitung in Blender.

Wie bei der ausgestreckten Hand wird anschließend das Acrylglasgestell auf dem Drehteller als Unterlage verwendet, um die Glasvase darauf abzustellen und Bewegungen zu reduzieren. Das daraus entstehende Modell in Abbildung 33 zeigt das Ergebnis dieser Aufnahmemethode.



Abbildung 33: Ergebnis: Greifende Hand um eine Glasvase, welche auf dem Acrylglasgestell abgelegt wurde, erkannte Bilder: 187/190 [eigene Darstellung]

Das Modell weist wenig Löcher auf und zeigt hinsichtlich der Vollständigkeit eine deutliche Verbesserung. Wie das vorherige Modell ist es etwas dunkel und muss händisch skaliert werden. Zudem ist die Oberfläche der Haut, insbesondere auf der Unterseite weiterhin uneben. Allerdings können auf dem Handrücken einzelne Merkmale wie Fingerfalten und ein Leberfleck erkannt werden. Auf Innenseite der Hand können ausschließlich die farblich nachgemalten Handflächenfurchen erkannt werden. Weitere Details, wie Papillarleisten, sind aufgrund der groben Oberfläche nicht zu sehen. Abbildung 34 zeigt einen Vergleich zwischen der Detailgenauigkeit des Modells auf der Greifseite und dem Handrücken.

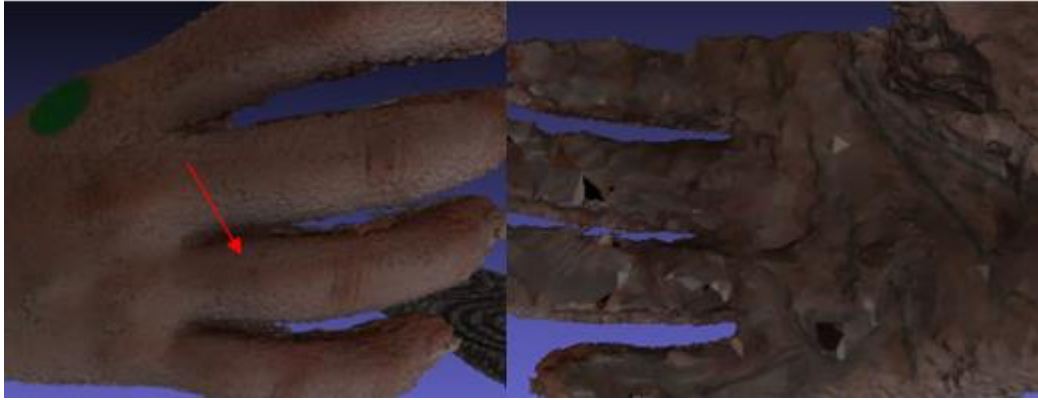


Abbildung 34: Vergleich der Detailgenauigkeit des Modells auf dem Handrücken (links) mit der auf der Greifseite (rechts) [eigene Darstellung]

Die in der Zielstellung vorgestellten Kriterien werden in keinem Modell erfüllt. Allerdings zeigt das vorherige Modell der greifenden Hand das beste Ergebnis und wird als einziges Modell für die Weiterverarbeitung in Blender verwendet.

4.2 Ergebnisse in Blender

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse in Blender vorgestellt, in dem auf das Rekonstruieren des Griffgeschehens sowie auf das Vermessen der Modelle des Spurenträgers und Spurenverursachers eingegangen wird.

4.2.1 Rekonstruieren des Griffes

Da kein Modell erstellt werden konnte, welches die ausgestreckte Hand mit ihren Details abbildet, kann das beschriebene Rigging nicht umgesetzt werden. Folglich ist es nicht möglich, den Griff in Blender zu rekonstruieren.

Das in Meshroom erstellte Handmodell des Griffes kann ausschließlich grob über das Modell gelegt werden. Allerdings kann hierbei kein Vergleich zwischen den Merkmalen der Spur und die der Hand durchgeführt werden, da das Modell insbesondere auf der Greifseite starke Unebenheiten aufweist. Außerdem kann aufgrund der ungenauen Darstellung der Finger nicht bestätigt werden, dass das Griffgeschehen der Tasse dargestellt wird. Abbildung 35 zeigt die übereinandergelegten Modelle aus den verschiedenen Perspektiven.

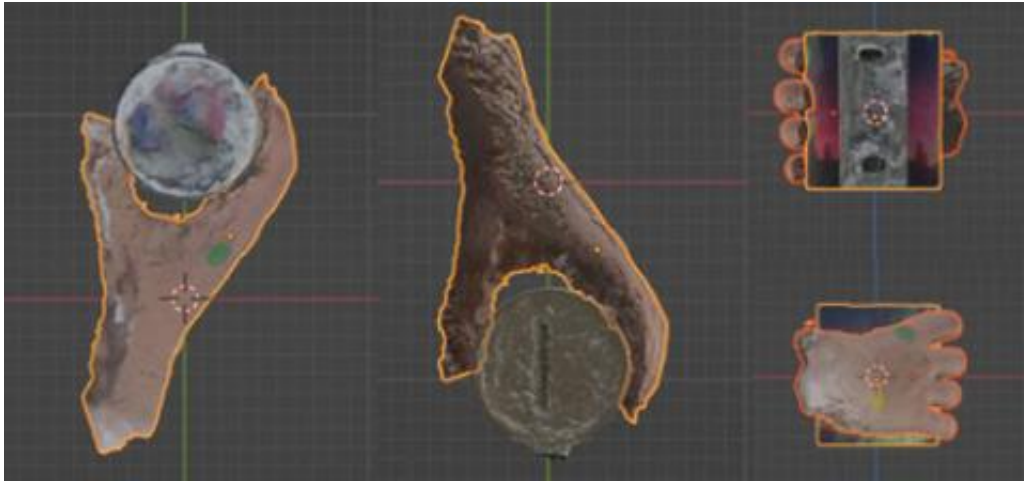


Abbildung 35: Übereinanderlegen der beiden Modelle entsprechend des Griffgeschehens in Blender [eigene Darstellung]

4.2.2 Vermessen der Modelle

In den folgenden Tabellen 5 und 6 werden die Ergebnisse der Messungen von der Tasse und der Hand dargestellt. Hierbei handelt es sich um drei verschiedene Messungen an unterschiedlichen Tagen, aus denen der Mittelwert und die Standardabweichung berechnet wird.

Tabelle 5: Ergebnis: Vermessung des weiterverwendeten Modells der Tasse in Blender

	10.06.22	11.06.22	12.06.22	Mittelwert	Standardabweichung
Höhe	94,03	94,12	94,54	94,23	0,2223
Durchmesser	80,37	81,13	80,95	80,82	0,3243
Höhe Henkel	/	/	/	/	/
Breite Henkel	/	/	/	/	/
Dicke Henkel	/	/	/	/	/

Zu dem Henkel können bei der Modellvermessung keine Angaben gemacht werden, da das Modell an der Stelle nicht vollständig ist, sodass der Henkel fehlt.

Die in Tabelle 6 gezeigten Messungen der Hand orientieren sich an die Messstrecken, mit denen auch die reale Hand der Autorin vermessen wird. Allerdings stellt die grobe Oberfläche im Bereich der Finger ein Problem bezüglich der Vermessung der Fingerdicke dar. Außerdem können nicht alle Messstrecken berücksichtigt werden, da sich das Handmodell in der Greifbewegung befindet.

Tabelle 6: Ergebnis: Vermessung des weiterverwendeten Handmodells in Blender

	10.06.23	11.06.23	12.06.23	Mittelwert	Standardabweichung
1	/	/	/	/	/
2	75,74	75,06	75,18	75,33	0,2963
3	/	/	/	/	/
4	/	/	/	/	/
5	/	/	/	/	/
6	/	/	/	/	/
7	17,48	18,53	18,95	18,32	0,6182
8	17,23	18,68	18,79	18,23	0,7109
9	15,85	15,90	15,45	15,73	0,2014
10	/	/	/	/	/
11	16,67	16,69	16,74	16,70	0,0294
12	16,99	17,12	17,20	17,10	0,0865
13	15,61	16,21	15,87	15,90	0,2457
14	14,55	13,87	13,58	14,00	0,4065
15	/	/	/	/	/
16	/	/	/	/	/

5 Diskussion

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird untersucht, ob sich das Griffgeschehen anhand der hinterbliebenen Spuren auf einem Objekt digital rekonstruieren lässt. In Anbetracht dessen werden 3D-Modelle des Spurenträgers und -verursachers erstellt.

Eine Grundlage für die Erstellung der 3D-Modelle des Spurenträgers stellt das vorherige Praktikum der Autorin dar. Bei dem Objekt handelt es sich um eine Tasse, welche aufgrund der glatten und reflektierenden Oberfläche eine Schwierigkeit für die Photogrammetrie aufweist. In der vorherigen Arbeit wurde der Polfilter eingesetzt, um die Reflektion und ein damit einhergehenden Informationsverlust zu verringern. Außerdem wurden die Kameraeinstellungen an die Auswirkungen des Polfilters angepasst, sodass die Modelle ausreichend beleuchtet sind. Da die vorherigen Modelle dennoch zu dunkel waren, werden die Aufnahmen in dieser Arbeit mittels einer zusätzlichen Lichtquelle aufgehellt. Insgesamt kann mit dieser Methode nicht das gewünschte Ergebnis erzielt werden, da das Modell verglichen mit dem Ausgangsmodell schlechter beleuchtet ist. Aus den Ergebnissen dieser und der vorherigen Arbeit lässt sich schlussfolgern, dass besonders die Beleuchtung ein wesentliches Problem darstellt. Auffällig hierbei ist, dass die Modelle meistens dunkler werden als die Bildaufnahmen.

Außerdem stellt es hinsichtlich der Detailgenauigkeit eine Verschlechterung dar, sodass die Papillarlinien nicht gut zu erkennen sind und die Details unscharf dargestellt werden. Grund hierfür kann ein Informationsverlust infolge der Reflektion sein, welche durch das veränderte Set-Up mit einer weiteren Lichtquelle verstärkt wird. Der Informationsverlust bezieht sich an der Stelle auf eine verschwommene Darstellung der Papillarlinien. Hinsichtlich der Zielstellung ist das Modell folglich unbrauchbar, sodass das Ausgangsmodell für die weitere Verarbeitung in Blender verwendet wird.

Damit das Griffgeschehen rekonstruiert werden kann, wird sich in dem zweiten Teil dieser Arbeit mit der Erstellung eines 3D-Modells des Spurenträgers beschäftigt. Hierbei soll mittels Photogrammetrie ein Modell der ausgestreckten Hand der Autorin erstellt werden, welche anschließend in Blender beweglich gemacht werden soll. Die Aufnahmen erfolgen händisch, da die Hand nicht wie die Tasse auf dem Drehteller abgestellt werden kann. Stattdessen wird diese mit gespreizten Fingern nach vorne ausgestreckt, wobei der Arm mit einem Kamerastativ gestützt wird. Anhand des Ergebnisses lässt sich ableiten, dass sich diese Aufnahmemethode nicht für die Erstellung des 3D-Modells eignet. Grund hierfür kann eine zu starke Bewegung der Hand bzw. der Finger sein. Da die Aufnahmen händisch erstellt werden, dauern die Aufnahmen entsprechend lange, sodass es schwer ist diese unnatürliche Position der Finger zu halten, ohne sie zu bewegen. Das Stativ

kann zu der Stabilisierung des Armes beitragen. Allerdings reicht es nicht aus, um die Bewegung zu verhindern.

Die Aufnahmen werden aus drei Perspektiven aufgenommen, wobei insbesondere die Aufnahmen aus der Untersicht eine Schwierigkeit darstellen. Im Gesamten kann keine gleichmäßige Kameraführung gewährleistet werden. Während sich der Drehteller bei den Aufnahmen der Tasse gleichmäßig dreht und die Kameras in gleichmäßigen Abständen von selbst auslösen, muss bei den händischen Aufnahmen darauf geachtet werden, dass die Bilder in kleinen Abständen zueinander aufgenommen werden, damit diese sich überschneiden. Außerdem müssen die Bilder auf der gleichen Höhe der jeweiligen Perspektive aufgenommen werden.

Zur Stabilisierung der Hand wird diese bei der nächsten Aufnahme auf das Acrylglasgestell mit der Handfläche nach unten abgelegt. Diese natürliche Position kann länger gehalten werden, sodass Bewegung reduziert wird. Damit die Kameraführung bei den Aufnahmen gleichmäßiger ist, wird bei der Frontal- und Untersicht eine Stativ als Hilfsmittel verwendet. Das Ergebnis zeigt eine Verbesserung des Modells, sodass ein Modell von der Hand erstellt werden kann. Allerdings verschmilzt die Hand hierbei mit vielen weiteren Fragmenten, sodass die Unterseite der Hand nicht erkannt wird. Bei den Fragmenten handelt es sich insbesondere um das Acrylglasgestell, welches als Unterlage der Hand verwendet wird. Dies verhindert, dass die Unterseite der Hand zu sehen ist. Die Dopplung der Hand lässt darauf schließen, dass bei den Aufnahmen eine ungewollte Bewegung der Hand oder eine ungenaue Kameraführung stattgefunden hat. Außerdem ist das Modell etwas dunkel, sodass bei den Aufnahmen auf eine bessere Ausleuchtung geachtet werden muss. Da die Reflektion auf der Haut nicht so stark ist wie beispielsweise auf der Tasse, können hierbei auch mehrere Lichtquellen eingesetzt werden. Hierbei muss allerdings beachtet werden, dass die aufgestellten Softboxen während der Aufnahme Platz wegnehmen und somit störend sind. Zudem steht der Fotograf oftmals vor den Lichtquellen, sodass einige Bilder aufgrund des Schattens nicht ausreichend ausgeleuchtet sind.

Des Weiteren weist das Modell Unebenheiten und kleine Löcher auf. Grund hierfür kann die monochrome Haut sein. Diese weist wenig Merkmale auf, sodass bei der Modellerstellung keine Referenzpunkte erkannt werden können. Wird an der Stelle das Modell der Tasse betrachtet, fällt auf, dass die Oberfläche an den einfarbigen weißen Bereichen eine stärkere Unebenheit aufweist als an den kontrastreichen Bereichen. Um dieses Problem zu umgehen, wurden zwei farbige Klebepunkte auf die Rückseite der Hand geklebt. Diese dienen als Referenzpunkte für die Modellerstellung. Das daraus entstandene Modell lässt darauf schließen, dass diese allerdings nicht als Merkmal ausreichen. Die Papillarleisten sollen die Merkmale auf der Handunterseite darstellen. Allerdings sind diese aufgrund der beschriebenen Qualität sowie der Fragmente nicht zu erkennen.

Aus den genannten Gründen kann das Modell nicht weiterverwendet werden, sodass das Griffgeschehen in Blender mit dieser Methode nicht rekonstruiert werden kann. Das eigentliche Ziel bestand darin, ein Modell von der ausgestreckten Hand zu erzeugen, wel-

ches durch das sogenannte Rigging beweglich gemacht wird, sodass es über die Spur auf der Tasse gelegt werden kann. Als Ergebnis sollte der Griff dargestellt werden, der die Spur auf die Tasse gelegt hat. Da kein Modell der ausgestreckten Hand erzeugt werden kann, kann diese Methode allerdings nicht angewandt werden.

Um den Griff photogrammetrisch darzustellen, wird eine Glasvase als Hilfsmittel verwendet. Diese hat den gleichen Umfang wie die Tasse und wird daher auf gleiche Weise angefasst. Zudem weist diese keine Merkmale auf, sodass sie bei der Erstellung des 3D-Modells nicht mit abgebildet werden kann. Folglich wird ein Handmodell in der entsprechenden Greifbewegung erstellt.

Für die erste Aufnahme wird der Arm auf ein Stativ gestützt, während die Hand mit der Vase in der Luft gehalten wird. Das hierbei erstellte Modell zeigt ansatzweise den Griff, weist allerdings viele Löcher auf, sodass es für eine Weiterverarbeitung nicht brauchbar ist. Die Oberfläche der Haut stellt weiterhin ein Problem dar. Die Finger werden nicht vollständig dargestellt und weisen einige Löcher auf, sodass das Vermessen dieser nicht möglich ist. Das Modell ist außerdem nicht ausreichend ausgeleuchtet. Verglichen zu dem Modell der ausgestreckten Hand stellt das Modell im Gesamten allerdings eine deutliche Verbesserung dar. Grund hierfür kann sein, dass die Hand eine natürlichere Haltung einnimmt und aktiv nach etwas greift. Die Finger werden also gegen ein Objekt gedrückt und können somit über einen längeren Zeitraum ruhig gehalten werden. An dieser Stelle muss die Methode allerdings überdacht werden. Da die Finger die Vase mit eigener Kraft und über einen längeren Zeitraum halten, drücken sich diese gegen die Vase und verformen sich dementsprechend. Bei längerem Halten kann eine leichte Verschiebung der Finger vor allem aufgrund der Schweißbildung nicht ausgeschlossen werden, sodass die Stellung der Finger von dem Griffgeschehen der Tasse abweicht. Die Bewegung stellt außerdem ein Problem für die photogrammetrischen Aufnahmen und der Erstellung des 3D-Modells dar.

Grund für die Qualität des Modells kann zusätzlich die ungenaue Kameraführung aus den oben genannten Gründen sein. Um dieses Problem zu beheben, wird auch hier die Aufnahmemethode geändert und das Acrylglasgestell als Hilfsmittel verwendet. Zudem wird für die Frontal- und Untersicht ein Stativ für eine gleichmäßige Kameraführung verwendet. Anhand der Ergebnisse lässt sich ableiten, dass diese Methode die bisher beste darstellt, um ein 3D-Modell der Hand mittels photogrammetrischen Aufnahmen zu erstellen. Hierbei kann die Vase auf das Gestell abgelegt werden, sodass keine Kraft benötigt wird, um diese festzuhalten. So können ungewollte Bewegungen sowie ein Herandrücken der Finger an die Vase verhindert werden. Der Handrücken weist im Vergleich zu den vorherigen Modellen wenig Unebenheiten auf, sodass einige Merkmale dargestellt werden können. Ein Grund für diese Verbesserung kann die Anzahl der in Meshroom verwendeten Bilder sein. Bei diesem Modell wurden 187 von 190 Bildern erkannt, während bei den anderen Modellen deutlich weniger verwendet wurden.

Die Greifseite ist weiterhin grob und uneben. Grund hierfür kann sein, dass die Papillarleisten einen zu schwachen Kontrast darstellen, um bei der Modellerstellung als Referenzpunkt verwendet zu werden. Aus diesem Grund kann dieses Modell nicht für den Vergleich von den Merkmalen auf der Spur und auf der Hand verwendet werden. Folglich eignet sich kein Modell für den Vergleich von Merkmalen und somit der Identifizierung des Spurenverursachers.

Die Kanten der Finger werden mit dieser Methode etwas genauer dargestellt, allerdings weisen sie noch Ungenauigkeiten in Form von Löchern und Unebenheiten auf, sodass eine genaue Vermessung erschwert wird. Werden die Bemaßungen der Hand und des Modells miteinander verglichen, kann folglich ein Unterschied in den Werten erkannt werden.

Aufgrund der schlechten Darstellung der Handinnenfläche lässt sich das Modell zudem nicht genau über das Modell der Tasse legen. Folglich kann nicht überprüft werden, ob das Griffgeschehen identisch mit dem der Tasse ist.

Entgegen den Erwartungen erzielen die Modelle, die mit der Vase erzeugt werden ein besseres Ergebnis als die Modelle von der ausgestreckten Hand. Folglich kann das Griffgeschehen nicht digital anhand der Spur rekonstruiert werden, sodass das Ziel dieser Arbeit nicht erreicht wird.

6 Fazit und Ausblick

Das Ziel dieser Bachelorarbeit bestand darin, zu untersuchen, ob oder inwieweit sich das Griffgeschehen digital anhand der gelegten Spur ableiten lässt.

Für die Beantwortung wurde zunächst ein 3D-Modell des Spurenträgers erstellt, wobei die Ergebnisse aus dem vorherigen Praktikum eine Grundlage dargestellt haben. Anschließend wurden verschiedene Methoden vorgestellt, um mittels photogrammetrischer Aufnahmen ein realitätsnahes 3D-Modell von der Hand der Autorin darzustellen. Hierbei sollte zum einen ein Modell erstellt werden, welches die ausgestreckte Hand darstellt, sodass der Griff anschließend digital mithilfe der gelegten Spur rekonstruiert werden kann. Zum anderen bestand die Aufgabe darin ein Referenzmodell zu erstellen, welches das Griffgeschehen der Tasse darstellt. Hierbei wurde während der Aufnahmen eine transparente Glasvase mit dem gleichen Umfang festgehalten.

Das Ergebnis des Tassenmodells zeigt, dass sich mehrere Lichtquellen zur Ausleuchtung von reflektierenden Objekten nicht eignen, um das 3D-Modell besser auszuleuchten. Somit konnten die Ergebnisse aus dem vorherigen Praktikum in dieser Bachelorarbeit nicht verbessert werden. Hierbei stellt sich die Frage, ob sich diese Methode bei Objekten, die keine reflektierende Oberfläche besitzen als erfolgreich erweisen kann.

Aus den Ergebnissen dieser und der vorherigen Arbeit lässt sich schlussfolgern, dass die Modelle meistens dunkler werden als die Bildaufnahmen. Hinsichtlich des Qualitätsverlustes bei aufhellenden Kameraeinstellungen müssen in zukünftigen Forschungsarbeiten weitere Aufhellungsmethoden untersucht werden. Beispielsweise können die Modelle, insbesondere bei reflektierenden Oberflächen, mittels Nachbearbeitung aufgehellt werden.

Bei der Modellerstellung der Hand wurde festgestellt, dass die Modelle, welche mittels Photogrammetrie das Griffgeschehen darstellen und hinsichtlich der Zielstellung ausschließlich als Referenzmodell dienen sollten, die besten Ergebnisse erzielen. Dies kann ein Ansatz für zukünftige Arbeiten darstellen. Allerdings muss hierbei hinterfragt werden, ob es sich um eine in der Realität anwendbare Methode handelt, um das Griffgeschehen zu rekonstruieren. Eine effizientere Methode stellt das Erstellen eines 3D-Modells der ausgestreckten Hand dar. Um das Griffgeschehen anschließend zu rekonstruieren, besteht die Möglichkeit das Modell mittels Rigging in Blender beweglich zu machen und über das Modell des Spurenträgers zu legen. Aufgrund der Ergebnisse der entstandenen Modelle konnte allerdings kein Fokus auf diese Methode gelegt werden. Folglich war es nicht möglich, der allgemeinen Zielstellung nachzugehen und den Griff anhand der Spur zu rekonstruieren. Diese Bachelorarbeit dient somit als Grundlage für weitere Forschung in dem Themengebiet. Allerdings lassen die Ergebnisse darauf schließen, dass sich die pho-

togrammetrischen Aufnahmen nicht eignen, um ein 3D-Modell der ausgestreckten Hand zu erzeugen. Folglich müssen hierbei andere Methoden, insbesondere hinsichtlich der Detailgenauigkeit in Betracht gezogen werden. Aufgrund der zum Teil unvollständigen und groben Modelle konnten die Papillarleisten in keinem Ergebnis dargestellt werden. Aus diesem Grund konnte kein Fokus auf den Vergleich zwischen den Merkmalen der Spur und denen der Hand gelegt werden. Zukünftig kann beispielsweise der 3D-Scanner für eine genauere Darstellung der Papillarleisten verwendet werden.

Insgesamt lässt sich aus dieser Arbeit ableiten, dass sich die angewandten Methoden nicht dafür eignen, um ein 3D-Modell von der Hand zu erstellen, das den Anspruch hinsichtlich der Vollständigkeit und Detailgenauigkeit erfüllt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, die Merkmale einer Spur zu vergleichen oder anhand der Spur das Griffgeschehen zu rekonstruieren.

Literatur

AliceVision. (o. D.). *Photogrammetric Computer Vision Framework*. URL: <https://alicevision.org/> (zul. Abgerufen am 02. Juni 2023)

Autodesk. (o. D.). Photogrammetrie-Software – Fotos in 3D-Scans. URL: <https://www.autodesk.de/solutions/photogrammetry-software> (zul. abgerufen am: 03. Juni 2023)

Becker, S. (2019). Komplexpraktikum Forensische Tatortrekonstruktion: Vorgehensweisen und Methoden zur 3D-Modellierung und Möglichkeiten der Datenanreicherung [Vorlesungsfolien: 23/29].

Becker, S., Bergmann, T., Jeraufke, S., Heinke, F. & Labudde, D. (o. D.). Möglichkeiten photogrammetrischer und laserscan-basierter Methoden zur 3D-Dokumentation humaner Knochenmaterialien. Forensic Science Investigation Lab. URL: [MoeglichkeitenPhotogrammetrischerUndLaserscanBasierterMethodenZur3DDokumentationHumaerKnochenmaterialien.pdf](#) (bioforscher.de)

BKA. (o. D.). Spurendaktyloskopie. Bundeskriminalamt. URL: https://www.bka.de/DE/UnsereAufgaben/Ermittlungsunterstuetzung/Kriminaltechnik/Biometrie/Daktyloskopie/daktyloskopie_node.html (zul. abgerufen am 6. Juni 2023)

Blender. (o. D.). blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software. blender.org. URL: <https://www.blender.org/> (zul. abgerufen am 13. Juni 2023)

Börner, F. & Unger, H. (2021). Automatisierte 3D-Rekonstruktion mittels Photogrammetrie. Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum. URL: https://betrieb-machen.de/ng_automatisierte-3d-rekonstruktion-mittels-photogrammetrie/#NaN (zul. abgerufen am 4. Juni 2023)

Brenneisen, H., Wimmel, F., Weingarten, D. & Zwick, C. (2011). Kontamination bei der Spurenarbeit. Die Kriminalpolizei Zeitschrift der Gewerkschaft der Polizei. URL: <https://www.kriminalpolizei.de/ausgaben/2011/maerz/detailansicht-maerz/artikel/kontaminationbei-der-spurenarbeit-1.html> (zul. abgerufen am: 7. Juni 2023)

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI). (o. D.). Grundsätzliche Funktionsweise biometrischer Verfahren. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. URL: <https://www.bsi.bund.de/dok/6614840> (zul. abgerufen am 5. Juni 2023)

Deutsches Zentrum für Orthopädie. (o. D.). Anatomie der Hand. URL: <https://deutsches-zentrum-fuer-orthopaedie.de/hand/anatomie> (zul. abgerufen am 8. Juni 2023)

Faller, A. (1995). Der Körper des Menschen: Einführung in Bau und Funktion (12. Aufl.). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

Formlabs. (o. D.). Photogrammetrie: Schritt-für-Schritt-Leitfaden und Softwarevergleich. URL: <https://formlabs.com/de/blog/photogrammetrie-leitfaden-und-software-vergleich/> (zul. abgerufen am 13. Juni 2023)

Framos. (2021). Mehr Kontrast und Bessere Sicht für Vision-Systeme. URL: <https://www.framos.com/de/fachartikel/mehr-kontrast-und-bessere-sicht-fuer-vision-systeme> (zul. Abgerufen am 10. Juni 2023)

Frings, C. & Rabe, F. (2016). Grundlagen der Kriminaltechnik I (2. Aufl.). Hilden: Verlag Deutsche Polizeiliteratur.

GitHub. (o. D.). alicevision/CCTag: Detection of CCTag markers made up of concentric circles. URL: <https://github.com/alicevision/CCTag> (zul. abgerufen am 9. Juni 2023)

Herrmann, B. & Saternus, K. (2007). Biologische Spurenkunde: Band 1: Kriminalbiologie (1. Aufl.). Heidelberg: Springer-Verlag.

Hofmann, G. (2019). Meshroom. Open-Source-Photogrammetrie auf einen Klick- Artikel in Digital Production 1806. BlenderDiplom. URL: <https://www.blenderdiplom.com/de/blog/alle-blogposts/716-meshroom-open-source-photogrammetrie-auf-einen-klick-artikel-in-digital-production-1806.html> (zul. abgerufen am 7. Juni 2023)

Jain, A. K., Ross, A. & Pankanti, S. (1999). A Prototype Hand Geometry-based Verification System. URL: https://www.cse.msu.edu/~rossarun/pubs/RossHand_AVBPA99.pdf (zul. abgerufen am 14. Juni 2023)

Jayanam. (2021a). Blender & UE4 FPS Hands Rigging Tutorial [Video]. YouTube. URL: https://www.youtube.com/watch?v=M6GWX_OaZhs (zul. Abgerufen am 3. Juni 2023)

Jayanam. (2021b). Blender Low Poly Hands Weight Paint Tutorial [Video]. YouTube. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=6IFm8laDkOk> (zul. Abgerufen am 3. Juni 2023)

Kapandji, I. A. (2009). Funktionelle Anatomie der Gelenke: Schematisierte und kommentierte Zeichnungen zur menschlichen Biomechanik (5. Aufl.). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

Labudde, D. (2020). VL03, Allgemeine Forensik 1: Der Mensch als Spurenräger. Allgemeine und Digitale Forensik. [Vorlesungsfolien: 33, 34].

Labudde, D. & Mohaupt, M. (2018). Bioinformatik im Handlungsfeld der Forensik. Berlin: Springer Spektrum.

Labudde, D. & Spranger, M. (2017). Forensik in der digitalen Welt: Moderne Methoden der forensischen Fallarbeit in der digitalen und digitalisierten realen Welt. Berlin: Springer-Verlag.

Lippert, H., Herbold, D. & Lippert-Burmester, W. (2017). Anatomie: Text und Atlas (10. Aufl.). München: Urban & Fischer Verlag.

Locard, E. (1930). Die Kriminaluntersuchung und ihre wissenschaftlichen Methoden. Berlin: Kameradschaft Verlagsgesellschaft.

Megel, T. (o. D.). Was ist bei der Fotografie zu beachten? OpenScan. URL: <https://web.archive.org/web/20220516214438/openscan.eu/photogrammetrie> (zul. abgerufen am 15. Juni 2023)

Moons, T., Van Gool, L. & Vergauwen, M. (2009, Januar). 3D Reconstruction from Multiple Images: Part 1 - Principles. ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/220427980_3D_Reconstruction_from_Multiple_Images_Part_1_-_Principles (zul. abgerufen am 11. Juni 2023)

Pixolum. (o. D.). Belichtungsdreieck Infografik - Belichtung, Blende. Pixolum. URL: <https://www.pixolum.com/blog/fotografie/belichtungsdreieck> (zul. abgerufen am 22. Juni 2023)

Pratzner, A. (o. D.). Fotokurs - Fotografieren lernen und bessere Fotos machen. Foto-Kurs.com. URL: <https://www.foto-kurs.com/> (zul. abgerufen am 25. Juni 2023)

Schiebler, T. H. & Korf, H.-W. (2007). Anatomie: Histologie, Entwicklungsgeschichte, makroskopische und mikroskopische Anatomie, Topographie (10. Aufl.). Heidelberg: Springer-Verlag.

Sculpteo. (o. D.). Beste Photogrammetrie-Software im Jahr 2023. URL: <https://www.sculpteo.com/de/3d-lernzentrum/3d-druck-software/beste-photogrammetrie-software/> (zul. abgerufen am 11. Juni 2023)

Software3D. (o. D.). Grundlagen der Photogrammetrie. URL: <https://software3d.de/blog/photogrammetrie-grundlagen-metashape-training.html> (zul. abgerufen am 12. Juni 2023)

Steinert, U. (2010). Kriminalistik/Kriminaltechnik Skriptum - Daktyloskopie -: Unter Verwendung „Standard des daktyloskopischen Identitätsnachweises Stand: 30.06.10“. Gletschertraum. URL: http://gletschertraum.de/Lehrmaterialien/KT/23_Skriptum_Daktyloskopie.pdf (zul. abgerufen am 23. Juni 2023)

Tietze, S. & Witthuhn, K. (2001). Papillarleistenstruktur der menschlichen Handinnenfläche (9. Aufl.). Neuwied & Kriftel: Hermann Luchterhand Verlag.

Zilles, K. & Tillmann, B. (2010). Anatomie. Heidelberg: Springer-Verlag.

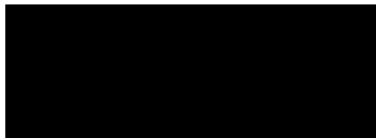
Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Mittweida, den 19. Juni 2023



Larissa Koch