HOCHSCHULE
MITTWEIDA
UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES

BACHELORARBEIT

Frau B.Sc.
Rebecca Engler

Entwicklung und Evaluation eines Arbeitsablaufs zur Ablösung von Spuren aus photogrammetrischen 3D-Modellen

Mittweida, 2022

Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften

BACHELORARBEIT

Entwicklung und Evaluation eines Arbeitsablaufs zur Ablösung von Spuren aus photogrammetrischen 3D-Modellen

Autor:
Frau B.Sc.

Rebecca Engler

Studiengang:
Allgemeine und Digitale Forensik

Seminargruppe:
FO19w4-B

Erstprüfer:
Prof. Dr. rer. nat. Dirk Labudde

Zweitprüfer:
B. Sc. Hanjo Tim Fritzsch

Einreichung:
Mittweida, 29.08.2022

Verteidigung/Bewertung:
Mittweida, 2022

Faculty Applied Computer Sciences and Biosciences

BACHELOR THESIS

Development and Evaluation of a workflow for detaching traces from photogrammetric 3D models

author:
Ms. B. Sc.

Rebecca Engler

course of studies:
General and Digital Forensic Sciences

seminar group:
FO19w4-B

first examiner:
Prof. Dr. rer. nat. Dirk Labudde

second examiner:
B. Sc. Hanjo Tim Fritzsch

submission:
Mittweida, 29.08.2022

defence/ evaluation:
Mittweida, 2022

Bibliografische Beschreibung:

Engler, Rebecca:
Entwicklung und Evaluation eins Arbeitsablaufs zur Ablösung von Spuren aus photogrammetrischen 3D-Modellen. - 2022. - 6 Seiten Verzeichnisse, 43 Seiten Inhalt, 2 Seiten Anhänge
Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften, Bachelorarbeit, 2022

Referats:

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Arbeitsablauf entwickelt, welcher es ermöglicht daktyloskopische Spuren aus photogrammetrischen 3D-Modellen abzulösen. In der anschließenden Evaluation wird geklärt, ob diese digital abgelösten Spuren denselben Informationsgehalt haben wie real abgelöste Spuren. Dargestellt werden daktyloskopische Grundlagen, Methoden aus der 3D-Modellierung sowie die Photogrammmetrie. Außerdem werden die verwendeten Methoden sowie die daraus resultierenden Ergebnisse präsentiert.

Inhalt

Inhalt ..... **I**

Abbildungsverzeichnis ..... **III**

Tabellenverzeichnis ..... **V**

Abkürzungsverzeichnis ..... **VI**

1 Einleitung **1**

2 Grundlagen **5**

2.1 Begriffsdefinitionen *5*

2.2 Daktyloskopie *7*

2.2.1 Entstehung daktyloskopischer Spuren 7

2.2.2 Informationsebenen daktyloskopischer Spuren 8

2.2.2.1 Ebene 1 8

2.2.2.2 Ebene 2 9

2.2.2.3 Ebene 3 10

2.2.3 Analyse daktyloskopischer Spuren 10

2.3 Photogrammmetrie *11*

2.4 UV-Unwrapping *11*

2.5 Texture Baking *12*

3 Material und Methoden **13**

3.1 Material *13*

3.1.1 Modelle 13

3.1.2 Photogrammetrische Modellerstellung 15

3.1.3 Software 16

3.2 Methoden *17*

3.2.1 Photogrammetrische Modellerstellung 17

3.2.2 Modellerstellung Handscanner 20

3.2.3 Digitale Ablösung der daktyloskopischen Spuren mit Blender 21

3.2.4 Vermessung daktyloskopischer Spuren 24

3.2.5 Detektion von Grundmuster und Minutien 25

3.2.6 Matching von Fingerabdrücken 26

4 Ergebnisse 28

4.1 Handscanner vs. Photogrammmetrie 28

4.2 Vermessung der Spuren 29

4.3 Grundmusterdetektion der digital abgelösten daktyloskopischen Spuren 32

4.4 Minutiendetektion der digital abgelösten daktyloskopischen Spuren 35

4.5 Evaluation mit Vergleichsmaterial 37

5 Diskussion 41

6 Ausblick 44

Literatur 45

Anlagen IV

Anlagen, Teil 1 Diagramm ..... A-V

Anlagen, Teil 2 Digitale Anlagen ..... A-VI

Selbstständigkeitserklärung VII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der drei Grundstrukturen eines Mesh (Blender Documentation Team 2022b). 5

Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Wireframes (Flavell 2010). 6

Abbildung 3: Schematische Darstellung der drei Grundmuster Bogen, Schleifen und Wirbel (Labudde 2018). 8

Abbildung 4: Schematische Darstellung des Deltas eines Fingerabdrucks (Bernd Sonderegger, Martin Urs Peter 2013). 9

Abbildung 5: Schematische Darstellung der Minutien, welche bei der Analyse von Fingerabdrücken auftreten können und erfasst werden (Herrmann und Saternus 2007). 10

Abbildung 6: UV-Map eines Würfels mit zugehörigem 3D-Modell (The Foundry Visionmongers Ltd 2022) 12

Abbildung 7: Applikation der Fingerabdrücke auf die Salbendose. a) zeigt die Applikation der Abdrücke auf den Seiten der Salbendose, b) zeigt die Applikation der Abdrücke auf dem Deckel der Dose. (Josephine Endmann 2021) 14

Abbildung 8: Applikation der Fingerabdrücke auf die Getränkedosen. a) helle Dose, b) dunkle Dose (Claudia Strey 2022). 15

Abbildung 9: Applikation der Fingerabdrücke durch Umgreifen der Tasse (Larissa Koch 2022). 15

Abbildung 10: Mit Rußpulver sichtbar gemachte Fingerabdrücke auf der Salbendose (eigene Darstellung). 18

Abbildung 11: Versuchsaufbau für die photogrammetrischen Aufnahmen: Zwei Softboxen (rechts und vorne), zwei Kameras sowie die Dose mittig auf dem Stativ (eigene Darstellung). 19

Abbildung 12: Versuchsaufbau für die Aufnahmen mit dem Handscanner (eigene Darstellung). 20

Abbildung 13: Modellierte Salbendose mit Fingerabdrücken in Blender und zugehöriger Textur (eigene Darstellung). 21

Abbildung 14: Darstellung der benötigten und erstellten Nodes (eigene Darstellung). 21

Abbildung 15: Modellierte Salbendose mit den ausgewählten Fingerabdrücken in Blender (eigene Darstellung). 22

Abbildung 16: Modellierte Salbendose texturiert mit Checker Texture in Bender (eigene Darstellung). 23

Abbildung 17: Verbesserte Textur als Ergebnis des beschriebenen Arbeitsablaufs (eigene Darstellung). 24

Abbildung 18: Schema zum Messen der Fingerabdrücke im 3D-Modell. Länge in grün, Breite in gelb dargestellt (eigene Darstellung). 24

Abbildung 19: Schema zum Messen der digital abgelösten Fingerabdrücke. Länge in grün. Breite in gelb dargestellt. (eigene Darstellung) 25

Abbildung 20: Digital abgelöster Daumenabdruck einer photogrammetrisch gesicherten Spur (eigene Darstellung). 28

Abbildung 21: Digital abgelöster Daumenabdruck einer mit Handscanner gesicherten Spur (eigene Darstellung). 28

Abbildung 22: Ergebnisse der automatisierten Detektion von Gabelminutien. Links der digital abgelöste Abdruck, in der Mitte der real abgelöste Abdruck und rechts das Scanbild. Minutien, welche durch CNC detektiert wurden, sind gelb dargestellt. Grün dargestellte Minutien wurden durch Template Matching detektiert. (eigene Darstellung) 39

Abbildung 23: Durch Harris Corner Detektion detektierte Minutien für den real abgelösten Abdruck und den Scan (eigene Darstellung). 39

Abbildung 24: Matching der detektierten Minutien für den digital abgelösten Abdruck und den Scan (eigene Darstellung). 40

Abbildung 25:Flussdiagramm des Arbeitsablaufs zum Ablösen daktyloskopischer SpurenV

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verwendete Modelle und deren Modelleigenschaften 13

Tabelle 2: Zur Modellerstellung genutztes Material 16

Tabelle 3: Zur Ablösung der Spuren verwendete Software, deren Hersteller und Anwendungen im Rahmen dieser Arbeit 16

Tabelle 4: Ergebnisse der Spurenvermessung des Modells Dose Cyana. Die Werte sind gegeben als Mittelwerte in cm. 29

Tabelle 5: Ergebnisse der Spurenvermessung des Modells Tasse_L_normal2_angehalten_clean. Die Werte sind gegeben als Mittelwertem in cm. . 30

Tabelle 6: Ergebnisse der Spurenvermessung des Modells Salbendose_Durchgang1.Die Werte sind gegeben als Mittelwerte in cm. 31

Tabelle 7: Ergebnisse der automatisierten Grundmusterdetektion 32

Tabelle 8: Übersicht über die detektierten Grundmuster für die Modelle, bei denen einen Detektion durchgeführt werden konnte. / bedeutet hierbei, dass keine Detektion durchgeführt werden konnte. 33

Tabelle 9: Ergebnisse der automatisierten Minutiendetektion 35

Tabelle 10: Ergebnisse der Grundmusterdetektion für den Daumenabdruck des Modells Tasse_L_normal2_angehalten_clean. 38

Tabelle 11: Ergebnisse der Minutiendetektion für den Daumenabdruck des Modells Tasse_L_normal2_angehalten_clean 38

Tabelle 12: Ergebnisse des Fingerprint Matching der real sowie digital abgelösten Spuren und des Scans. 39

Abkürzungsverzeichnis

3D	dreidimensional
2D	zweidimensional
CNC	Crossing Number Concept
AFIS	Automatisiertes-Fingerabdruck-Identifizierungs-System

1 Einleitung

Die Daktyloskopie ist ein Teilgebiet der Kriminaltechnik, welches sich mit der Sicherung und Analyse von Fingerspuren beschäftigt. Da ca. 80% der Fingerspuren latent, also nicht sichtbar, vorliegen, bedürfen sie einer Sichtbarmachung vor der Sicherung. Obwohl auch Abdrücke der Handinnenseiten als daktyloskopische Spuren gelten, haben Fingerabdrücke eine deutlich höhere Relevanz. Diese ist drauf zurückzuführen, dass es möglich ist, Personen durch ihren Fingerabdruck eindeutig zu identifizieren. Die Methoden, welche hierbei zum Einsatz kommen, sind evaluiert und stoßen auf breite Akzeptanz unter den Anwendern. Ein wichtiger Teil der Sicherung, sowohl von Tatorten als auch von Fingerspuren, ist die Dokumentation. Während diese, früher zumeist rein fotografisch erfolgte, wird durch fortschreitende Digitalisierung zunehmend auch photogrammetrisch gesichert (Autodesk Inc). Die Photogrammmetrie umfasst hierbei verschiedene Methoden, um aus fotografischen Aufnahmen, dreidimensionale (3D) Modelle zu erstellen. Zur Erstellung eines solchen Modells werden möglichst viele Fotos des zu sichernden Objekts aus verschieden, Perspektiven gemacht. So entsteht durch die Photogrammmetrie ein digitaler Zwilling eines Objekts. Durch ein solches realistisches Abbild wird es möglich, Tatorte auch mit zeitlichem Abstand zu analysieren.
Ein Problem bei der Analyse von Tatorten sind mangelnde personelle und zeitliche Ressourcen, sowie fehlendes oder falsches Material zur Spurensicherung (Ulas 2021). Durch diese fehlenden Ressourcen besteht die Möglichkeit, dass bei der Sicherung Spuren übersehen werden. Wird ein Tatort nun photogrammetrisch gesichert, besteht die Möglichkeit, solche übersehenen Spuren nachträglich im 3D-Modell zu entdecken. Diese Chance besteht allerdings nur, wenn Spurenträger mit anhaftenden Spuren auch detailreich modellierbar sind. Dies ist im Rahmen früherer Arbeiten der Forschungsgruppe FoSIL bereits von Frau Endmann untersucht worden. Im Zuge dieser Arbeit wurden auf einer Salbendose Fingerabdrücke aufgebracht und anschließend mit multiplen Methoden sichtbar gemacht. Diese wurden dann durch Abzüge gesichert. Ergänzend wurden von den Fingerabdrücken Scans angefertigt, bei denen Minutien automatisch detektiert wurden. Vor der Sicherung wurde von jeder Dose ein photogrammetrisches Modell erstellt. Zur Evaluation wurden dann die Abzüge und die modellierten Fingerabdrücke vermessen und die Ergebnisse verglichen. Zur Kontrolle der Details standen Scans der Fingerabdrücke zu Verfügung. Die im Scan detektierten Minutien wurden händisch in den modellierten Fingerabdrücken sowie den Abzügen gesucht. Durch diese Evaluation konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, den Fingerabdruck mit seinen feinen Details photogrammetrisch abzubilden. (Josephine Endmann 2021)

Im Rahmen dieser Arbeit wurde jedoch nicht untersucht, ob sich diese detailreich modellierten Spuren aus den Modellen herauslösen lassen. Somit gibt es bis heute keine Methode, die nachträglich entdeckte Spuren aus einem 3D-Modell herauslöst, um sie für weitere Analysen verfügbar zu machen. Dies birgt jedoch großes Potential für zukünftige Forschung und forensische Fragestellungen.

Daher soll diese Arbeit die Frage beantworten, ob es möglich, ist aus photogrammetrischen 3D-Modellen daktyloskopische Spuren abzulösen. Das Ziel der Arbeit ist die Entwicklung eines Arbeitsablaufs zur Ablösung sichtbar gemachter latenter Fingerabdrücke aus photogrammetrischen 3D-Modellen. Zur Entwicklung dieses Arbeitsablaufs kommen Methoden aus der 3D-Modellierung wie das UV-Mapping[1] und das Texture Baking[2] zum Einsatz. Anschließend an die Entwicklung soll der Ablauf durch einen Vergleich der digital abgelösten Spuren mit real abgelösten Spuren evaluiert werden. Im Rahmen dieser Evaluation wurden die analysierten Spuren vermessen und anschließend mit Skripten detektiert. Es wurde, eine automatisierte Grundmusterdetektion, eine automatisierte Minutiendetektion und ein Fingerprint Matching durchgeführt, um die Spuren miteinander zu vergleichen. Die Skripte, welche hierfür verwendet wurden, wurden durch die Forschungsgruppe FoSIL zur Verfügung gestellt und entstanden im Rahmen anderer Bachelorarbeiten. Im Zuge der in dieser Arbeit durchgeführten Evaluation gelten der physisch abgelöste und der digital abgelöste Abdruck als gleichwertig, wenn dasselbe Grundmuster und dieselben Minutien detektierbar sind.

Die Analyse von Fingerabdrücken erfolgt über ein Ebenenmodell, bei dem auf jeder Ebene festgelegte standardisierte Features untersucht werden. Da diese standardisierten Features gut vergleichbar sind, eignen sie sich gut für eine Evaluation des hier entwickelten Arbeitsablaufs. Aus diesem Grund beschränkt sich diese Arbeit vorerst auf die Ablösung von Fingerabdrücken. Es wäre jedoch möglich, die Methode im Rahmen weiterer Forschung auch auf andere Spurenarten wie z.B. Blutspritzmuster zu übertragen.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in sechs Kapitel. In Kapitel 1 erfolgte eine kurze Einführung in das Thema dieser Arbeit. Nachfolgend werden in Kapitel 2 die Grundlagen, um Fingerabdrücke als Spuren im forensischen Kontext verständlich zu machen, aufgezeigt. Außerdem werden die Photogrammmetrie, das UV-Mapping und das Texture Baking näher erläutert. In Kapitel 3 erfolgt eine Beschreibung der Materialien und Methoden, welche genutzt wurden, um den Arbeitsablauf zu entwickeln. Hierfür werden die genutzten Modelle, die Software und die genutzten Methoden näher erläutert. Kapitel 4 zeigt die Ergebnis-

[1] Siehe 2.2

[2] Siehe 2.3

se des entwickelnden Arbeitsablaufs und seiner Evaluation. In Kapitel 5 werden die vorher gezeigten Ergebnisse in einer Diskussion kritisch betrachtet. Die Arbeit schließt in Kapitel 6 mit einer Zusammenfassung sowie einem Ausblick für weitere Forschungen.

2 Grundlagen

2.1 Begriffsdefinitionen

Mesh

Als Mesh bezeichnet man die Repräsentation eines 3D-Objekts welches aus Vertices, Edges, und Faces besteht (Furht 2006).

Vertex/Vertices

Vertices sind der elementarste und einfachste Teil eines Mesh. Sie bezeichnen einen einzelnen Punkt im 3D-Raum (Blender Documentation Team 2022b).

Edges

Eine Edge verbindet zwei Vertices innerhalb eines Meshs. Edges sind somit die Linien zwischen zwei Punkten, welche in der Wireframe Ansicht sichtbar werden. (Blender Documentation Team 2022b)

Faces

Als Faces bezeichnet man die Flächen, welche sich bilden, wenn entweder drei oder mehr Vertices durch Edges miteinander verbunden werden (Blender Documentation Team 2022b). Abbildung 1 zeigte eine schematische Darstellung der hier beschriebenen Grundstrukturen.

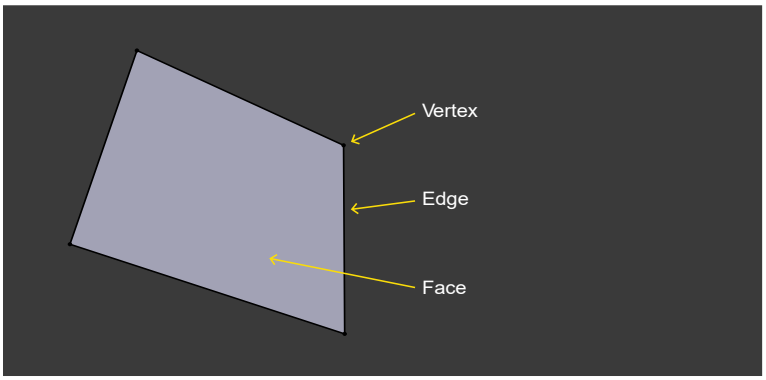


Abbildung 1: Schematische Darstellung der drei Grundstrukturen eines Mesh (Blender Documentation Team 2022b).

Wireframe

Als Wireframe bezeichnet man das Gitternetz eines 3D-Modells, welches aufgrund der Verbindung von Vertices durch Edges entsteht (Flavell 2010). Abbildung 2 zeigt schematisch das Wireframe für das 3D-Modell einer Kugel.

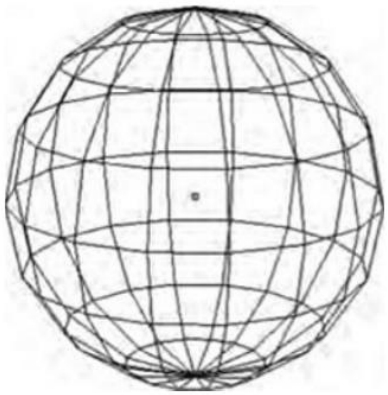


Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Wireframes (Flavell 2010).

Real abgelöste Spur

Als real abgelöste Spuren werden im Kontext dieser Arbeit alle Spuren bezeichnet, welche durch standardisierte Sicherungsmethoden von physisch existierenden Objekten abgezogen wurden.

Digital abgelöste Spur

Als digital abgelöste Spuren werden, im Kontext dieser Arbeit alle Spuren bezeichnet welche mithilfe von Blender aus einem 3D-Modell abgelöst wurden. Sie sind also der digitale Zwilling einer real abgelösten Spur.

Digitaler Zwilling

Als digitalen Zwilling bezeichnet man die digitale Repräsentation eines Objekts aus der Realität. Dieses Objekt kann physischer z.B. Produktionsanlagen oder nicht physischer z.B. Daten oder Dienste Natur sein. (Dr.Thomas Kuhn 2017)

Harris Corner Detektion

Harris Corner Detektion ist ein Algorithmus welcher 1988 von Chris Harris und Mike Stephens vorgeschlagen wurde, um Ecken in Bilder zu detektieren. Eine Ecke ist hierbei definiert als eine Region mit starker Grauwertänderung in alle Richtungen. So berechnet der Algorithmus für jeden Pixel die Grauwertänderung in alle Richtungen und markierte die Punkte mit der größten Änderung als Ecken. (Open Source Computer Vison 2022)

2.2 Daktyloskopie

Daktyloskopie leitet sich aus den griechischen Wörtern dakytlos (= Finger), sowie skopein (= schauen) ab und bedeutet somit übersetzt so viel wie Fingerschau (Herrmann, Saternus 2007). Die Haut an den Handinnen- und Fußunterseiten stellt sich anders dar als am restlichen Körper. Während die Haut am restlichen Körper glatt ist, ist die Haut an Handinnenseiten und Fußunterseiten von dünnen Leisten überzogen. Deswegen nennt man sie auch Leistenhaut. Die Leisten, welche diese Haut überziehen werden als Papillarleisten bezeichnet. (Thiel, Clages, Neidhardt 2013)
Dementsprechend beschäftigt sich die Daktyloskopie mit Papillarleisten, welche auf Handinnenseiten und Fußunterseiten von Personen zu finden sind. Durch eine Analyse dieser Papillarleisten lassen sich Spurenverursacher feststellen und Personen eindeutig identifizieren. (Frings, Rabe 2016)

Die Grundlage der Daktyloskopie bilden zwei anerkannte Grundsätze: der Grundsatz der Einmaligkeit und der Grundsatz der Unveränderlichkeit (Herrmann, Saternus 2007). Jedes Papillarleistenbild ist einmalig, es gibt also keine zwei Menschen deren Papillarleistenbilder identisch sind. Auch hat Vererbung keinen Einfluss auf die Papillarleistenbilder, da eineiige Zwillinge nicht dasselbe Papillarleistenbild aufweisen. Papillarlinienbilder sind unveränderlich, denn die Papillarlinien bleiben in Form und Lage zueinander im Laufe des Lebens gleich. Ein Papillarlinienbild lässt sich nur durch Einflüsse von außen oder durch Krankheit verändern z.B. Verbrennungen oder Verätzungen. (Frings, Rabe 2016)

2.2.1 Entstehung daktyloskopischer Spuren

Daktyloskopische Spuren sind eine besondere Art der Formspur, folglich Spuren welche sich als Formveränderungen an ein Objekt darstellen. Sie können als Abdruck oder Eindruckspur auftreten. Ein Abdruck entsteht, wenn die Papillarlinien Schweiß, oder andere externe Substanzen, z.B. Blut, Ruß, oder Wasser, auf einem Spurenträger hinterlassen. Ein Eindruck entsteht hingegen, wenn der Verlauf der Papillarlinien in einen weicheren Spurenträger z.B. Knete oder Ton eingedrückt wird. (Frings, Rabe 2016)

Entsteht die Spur durch das Abbilden der Papillarleisten der Fingerbeere bezeichnet man die Spur als Fingerabdruck (Labudde 2018).
Da daktyloskopische Spuren von Personen hinterlassen werden, gibt es eine Reihe von Faktoren, die deren Entstehung und somit auch die Qualität der Spuren beeinflussen. Diese Faktoren sind: der ausgeübte Druck, die Berührungsdauer, der Zustand der Papillarleisten, die Oberflächenbeschaffenheit des Gegenstands, an dem die Spur haftet, die Flexibilität der Haut und die vorliegenden Umweltbedingungen z.B. Luftfeuchtigkeit, Temperatur oder Regen. (Herrmann, Saternus 2007)

Ca. 80% der daktyloskopischen Spuren entstehen als Abdruckspuren durch die Übertragung von körpereigen Subtanzen beispielsweise Schweiß oder Talg (Herrmann, Saternus 2007). Die meisten Spuren liegen also als latente Spuren vor. Das heißt, dass sie vor der

weiteren Analyse durch optische, chemische oder physikalische Verfahren sichtbar gemacht werden müssen. Nach der Sichtbarmachung werden die Spuren fotografisch sowie durch einen Abzug gesichert. (Frings, Rabe 2016)

2.2.2 Informationsebenen daktyloskopischer Spuren

Zur Analyse von daktyloskopischen Spuren werden drei Informationsebenen betrachtet. Die Betrachtung erfolgt hierbei immer vom Allgemeinen zum Besonderen. (Bernd Sonderegger, Martin Urs Peter 2013) Die erste Ebene beschäftigt sich mit den Grundmustern der Spuren, auf der zweiten Ebene erfolgt die Analyse der Minutien. Die letzte Ebene umfasst alle anderen, zusätzlichen relevanten Erscheinungen. (Labudde 2018)

2.2.2.1 Ebene 1

Die Erscheinungsbilder der Papillarlinien auf der Fingerbeere lassen sich in drei Grundmuster einteilen, sogenannte Bogen, Schleifen und Wirbel. Die Schleifen und Wirbel wurden 1686 von Marcelllo Malpighi entdeckt. 1892 identifizierte Francis Dalton den Bogen als das dritte Grundmuster. Diese drei Grundmuster bilden die Grundlage zur Identifizierung von Personen mithilfe von Fingerabdrücken, sie sind in Abbildung 3 dargestellt. (Labudde 2018)

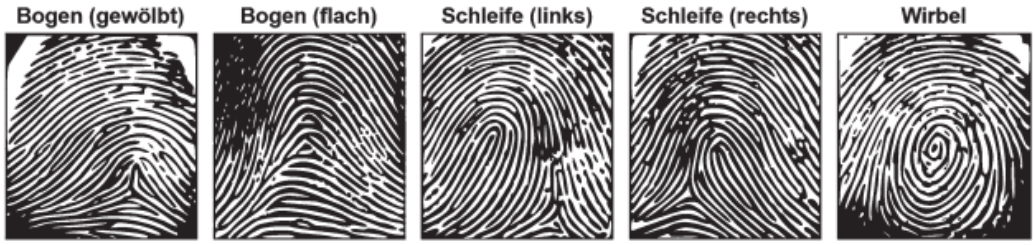


Abbildung 3: Schematische Darstellung der drei Grundmuster Bogen, Schleifen und Wirbel (Labudde 2018).

Schleifen sind das am häufigsten auftretende Grundmuster und zeigt sich bei ca. 60-65% aller Menschen auf. Als Schleifen bezeichnet man alle Grundmuster, bei denen die Papillarlinien eine Krümmung haben und danach wieder auf ihren Ausgangspunkt zurücklaufen. Wie in Abbildung 1 zu sehen, lassen sich Schleifen weiter unterteilen, z.B. in linke und rechte Schleife. (Labudde 2018) Schleifenmuster besitzen ein Delta. Das Delta ist eine Erscheinungsform bei der die Papillarlinien als dreieckförmiges Gebilde, ausbilden das dem großen Delta aus dem griechischen ähnelt. (Heindl 1922). Abbildung 4 zeigt schematisch, wie ein solches Delta in einem Fingerbadrück auftritt.

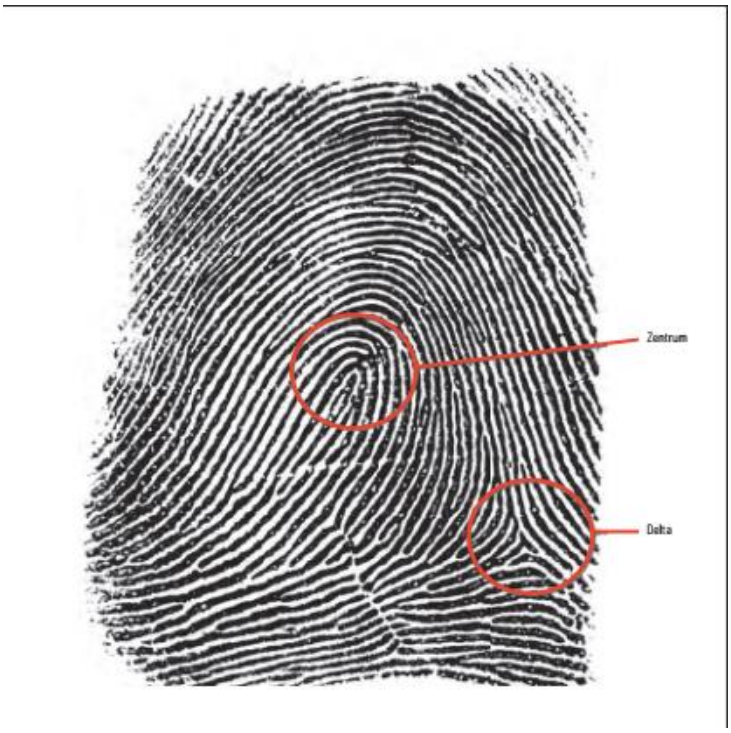


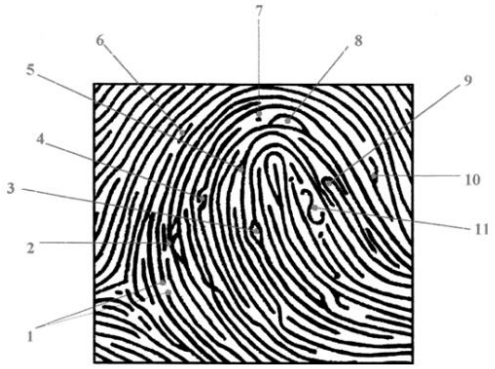
Abbildung 4: Schematische Darstellung des Deltas eines Fingerabdrucks (Bernd Sonderegger, Martin Urs Peter 2013).

Beim Wirbel verlaufen die Papillarlinien kreisförmig. Wirbel treten bei ca. 30-35% aller Personen auf und sind somit das zweithäufigste Grundmuster. Ein Wirbel besitzt zwei Deltas. (Labudde 2018; Hunger, Leopold 1978)

Bögen sind mit einem vorkommen von nur 5% das am seltensten vorkommenden Grundmuster. Hier verlaufen die Papillarlinien im Zentrum der Fingerbeere wellenförmig. (Labudde 2018) Bei einem Bogenmuster existiert kein Delta, es lässt sich aber wie in Abbildung 1 zu sehen weiter unterteilen, z.B. in flache und gewölbte Bögen. Ist ein gewölbter Bogen besonders steil bezeichnet man ihn als Tannenbogen. (Hunger, Leopold 1978)

2.2.2.2 Ebene 2

Auf der zweiten Ebene werden anatomische Merkmale betrachtet welche auch als Minutien bezeichnet werden. Die Bezeichnung Minutien stammt vom lateinischen Wort minutius ab, was sich mit Kleinigkeit übersetzen lässt. Minutien sind also kleine anatomische Besonderheiten, welche dem Papillarlinienverlauf zu entnehmen sind. Hierzu gehören u.a. Gabelungen, Inseln sowie beginnende und endende Linien. (Labudde, Spranger 2017) Abbildung 5 zeigt eine schematische Darstellung der Minutien welche bei der Analyse erfasst werden.



Legende	
1	Beginn und Ende von Papillarlinien
2	Linienverästelungen
3	Auge
4	ausweichendes Endstück
5	Gabelung
6	eingelagerte Linie
7	Punkt
8	Insel
9	eingelagerte Schleife
10	Haken
11	Sonderheiten

Abbildung 5: Schematische Darstellung der Minutien, welche bei der Analyse von Fingerabdrücken auftreten können und erfasst werden (Herrmann und Saternus 2007).

2.2.2.3 Ebene 3

Auf der letzten Ebene, welche nur noch mit dem Mikroskop sichtbar ist, werden zusätzliche relevante Erscheinungsformen untersucht (Bernd Sonderegger, Martin Urs Peter 2013). Zu diesen Merkmalen gehören u.a. Zwischenleisten, Poren, Kantenverläufe sowie Feinstrukturen von Falten, Furchen und Narben (Gerstel Ulrich 27.02.2021).

2.2.3 Analyse daktyloskopischer Spuren

Die Hauptaufgabe der Daktyloskopie ist die Identifikation von Spurenverursachern (Frings, Rabe 2016). Die Analyse dieser Spuren erfolgt somit immer über einen Vergleich mit bereits vorliegendem daktyloskopischem Material. Sowohl das Vergleichsmaterial als auch die vom Tatort stammenden Spur sollten 12 anatomische Merkmale aufweisen, damit eine für die Identifikation ausreichende Qualität gegeben ist. (Thiel, Clages, Neidhardt 2013)
Seit der Einführung des Automatisierten-Fingerabdruck-Identifizierungs-Systems (AFIS) erfolgt das Matching von Spur und Vergleichsmaterial halbautomatisiert. Hierbei wird die Spur vom Tatort mit den Abdrücken aus ganz Deutschland verglichen, welche sich in der AFIS Datenbank befinden. Die gefundenen Matches werden dann von einem/r Daktyloskop/in abschließend überprüft, da meist mehre Matches ausgegeben werden. (Bernd Sonderegger, Martin Urs Peter 2013)

Ein eindeutiges Match zwischen Spur und Vergleichsmaterial liegt vor, wenn 12 anatomische Merkmale in beiden Abdrücken sowohl in Form als auch Lage übereinstimmen. Ist das Grundmuster der Abdrücke feststellbar und übereinstimmend, reicht es aus, wenn acht anatomische Merkmale detektiert werden. Durch einen solchen Match lassen sich Personen eindeutig identifizieren. (Thiel, Clages, Neidhardt 2013)

2.3 Photogrammmetrie

Die Internationale Gesellschaft für Photogrammmetrie und Fernerkundung definiert Photogrammmetrie als Wissenschaft, welche sich damit beschäftigt, verlässliche dreidimensionale, geometrische und thermische Informationen von Objekten aus Bild und Entfernungsdaten zu extrahieren (Chen u. a. 2016). Hierbei unterscheidet man zwischen Nahbereichs- und Luftbild-Photogrammmetrie. Bei der Nachbereichs-Photogrammmetrie werden die Bilder mit einer Handkamera oder einer Kamera auf einem Stativ aufgenommen. Bei der Luftbild-Photogrammmetrie werden meist Drohnen oder Flugzeugbilder zur Modelerstellung genutzt. So wird die Nahbereichs-Photogrammmetrie hauptsächlich bei kleineren Objekten oder Gebäude angewendet und die Luftbild-Photogrammmetrie für topologische Karten. (Autodesk Inc)

Photogrammmetrie zeichnet sich durch folgende wesentliche Charakteristika aus: die berührungslose Aufnahme, die kurze Aufnahmedauer mit hoher Aufnahmefrequenz, umfassende bildliche Dokumentation der Szene, Auswertung in mehreren Dimensionen sowie die Möglichkeit sehr große Objekte zu bearbeiten (Heipke 2017). Da viele dieser Charakteristika wesentliche Vorteile gegenüber klassischer Aufnahmemethoden bieten, wird Photogrammmetrie in vielen Bereichen genutzt und gewinnt zunehmend an Bedeutung. Anwendung findet sie heutzutage u.a. im Ingenieurwesen, beim Mapping oder im Gaming. (Chen u. a. 2016)

Auch in der Forensik finden sich diverse Anwendungsmöglichkeiten der Photogrammmetrie. Sie wird u.a. für die Rekonstruktion und Dokumentation von Tatorten angewendet, die Dokumentation und Sicherung von kleineren Objekten z.B. Tatwerkzeugen, Spurenträgern oder Unfallfahrzeugen, die virtuelle Autopsie zur Dokumentation von forensischen Befunden, die Asservierung von Knochen, usw. (Urusla Buck 2010).

2.4 UV-Unwrapping

Als UV-Unwrapping wird die Überführung der Oberfläche eines 3D-Modells in eine zweidimensionale (2D) Struktur bezeichnet. Dieser Prozess wird immer dann benötigt, wenn Informationen auf einem 3D-Modell dargestellt werden sollen, welche nur als 2D-Informationen vorliegen. Beispielsweise um Farbinformationen auf der Oberfläche darzustellen, um ein Modell zu texturieren. Hierbei werden im 3D-Modell Seams gesetzt. Diese Seams sind Kanten, an denen das Modell zerteilt wird, um es anschließend zu entfalten. Das Setzen der Seams kann entweder automatisch oder manuell erfolgen. Erfolgt das Setzen der Seams automatisch, berechnet die genutzte Software die optimalen Schnittkanten. Dieser Modus eignet sich dann, wenn einfache geometrische Formen bearbeitet werden. Beim manuellen Setzen der Seams entscheidet der/die Anwender/in welche Punkte optimal sind, um das Modell zu überführen. Eine manuelle Annotation von Seams ist meistens dann sinnvoll, wenn komplexe Modelle gemappt werden müssen. Das Ergebnis dieses Prozesses ist eine flache Repräsentation der Oberfläche des Modells, wel-

che auch als UV-Map bezeichnet wird. (Thomas Denham 2022) Diese UV-Map verknüpft die dreidimensionalen Koordinaten des Modells mit zweidimensionalen UV-Koordinaten. Die U-Koordinate repräsentiert hierbei die horizontale Achse und die V-Koordinate die vertikale Achse. (The Foundry Visionmongers Ltd 2022). Die einzelnen Komponenten einer UV-Map bezeichnet man als UV-Islands (Erik Selin 2022). In Abbildung 6 ist eine UV-Map mit dem dazugehörigen 3D-Modell dargestellt.

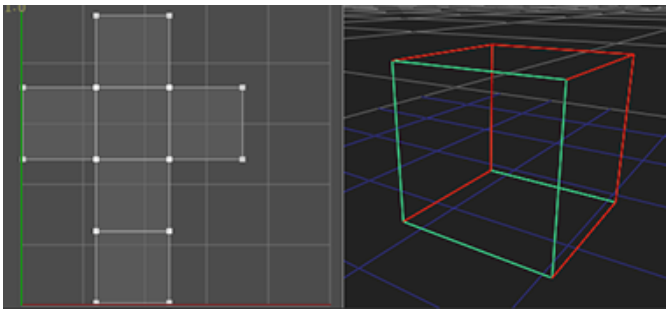


Abbildung 6: UV-Map eines Würfels mit zugehörigem 3D-Modell (The Foundry Visionmongers Ltd 2022).

2.5 Texture Baking

Als Baking werden im Kontext der 3D-Modellierung alle Prozesse bezeichnet, bei denen Informationen des 3D-Modells auf eine UV-Map übertragen werden (Adobe 2022). Übertragen werden können hierbei alle Informationen des Modells, z.B. die Farbinformationen der Textur, die Schatten und Lichtinformationen (Blender Documentation Team 2022a). Im Normalfall werden für diesen Prozess zwei Modelle genutzt, es ist aber auch nur mit einem Modell möglich. Beim Baking mit zwei Modellen hat jedes Modell eine eigene UV-Map. Die betreffenden Informationen werden dann vom Ursprungsmodell auf das zweite Modell und seine zugehörige UV-Map übertragen. Wenn nur ein Modell vorliegt, benötigt dieses Modell mindestens zwei verschiedene UV-Maps. Die gewünschte Information kann dann vom Modell auf eine der UV-Maps übertragen werden. Die zweite UV-Map bleibt in hierbei unverändert.(Adobe 2022)

3 Material und Methoden

3.1 Material

3.1.1 Modelle

Im Rahmen der Praktikums- und Bachelorarbeiten in der Forschunggruppe FoSIL sind bereits einige Arbeiten zur Photogrammmetrie und Modellerstellung entstanden. Aufgrund dessen standen zur Entwicklung der Spurenablösung eine Reihe von Modellen zur Verfügung. Davon wurden im Rahmen dieser Arbeit hauptsächlich Modelle von Frau Endmann und Frau Strey verwendet, da diese detailreich modellierte Fingerabdrücke aufwiesen. Alle diese Modelle sind mit dem Programm Meshroom entstanden. Die davon für diese Arbeit verwendeten Modelle sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Verwendete Modelle und deren Modelleigenschaften

Modell	Ersteller	Meshroom Version
Dose_Cyana	Frau Endmann	2020.1.0
Dose_Magnet_5-4grad_V2	Frau Endmann	2020.1.0
Dose_Magnet_schwarz	Frau Endmann	2020.1.0
Dose_Magnet_schwarz_5_4_grad	Frau Endmann	2020.1.0
Dose_Russ_4_4grad_V2	Frau Endmann	2020.1.0
Dose_Floupink_ohneUV	Frau Strey	2020.1.1
Dose_Flou	Frau Strey	2020.1.1
Dose_flou_16_10	Frau Strey	2020.1.1

Dose_flou_mit	Frau Strey	2020.1.1
Dose_hell_makro_1	Frau Strey	2020.1.1
Dose_hell_ohn_pol	Frau Strey	2020.1.1
Dose_hell_pol	Frau Strey	2020.1.1
Dose_hell_pol_makro	Frau Strey	2020.1.1
Energie_dose	Frau Strey	2020.1.1
Tasse_L_normal2_angehalten_clean	Frau Koch	2020.1.1

Die modellierten Objekte umfassen eine Salbendose, eine Getränkedose und eine Tasse. Auf jedes Objekt wurden durch Umfassen des Objektes Fingerabdrücke appliziert. Die Abbildungen 7, 8 und 9 zeigen die Applikation der Abdrücke auf den zu modellierenden Objekten. Aus diesen Bildern wurde rekonstruiert, welcher Abdruck welchem Finger zuzuordnen ist.

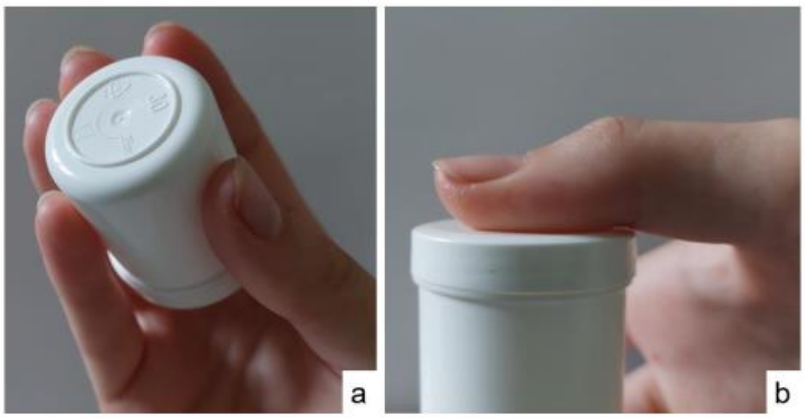


Abbildung 7: Applikation der Fingerabdrücke auf die Salbendose. a) zeigt die Applikation der Abdrücke auf den Seiten der Salbendose, b) zeigt die Applikation der Abdrücke auf dem Deckel der Dose. (Josephine Endmann 2021)

Abbildung 8: Applikation der Fingerabdrücke auf die Getränkedosen. a) helle Dose, b) dunkle Dose (Claudia Strey 2022).

Abbildung 9: Applikation der Fingerabdrücke durch Umgreifen der Tasse (Larissa Koch 2022).

3.1.2 Photogrammetrische Modellerstellung

Da die unter 3.1.1 dargestellten Modelle, welche im Rahmen frühere Praktikums- und Bachelorarbeiten entstanden sind, keinen mitgeführten Maßstab haben, wurden im Rahmen dieser Arbeit neue Modelle mit Maßstab erstellt. Dieser ist essenziell für die spätere Vermessung der Spuren. Das Material, welches zur Erstellung dieser Modelle genutzt wurde, ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Zur Modellerstellung genutztes Material

Bezeichnung	Hersteller	Details
Salbendose	k.A	Dose, weiß, 30cm
Rußpulver	Sirchie	„Hi-Fi“ Latent Print Powder Silk Black, 237ml
Zephyr Pinsel	Lightning Powder	Zephyr Fingerprint Brush
Gelfolie weiß	Colorprint	Gelatine Spurenischerungs-folie weiß, 13 * 18 cm
Kamera	Nikon	Nikon D7100
Makrobjektiv	Nikon	Nikor Lens AF-S VR Mirco-Nikor 105mm f/2.8G IF-ED
Drehteller	k.A	k.A

3.1.3 Software

Für die Spurenablösung sowie die nachfolgende Evaluation der digital abgelösten Fingerabdrücke wurden 3D-Editor Software, hochschulinterne Skripte und Programme von GitHub verwendet. Die verwendeten Programme als auch deren Anwendung sind Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3: Zur Ablösung der Spuren verwendete Software, deren Hersteller und Anwendungen im Rahmen dieser Arbeit

Software	Hersteller	Anwendung
Blender 3.1	Blender Foundation	Verbesserung der Texturen mithilfe von UV-Mapping zum Ablösen der daktyloskopischen Spuren

Grundmusterdetektion	Frau Jacob	Automatisierte Detektion des Grundmusters der daktyloskopischen Spuren zur Evaluation der Ablösung
Minutiendetektion	Frau Jacob	Automatisierte Detektion von Minutien der daktyloskopischen Spuren zur Evaluation der Ablösung
Python Fingerprint Recognition[3]	Sashwat K	Algorithmus zur automatisierten Detektion von Minutien mit anschließendem Matching zweier daktyloskopischer Spuren zur Evaluation der Ablösung.

3.2 Methoden

3.2.1 Photogrammetrische Modellerstellung

Da sich die Salbendose in den vorherigen Modellierungsversuchen als gut modellierbares Objekt herausgestellt hat, wurde diese auch für die neu erstellten Modelle genutzt. Zunächst wurden auf der Dose Fingerabdrücke appliziert. Hierfür wurden diese von der Autorin dieser Arbeit mit der rechen Hand umfasst. Außerdem wurde auf dem Deckel ein weiterer Daumenabdruck aufgebracht. Da die Fingerabdrücke nach der Applikation nur latent vorlagen bedurften sie einer Sichtbarmachung. Hierfür wurde Rußpulver genutzt, da dies den größten Kontrast zum Objekt hat. Der Pinsel zur Applikation des Pulvers wurde zunächst mit Pulver angereichert. Dann wurde der Pinsel vorsichtig in eine Richtung über die Fingerabrücke geführt, um das Pulver aufzutragen. Nach der Sichtbarmachung der Fingerabdrücke erfolgten die photogrammetrischen Aufnahmen für die spätere Modellerstellung. Abbildung 10 zeigt die sichtbargemachten Fingerabdrücke auf der Salbendose mit Maßstab.

[3] https://github.com/sashuu6/python-fingerprint-recognition

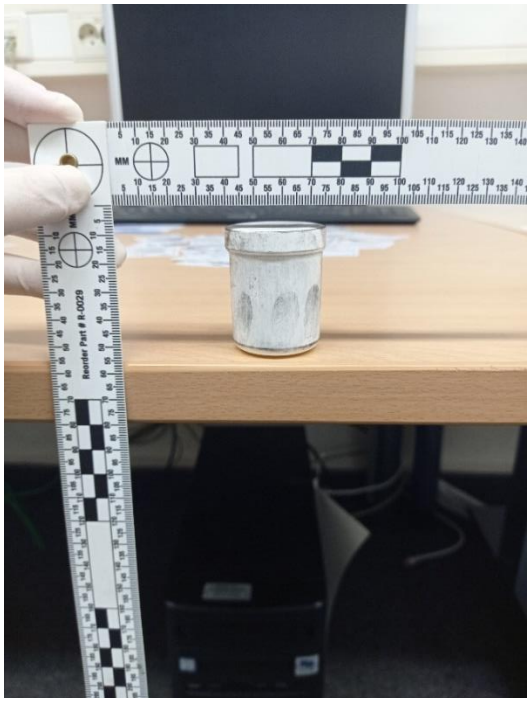


Abbildung 10: Mit Rußpulver sichtbar gemachte Fingerabdrücke auf der Salbendose (eigene Darstellung).

Da auf dem Boden der Dose keine Fingerabdrücke appliziert wurden, reichten für die Modellerstellung seitliche Aufnahmen sowie Aufnahmen von oben. Hierfür wurde die Dose auf ein Kamerastativ gestellt, welches sich auf einem Drehteller befindet. Der Drehteller wurde später dazu genutzt, 360° Aufnahmen der Dose zu bekommen, ohne sie manuell drehen zu müssen. An der Dose ist ein CC-Tag befestigt welcher als Referenzmaß dient. Dieser CC-Tag hat zwei Ringe mit bekanntem Abstand und dienen als Referenz zur Skalierung des Modells ins Meshroom. Außerdem kann er im fertigen Model als Maßstab genutzt werden, um zu prüfen, ob der digitale Zwilling die gleichen Maße hat wie die physische Spur.

Damit ein optimales Modell entsteht, muss die Dose immer ausreichend beleuchtet sein. Hierfür wurden zwei Softboxen aufgestellt, welche die Dose von vorne und von der Seite beleuchteten. Aufgenommen wurde die Dose mit zwei Kameras, welche Bilder von oben sowie von der Seite aufnahmen. Abbildung 11 verdeutlicht den Versuchsaufbau.

Abbildung 11: Versuchs[illegible]en Aufnahmen: Zwei Softboxen (rechts und vorne), zwei Kameras sowie die Dose mittig auf dem Stativ (eigene Darstellung).

Bevor die Pipeline zur Aufnahme der Bilder gestartet werden kann, muss der Bildbereich der beiden Kameras eingestellt werden. Die Kameras befinden sich auf Stativen und nehmen das Objekt aus zwei verschiedenen Perspektiven auf. Der Bildbereich der Kameras muss so eingestellt werden, dass das Objekt möglichst mittig und bildfüllend ist. Mithilfe des Drehtellers kann überprüft werden, ob die Dose zu jeder Zeit perfekt im Bildbereich ist. Dann werden mit den Kameras Testbilder gemacht, um die optimale Kameraeinstellung für die Dose zu finden, da photogrammetrische Aufnahmen einige Bedingungen erfüllen sollten. Diese sollten eine hohe Tiefenschärfe aufweisen, möglichst rauschfrei sowie gut ausgeleuchtet sein. Um das Rauschen zu minimieren, wurde der ISO sehr klein gewählt. Da die Aufnahmen durch Softboxen zusätzlich beleuchtet wurden, wurde eine kurze Belichtungszeit gewählt, um ein optimal belichtetes Bild zu erreichen. Eine hohe Tiefenschärfe wurde durch eine kleine Blende erreicht. Nach einigen Tests ergaben sich folgende Einstellungen als optimal:

- ISO Wert: 100
- Belichtungszeit: 1s
- Blendenöffnung: 36s

Die Aufnahmen wurden mit der Open Source Software DigiCamControll gemacht. Diese Software ermöglicht das gleichzeitige Auslösen aller Kameras. Diese sind über ein USB-Kabel mit dem Computer verbunden, um das Auslösen und die Übertragung der Bilder zu ermöglichen.

Anschließend an diese vorbereitenden Schritte wurden die photogrammetrischen Aufnahmen gestartet. Der Drehteller wurde alle 2° angehalten und die Kameras wurden ausgelöst. In vorherigen Arbeiten entstanden gute Modelle mit einer Drehtellereinstellung von 4 Grad sowie 2 Grad (Josephine Endmann 2021; Claudia Strey 2022). Um Aufnahmen aus möglichst vielen Perspektiven zu erhalten, wurde sich im Rahmen dieser Arbeit für zwei Grad entschieden. So entstanden durch zwei Kameras 360 Bilder. Diese Aufnahmen wurden dann für die Modellerstellung in Meshroom überführt.

Dieser Ablauf wurde mit derselben Dose zweimal durchgeführt. Beim zweiten Durchlauf wurde der CC-Tag neben statt auf der Dose befestigt, um zu überprüfen, ob die Platzierung des Tags eine Auswirkung auf die spätere Vermessung der Spuren hat.

3.2.2 Modellerstellung Handscanner

Um zu evaluieren, ob sich der Handscanner als Alternative zur Photogrammmetrie eignet, um Spuren aus den entstandenen Modellen abzulösen, wurden auch Modelle mit einem 3D-Handscanner erstellt. Genutzt wurde hierfür der 3D-Handscanner Artec Leo der Firma Artec. Dieser Scanner ermöglicht eine schnelle berührungslose Aufnahme des Objekts. Um das Modell aufzunehmen, wurde die Dose mit den aufgebrachten Fingerabdrücken auf einen Hocker gestellt, um eine erhöhte Position zu erreichen. Genutzt wurde hierfür die gleiche Dose, welche auch für die photogrammetrischen Aufnahmen verwendet wurde, um einen besseren Vergleich zu ermöglichen. Abbildung 12 zeigt den oben beschrieben, Aufbau. Zum Aufnehmen des Modells wurde das Objekt mit dem Handscanner rundherum gescannt, um sicherzugehen, dass das gesamte Objekt aufgenommen wurde. Hierbei tastet der Scanner die Oberfläche des Objekts mit einem Laser ab und erstellt aus den so gewonnenen Informationen einen Scan. Während des Scans zeigt der Handscanner durch einen Farbcode im Display an, ob der optimale Abstand zum Objekt eingehalten wird. Um diesen zu gewährleisten, ist es wichtig, darauf zu achten, dass das Objekt im Display während des gesamten Scanvorgangs grün erscheint. Das entstandene Modell wurde dann zur weiteren Verarbeitung in Artec Studio 16 überführt.

Der erste Schritt der Weiterverarbeitung umfasst die Entfernung von Fragmenten, welche durchs Scannen entstanden sind. Falls durch den Scanprozess mehr als ein Scan entstanden ist, werden diese dann durch ein Alignment übereinandergelegt. Dann wird ein Global Registration Schritt ausgeführt, welcher die Position der Frames optimiert. Anschließend wird aus der Punktewolke, welche durch den Scan entstanden ist, ein Mesh erstellt. Dies passiert mithilfe der Sharp Fusion Funktion. Im letzten Schritt wird das Mesh texturiert und anschließend exportiert, um es im Blender weiter zu bearbeiten.

Abbildung 12: Versuchsaufbau für die Aufnahmen mit dem Handscanner (eigene Darstellung).

3.2.3 Digitale Ablösung der daktyloskopischen Spuren mit Blender

Zur Ablösung digitalisierter daktyloskopischer Spuren gibt es bisher keinen Arbeitsablauf. Daher wurden zur Entwicklung dieses Arbeitsablaufs Methoden aus der 3D-Modellierung auf einen forensischen Kontext angewendet.

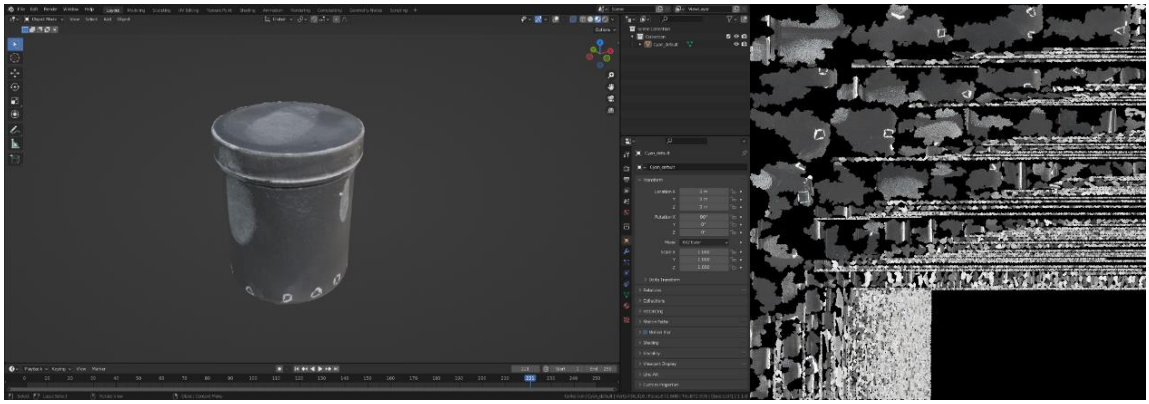


Abbildung 13: Modellierte Salbendose mit Fingerabdrücken in Blender und zugehöriger Textur (eigene Darstellung).

Zum Ablösen digitalisierter daktyloskopischer Spuren wird zunächst das zu bearbeitende Modell in Blender importiert. Abbildung 13 zeigt eins der im Rahmen dieser Arbeit bearbeiten Modelle, nachdem es in Blender importiert, wurde sowie die zugehörige Textur vor der Bearbeitung. Die Islands sind sehr klein und es sind keine zusammengehörigen Fingerabdrücke erkennbar.

Nachdem das Modell importiert wurde, wird in der Shading Ansicht von Blender mithilfe einer *Image Texture Node*, die Textur auf das Modell aufgebracht. Dies ist notwendig damit die modellierten Fingerabdrücke auf der Dose für die weiter Bearbeitung zu sehen sind. Hierbei ist zu beachten, ob das Modell aus einem oder mehreren Materialien besteht. Sollte ein Modell aus mehreren Materialien bestehen, muss einzeln für jedes Material eine *Image Texture Node* erstellt werden. Abbildung 14 zeigt eine Darstellung dieser Nodes.

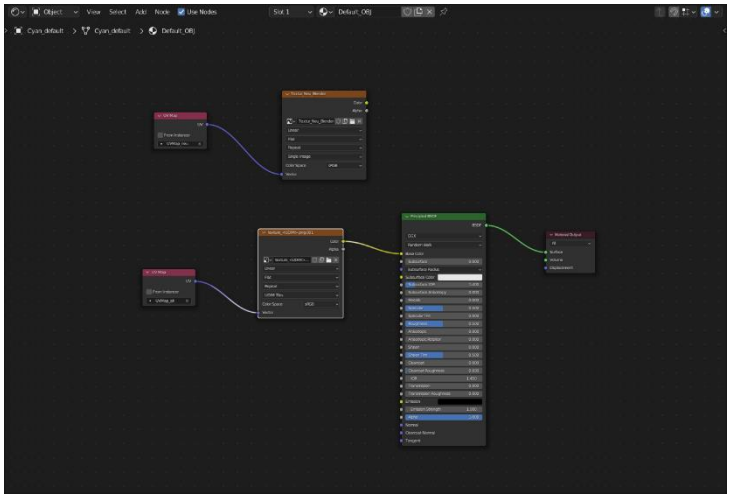


Abbildung 14: Darstellung der benötigten und erstellten Nodes (eigene Darstellung).

Anschließend wird bei den *Object Data Properties* eine neue UV-Map angelegt. Diese wird benötigt, um die Textur gezielt zu entfalten, damit die daktyloskopischen Spuren nicht zerteilt werden. Dafür werden zunächst die abzulösenden Spuren mithilfe des Lasso Tools markiert. Dadurch wird definiert, dass die gesamte Auswahl auf eine UV-Island gemappt werden soll, statt sie über verschiedene Islands zu verteilen. Bei hochauflösenden Modellen besteht die Möglichkeit, dass durch das Auswahl Tool nicht alle *Faces* angewählt werden. Dann sollte die Auswahl anschließend ein- bis zweimal vergrößert werden. Jeder Vergrößerungsschritt fügt die direkten Nachbarn der aktuell ausgewählten *Faces* hinzu. Dies ist notwendig da, im Rahmen dieser Arbeit mit sehr hochauflösenden Modellen gearbeitet wurde. Deswegen ist es möglich, dass durch die einfache Auswahl mit dem Lasso Tool nicht alle *Faces* ausgewählt wurden. Abbildung 15 zeigt das Ergebnis des beschriebenen Auswahlprozesses.

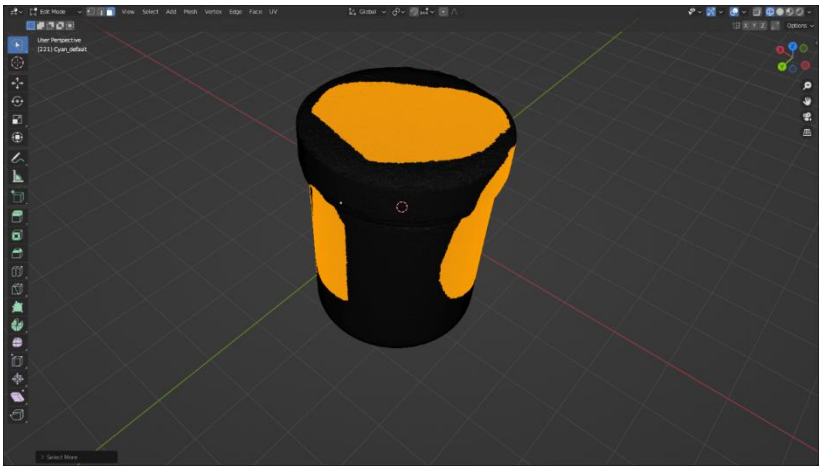


Abbildung 15: Modellierte Salbendose mit den ausgewählten Fingerabdrücken in Blender (eigene Darstellung).

Wenn alle Spuren angewählt sind, folgt die Entfaltung des Modells mithilfe von UV-Mapping. Beim UV-Mapping wird das Modell an Schnittkanten, sog. Seams, zerteilt und flach ausgebreitet. Um dies umzusetzen, wird in Blender der UV-Editor genutzt. Dabei muss darauf geachtet werden, dass im Editor die neu angelegte UV-Map ausgewählt ist. Über die *Unwrapping* Funktion werden die Spuren extrahiert. Diese Funktion interpretiert die Kanten der im Vorfeld getroffen Auswahl als Seams und schneidet so die Positionen, an denen sich Spuren befinden, aus. Jede Spur bekommt so ihre eigene UV-Insel. Blendet mappt die Teile des Modelles, welche keine Spuren enthalten und aufgrund dessen keine manuell gesetzten Seams haben, mit automatisch gesetzten Seams. Nach dem Mapping werden die *Average Island Scale* sowie die *Pack Islands* Funktion im UV-Editor ausgeführt. Die *Average Island Scale* Funktion skaliert die einzelnen UV-Inseln, sodass sie in Relation zueinander dieselbe Größe haben wie im Mesh. *Pack Islands* sorgt anschließend dafür, dass alle UV-Islands ohne Überlappung angeordnet werden. Um zu überprüfen, ob durch das neue Mapping Verzerrungen aufgetreten sind, wird dann eine

Checker Texture auf das Modell projiziert. *Checker Textures* sind meist Bilder, welche einem Schachbrett ähneln. Für deren Projektion wird im Shading eine neue *UV Node* und eine neue *Image Texture Node* angelegt. Über die *UV Node* kann die UV-Map ausgewählt werden, welche genutzt werden soll, um die *Checker Texture* auf das Modell zu projizieren. Wenn die einzelnen Quadrate der *Checker Texture* verzogen sind, deutet das auf eine Verzerrung hin. Dann sollte die neue UV-Map noch einmal überarbeitet werden. Abbildung 16 zeigt die Salbendose mit aufgebrachter *Checker Textur*e. Es zeigt sich, dass im Bereich der Fingerabdrücke keine Verzerrungen durch das Mapping aufgetreten sind. Wenn Verzerrungen auftreten, sollte die neue UV-Map noch einmal überarbeitet werden.

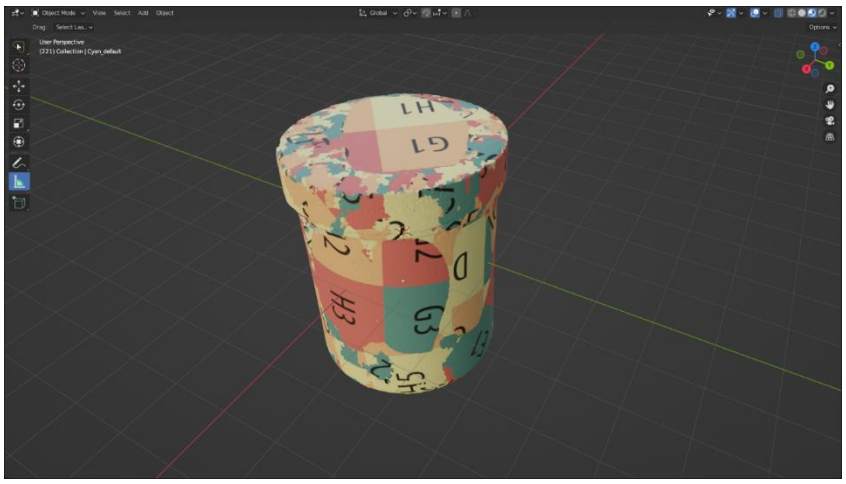


Abbildung 16: Modellierte Salbendose texturiert mit Checker Texture in Bender (eigene Darstellung).

Im letzten Schritt muss nun noch die Farbinformation der Textur auf die neue UV-Map übertragen werden. Dieser Vorgang nennt sich Texture Baking. Zunächst werden hierfür eine neue *UV Node* und eine neue *Image Texture Node* erstellt. In der *UV Node* wird die neu erstellte UV-Map ausgewählt. In der *Image Texture Node* wird zunächst eine leere Textur erstellt. Dann wird unter den *Render Properties* die *Render Engine Cycles* ausgewählt. Im Bake Reiter muss als Bake Type „*Diffuse*“ ausgewählt werden, da dieser Kanal die Farbinformationen des Modells enthält. Als *Target* wird die vorher neu erstellte Textur ausgewählt. Hierbei sollte darauf geachtet werden, dass die neu erstellte Textur dieselbe Auflösung hat wie die alte Textur, da es sonst zu Informationsverlust kommen kann. Um den Verlust der Textur zu verhindern, welche nicht mit im Projekt abgespeichert wird, sollte diese, nach Abschluss des Bakings, separat über den Image Viewer gesichert werden. Abbildung 17 zeigt die verbessert Textur, welche das Ergebnis des hier entwickelten Arbeitsablaufs ist. Die betreffenden Spuren sind einzeln voneinander getrennt und auf einzelnen Islands verortet. Ein Diagramm, welches die wichtigsten Schritte zum Ablösen daktyloskopischer Spuren zeigt, befindet sich im Anhang Teil 1.

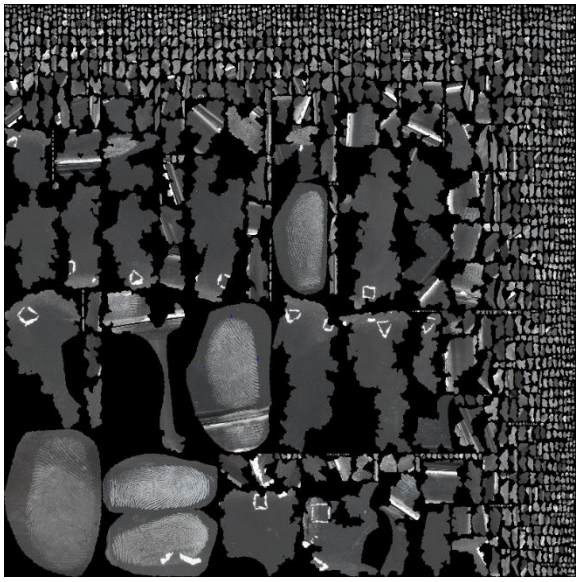


Abbildung 17: Verbesserte Textur als Ergebnis des beschriebenen Arbeitsablaufs (eigene Darstellung).

3.2.4 Vermessung daktyloskopischer Spuren

Um zu prüfen, ob die digital abgelösten Spuren die gleichen Maße haben wie die real abgelösten Spuren, wurden diese vermessen. Hierfür wurde für jede Spur eine Messstrecke über die Länge und eine Messstrecke über die Breite definiert. Diese Strecken wurden dann mit Punkten gekennzeichnet, damit sie auch nach der Ablösung wiedergefunden werden können. Abbildung 18 und 19 zeigen das Schema, nachdem die Messtrecken für die verschiedenen Spuren gesetzt wurden. Dann wurden die Spuren im 3D-Modell und die digital abgelösten Spuren an drei verschiedenen Tagen vermessen. Die Vermessung im 3D-Modell wurde mit dem Messtool von Blender durchgeführt. Die Messung der abgelösten Spuren erfolgte mit GIMP. Die real abgelösten Spuren, welche als Vergleichsmaterial dienen, wurden ebenfalls an drei verschiedenen Tagen vermessen.

Die Messungen stimmen dann überein, wenn die Messwerte nicht mehr als 0,3 cm auseinanderliegen. Diese Abweichungen sind Messfehler, da bei manuellen Messungen nicht sichergestellt werden kann, dass immer exakt dieselben Messstrecken getroffen werden.

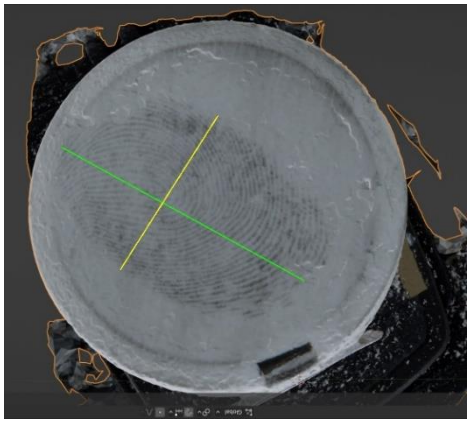


Abbildung 18: Schema zum Messen der Fingerabdrücke im 3D-Modell. Länge in grün, Breite in gelb dargestellt (eigene Darstellung).

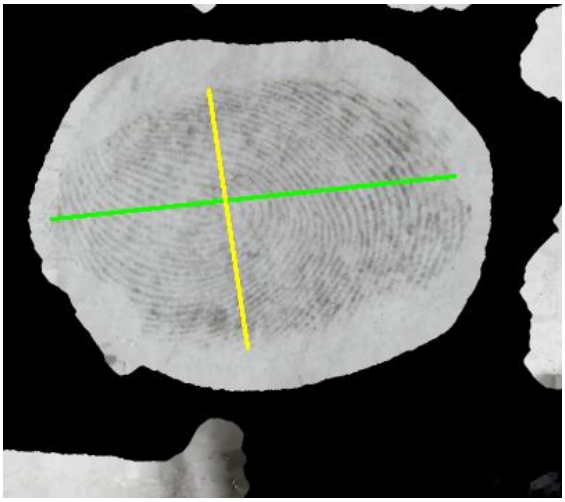


Abbildung 19: Schema zum Messen der digital abgelösten Fingerabdrücke. Länge in grün. Breite in gelb dargestellt. (eigene Darstellung)

3.2.5 Detektion von Grundmuster und Minutien

Um zu evaluieren, ob eine digitale Ablösung von daktyloskopischen Spuren verwertbare Ergebnisse liefert, wurden bei allen Spuren das Grundmuster sowie Gabelminutien ermittelt. Hierfür wurden hochschulinterne MATLAB-Skripte genutzt, welche von Frau Jacob im Rahmen ihrer Bachelorarbeit entwickelt wurden. Um die zu untersuchenden Spuren an das Programm zu übergeben, werden die Bilder im zum Programm gehörigen Fingerabduckordner abgelegt. Als Vorverarbeitung führt das Skript einige Verbesserungsprozesse aus, um die Analyse der Bilder zu optimieren. Diese Verbesserung umfasst eine Segmentierung, eine Normalisierung, eine Schätzung der Orientierung, eine Schätzung der Papilarlinienfrequenz, eine Gabor-Filterung, eine Banalisierung sowie ein Thinning. Im Segmentierungsschritt werden Hintergrund und Vordergrund getrennt bevor dann im Rahmen der Normalisierung die Graustufenwerte der Bilder standardisiert werden. Durch die Orientierungsschätzung wird ein Orientierungsbild des Fingerabdrucks erstellt, indem die Ausrichtung der Papillarlinien durch Gradienten dargestellt wird. Im anschließenden Schritt wird dieses Bild durch eine Gabor-Filterung geglättet. Im vorletzten Schritt der Vorverarbeitung wird das Graustufenbild in ein Binärbild umgewandelt. Abschließend wird das Binärbild durch Thinning ausgedünnt, bis die Papillarlinien nur noch einen Pixel breit sind. Eine genaue Erörterung der einzeln Verbesserungsprozesse ist in der Arbeit von Frau Jacob zu finden.

Anschließend an die Vorverarbeitung wird zuerst die automatisierte Detektion des Grundmusters ausgeführt. Zuerst muss dafür das Skript *„Templates“* ausgeführt werden, welche die Templates der zu detektierenden Grundmuster lädt. Diese werden später für das Matching benötigt. Als Templates stehen eine linke Schleife, eine rechte Schleife, ein Tannenbogen, zwei Doppelschleifen und zwei Wirbel zu Verfügung. Die Templates sind

Ausschnitte der Orientierungsfelder, welche im Rahmen der Orientierungssschätzung entstehen. Danach wird das *„gm_main“*-Skript ausgeführt. Zur Detektion des Grundmusters kommt dann eine Kombination von Template Matching und Berechnung der mittleren Pixelhelligkeit zum Einsatz. Im ersten Schritt wird der Zentroid des Fingerabdrucks bestimmt. Um den Zentroiden wird dann die mittlere Pixelhelligkeit bestimmt. Diese wird dann mit einem Schwellwert verglichen, um zu detektieren, ob es sich um einen flachen Bogen handelt. Für alle Fingerabdrücke, welche keinen flachen Bogen aufweisen wird dann ein Template Matching durchgeführt. Hierbei werden die Orientierungsfelder der übergebenen Fingerabdrücke mit den Templates verglichen. Das Template, welches die größte Übereinstimmung ergibt, gilt als Match und wird auf der Konsole ausgegeben. Hierbei gilt es zu beachten, dass nicht immer alle Grundmuster adäquat erkannt werden konnten. Besonders Doppelschleifen und Tannenbögen werden nur selten erkannt.

Nach der Detektion des Grundmusters schließt sich die Detektion der Minutien an. Diese erfolgt durch eine Kombination aus Crossing Number Concept (CNC) und dem Template Matching. Die Minutien werden im ausgedünnten Fingerabdruckbild ermittelt. Sowohl durch das CNC als auch durch das Template Matching werden nur Gabelminutien detektiert, da diese automatisiert am besten detektierbar sind. Für das Crossing Number Concept wird ein 3x3 Pixel großes Raster erstellt, welches den Fingerabdruck stückweise abtastet. Sobald der Mittelpunkt des Rasters auf den Pixel einer Papillarlinie trifft, wird berechnet, wie viele der Nachbarpixel ebenfalls Pixel einer Papillarlinie sind. Eine Gabel wird immer dann erkannt, wenn es drei Nachbarn gibt, die ebenfalls zu einer Papillarlinie gehören. Diese Gabeln werden dann gelb eingekreist. Für das Template Matching werden vorher erstellte Templates von Gabeln mit dem ausgedünnten Fingerabdruckbild verglichen. Die hier genutzten Templates sind 9x9 Pixel große Varianten von Gabelminutien, welche vorher mit Paint erstellt wurden. Durch den Vergleich mit den Templates wird eine *Correlation-Map* erstellt. Diese erscheint heller je stärker das Template mit dem zu untersuchenden Eindruck übereinstimmt. Um zu detektieren, ob eine Gabel vorliegt, wird die Helligkeit der *Correlation-Map* mit einem Schwellwert abgeglichen. Gefundene Gabeln werden dann mit einem grünen Kreis markiert.

3.2.6 Matching von Fingerabdrücken

Zur weiteren Evaluation wurden die digital abgelösten daktyloskopischen Spuren mit real abgelösten daktyloskopischen Spuren durch ein Fingerprint Matching miteinander verglichen. Genutzt wurde für dieses Matching das Python Fingerprint Recoginition Skript von Sashwat K von Github[4]. Beim Aufruf des Programms werden die beiden zu vergleichenden Bilder als Argumente übergeben. Das Skript extrahiert Minutien mithilfe der *Harris*

[4] https://github.com/sashuu6/python-fingerprint-recognition

Corner Detektion. Dieser Algorithmus wird hierbei dazu genutzt Ecken in den übergebenen Fingerabdrucken zu detektieren. Aufgrund dessen ist davon auszugehen, dass hauptsächlich Punkte, eingelagerte Linien sowie Linienenden und Linienanfänge detektiert werden. Anschließend wird der *oriented FAST, rotated BRIEF Algorithmus,* genutzt welcher Features um die Minutien herum extrahiert. Diese extrahierten Features werden dann mit der Brute Force Hamming Distanz miteinander verglichen, um optimale Matches der vorher detektierten Minutien zu finden. Aus diesen Matches wird dann ein Score errechnet, welcher mit einem Schwellwert verglichen wird, um zu evaluieren, ob die zwei übergebenen Fingerabdrücke übereinstimmen. Eine Übereinstimmung liegt immer dann vor, wenn die Hamming Distanz zwischen den Features nicht größer ist als 33. Da für die Anwendung dieses Skripts Vergleichsmaterial in Form von Referenzabdrücken notwendig ist, wurde es nur auf das Modell von Frau Koch angewendet. Für die anderen Modelle war kein Vergleichsmaterial in Form von physisch abgezogenen Fingerabdrücken mehr vorhanden.

4 Ergebnisse

4.1 Handscanner vs. Photogrammmetrie

Vergleicht man die digital abgelösten Spuren der photogrammetrischen Modelle mit den digital abgelösten Spuren des Handscanners, fällt auf, dass die photogrammetrischen erfassten Spuren einen höheren Detailgrad aufweisen. Abbildung 20 zeigt einen abgelösten Daumenabdruck, welcher zuvor photogrammetrisch gesichert wurde, Abbildung 21 hingegen zeigt denselben Abdruck gesichert mit dem Handscanner.
Bei den Spuren, welche mit dem Handscanner erfasst wurden, ist der Fingerabdruck nur schemenhaft zu erkennen. Bei den photogrammetrisch aufgenommen Spuren ist der Fingerabdruck klar erkennbar. Außerdem lassen sich Grundmuster und Minutien, welche für eine Identifikation benötigt werden, eindeutig erkennen.

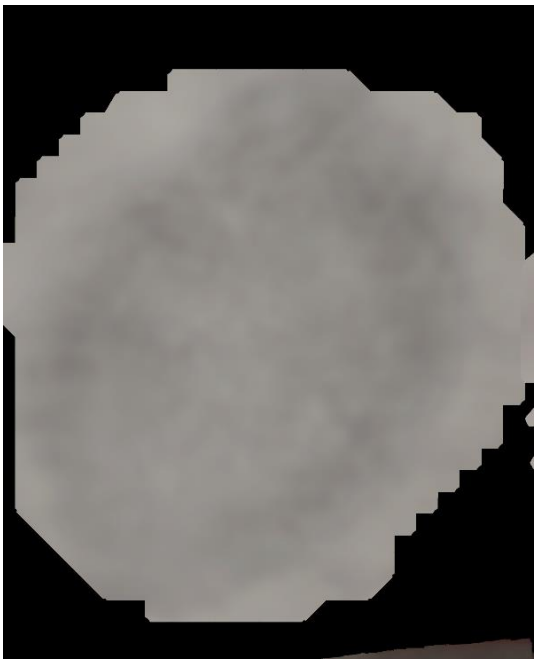


Abbildung 21: Digital abgelöster Daumenabdruck einer mit Handscanner gesicherten Spur (eigene Darstellung).

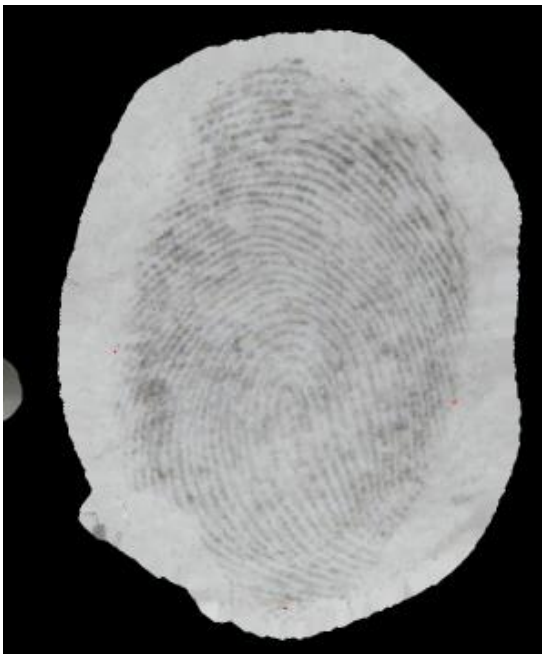


Abbildung 20: Digital abgelöster Daumenabdruck einer photogrammetrisch gesicherten Spur (eigene Darstellung).

4.2 Vermessung der Spuren

Um zu analysieren, ob die digitale Ablösung der Spuren Auswirkungen auf die Skalierung der Spuren hat, wurden die Spuren vermessen. Die Tabellen 4, 5 und 6 zeigen diese Messung beispielhaft für drei der ausgewerteten Modelle. Die Ergebnisse der Messungen der restlichen Modelle befinden sich im Anhang.

Tabelle 4: Ergebnisse der Spurenvermessung des Modells Dose Cyana. Die Werte sind gegeben als Mittelwerte in cm.

Spur	Verortung der Spur	Länge	Breite
Daumenabdruck Deckel	3D-Modell	3,041	1,718
	Digital abgelöst	63,79	36,10
Daumenabdruck Seite	3D-Modell	3,074	1,251
	Digital abgelöst	66,06	27,81
Ringfinger	3D-Modell	2,325	1,233
	Digital abgelöst	49,43	26,18
Mittelfinger	3D-Modell	2,451	1,060
	Digital abgelöst	51,74	22,81
Zeigefinger	3D-Modell	2,285	0,916
	Digital abgelöst	48,19	19,18

Tabelle 5: Ergebnisse der Spurenvermessung des Modells Tasse_L_normal2_angehalten_clean. Die Werte sind gegeben als Mittelwertem in cm.

Spur	Verortung der Spur	Länge	Breite
Daumen	3D-Modell	2,269	1,623
	Digital abgelöst	12,28	8,96
	Real abgelöst	2,338	1,677
Ringfinger	3D-Modell	1,884	1,285
	Digital abgelöst	10,41	6,44
	Real abgelöst	1,698	1,047
Mittelfinger	3D-Modell	1,750	1,176
	Digital abgelöst	9,75	6,50
	Real abgelöst	1,571	1,109
Zeigefinger	3D-Modell	1,842	1,324
	Digital abgelöst	10,29	7,24
	Real abgelöst	1,667	1,200
Kleiner Finger	3D-Modell	1,776	1,130
	Digital abgelöst	9,73	6,14
	Real abgelöst	1,612	1,058

Tabelle 6: Ergebnisse der Spurenvermessung des Modells Salbendose_Durchgang1.Die Werte sind gegeben als Mittelwerte in cm.

Spur	Verortung der Spur	Länge	Breite
Daumabdruck Deckel	3D-Modell	2,892	1,881
	Digital abgelöst	2,697	1,749
	Real abgelöst	2,762	1,730
Daumenabdruck Seite	3D-Modell	2,617	1,434
	Digital abgelöst	2,077	1,177
	Real abgelöst	2,437	1,339
Ringfinger	3D-Modell	2,008	1,123
	Digital abgelöst	1,867	1,055
	Real abgelöst	2,072	1,016
Mittelfinger	3D-Modell	2,502	1,274
	Digital abgelöst	2,289	1,194
	Real abgelöst	2,406	1,295
Zeigefinger	3D-Modell	2,618	1,162
	Digital abgelöst	2,426	1,104
	Real abgelöst	2,468	1,077

4.3 Grundmusterdetektion der digital abgelösten daktyloskopischen Spuren

Da für 14 der bearbeiteten Modelle kein Vergleichsmaterial vorlag, wurde für diese Modelle zunächst evaluiert, ob es möglich ist, bei den digital abgezogenen Spuren eine automatisierte Detektion des Grundmusters durchzuführen. Ausgewertet wurde hierbei, bei wie vielen den untersuchten Fingerabdrücken ein Grundmuster detektierbar war. Die Ergebnisse dieser Evaluation sind in Tabelle 7 dargestellt, Tabelle 8 zeigt die detektierten Grundmuster, sofern eine Detektion möglich war.

Tabelle 7: Ergebnisse der automatisierten Grundmusterdetektion

Modell	Automatisierte Grundmusterdetektion
Dose_Cyana	2 von 5 Grundmuster detektierbar
Dose_Magnet_5-4grad_V2	5 von 5 Grundmuster detektierbar
Dose_Magnet_schwarz	5 von 5 Grundmuster detektierbar
Dose_Magnet_schwarz_5_4_grad	2 von 5 Grundmuster detektierbar
Dose_Russ_4_4grad_V2	5 von 5 Grundmuster detektierbar
Dose_Floupink_ohneUV	5 von 5 Grundmuster detektierbar
Dose_Flou	0 von 1 Grundmuster detektierbar
Dose_flou_16_10	0 von 1 Grundmuster detektierbar
Dose_flou_mit	0 von 1 Grundmuster detektierbar
Dose_hell_makro_1	1 von 1 Grundmuster detektierbar
Dose_hell_ohn_pol	2 von 2 Grundmuster detektierbar

Dose_hell_pol	0 von 4 Grundmuster detektierbar
Dose_hell_pol_makro	5 von 5 Grundmuster detektierbar
Energie_dose	1 von 1 Grundmuster detektierbar

Tabelle 8: Übersicht über die detektierten Grundmuster für die Modelle, bei denen einen Detektion durchgeführt werden konnte. / bedeutet hierbei, dass keine Detektion durchgeführt werden konnte.

Modell	**Detektiertes Grundmuster**
Dose_Cyana	Daumen_Deckel: Schleife links Daumen_Seite: / Zeigefinger: / Mittelfinger: / Ringfinger: Schleife rechts
Dose_Magnet_5-4grad_V2	Daumen_Deckel: Wirbel Daumen_Seite: Schleife links Zeigefinger: Schleife links Mittelfinger: Schleife links Ringfinger: Schleife links
Dose_Magnet_schwarz	Daumen_Deckel: Schleife links Daumen_Seite: Schleife links Zeigefinger: Schleife links Mittelfinger: Schleife links

	Ringfinger: Schleife links
Dose_Magnet_schwarz_5_4_grad	Daumen_Deckel: Wirbel Daumen_Seite: Schleife links Zeigefinger: / Mittelfinger: / Ringfinger: /
Dose_Russ_4_4grad_V2	Daumen_Deckel: Schleife links Daumen_Seite: Schleife links Zeigefinger: Schleife links Mittelfinger: Schleife links Ringfinger: Schleife links
Dose_Floupink_ohneUV	Daumen_Deckel: Schleife links Daumen_Seite: Schleife links Zeigefinger: Schleife links Mittelfinger: Schleife links Ringfinger: Schleife links
Dose_hell_makro_1	Daumen: Schleife links
Dose_hell_pol_makro	Daumen: Doppelschleife Zeigefinger: Wirbel Mittelfinger: Schleife links Ringfinger: Schleife links Kleiner Finger: Schleife links

Energie Dose	Daumen: Schleife links

4.4 Minutiendetektion der digital abgelösten daktyloskopischen Spuren

Zusätzlich zur Grundmusterdetektion wurde für die Spuren ohne Vergleichsmaterial eine automatisierte Detektion der Gabel-Minutien durchgeführt. Hierbei gab es drei mögliche Ergebnisse. Wenn der Fingerabdruck durch das Skript nicht verarbeitet werden konnte, wurde er als *„nicht detektierbar“* klassifiziert. Wenn das Programm nur einen Teil des Fingerabdrucks verarbeiten konnte, wurde er mit *„Teilabdruck detektierbar“* klassifiziert. Die letzte Klasse *„Ganzer Abdruck detektierbar“* wurde vergeben, wenn der ganze Abdruck durch das Programm bearbeitet werden konnte. Tabelle 9 zeigt, die Klassifizierungsergebnisse der untersuchten Fingerabdrücke.

Tabelle 9: Ergebnisse der automatisierten Minutiendetektion

Modell	Minutiendetektion
Dose_Cyana	Daumen_Deckel: Nicht detektierbar Daumen_Seite: Teilabdruck detektierbar Zeigefinger: Teilabdruck detektierbar Mittelfinger: Teilabdruck detektierbar Ringfinger: Teilabdruck detektierbar
Dose_Magnet_5-4grad_V2	Daumen_Deckel: Teilabdruck detektierbar Daumen_Seite: Teilabdruck detektierbar Zeigefinger: Teilabdruck detektierbar Mittelfinger: Teilabdruck detektierbar Ringfinger: Teilabdruck detektierbar
Dose_Magnet_schwarz	Daumen_Deckel: Teilabdruck detektierbar Daumen_Seite: Teilabdruck detektierbar

	Zeigefinger: Teilabdruck detektierbar Mittelfinger: Teilabdruck detektierbar Ringfinger: Teilabdruck detektierbar
Dose_Magnet_schwarz_5_4_grad	Daumen_Deckel: Ganzer Abdruck detektierbar Daumen_Seite: Ganzer Abdruck detektierbar Zeigefinger: Teilabdruck detektierbar Mittelfinger: Teilabdruck detektierbar Ringfinger: Teilabdruck detektierbar
Dose_Russ_4_4grad_V2	Daumen_Deckel: Teilabdruck detektierbar Daumen_Seite: Teilabdruck detektierbar Zeigefinger: Teilabdruck detektierbar Mittelfinger: Teilabdruck detektierbar Ringfinger: Teilabdruck detektierbar
Dose_Floupink_ohneUV	Daumen_Deckel: Teilabdruck detektierbar Daumen_Seite: Teilabdruck detektierbar Zeigefinger: Teilabdruck detektierbar Mittelfinger: Teilabdruck detektierbar Ringfinger: Teilabdruck detektierbar
Dose_Flou	Daumen: Teilabdruck detektierbar
Dose_flou_16_10	Daumen: Nicht detektierbar
Dose_flou_mit	Daumen: Nicht detektierbar

Dose_hell_makro_1	Daumen: Nicht detektierbar
Dose_hell_ohne_pol	Daumen: Teilabdruck detektierbar Mittelfinger: Teilabdruck detektierbar
Dose_hell_pol	Daumen: Teilabdruck detektierbar Mittelfinger: Teilabdruck detektierbar Ringfinger: Teilabdruck detektierbar Zeigefinger: Teilabdruck detektierbar
Dose_hell_pol_makro	Daumen: Teilabdruck detektierbar Zeigefinger: Teilabdruck detektierbar Mittelfinger: Teilabdruck detektierbar Ringfinger: Teilabdruck detektierbar Kleiner Finger: Teilabdruck detektierbar
Energie_dose	Daumen: Teilabdruck detektierbar

4.5 Evaluation mit Vergleichsmaterial

Für das Modell Tasse_L_normal2_angehalten_clean standen real abgezogene Fingerabdrücke und Scans der Fingerabdrücke zur Verfügung. Zur Evaluation des Arbeitsablaufs der Spurenablösungen wurden zusätzlich zur Grundmuster- und Minutiendetektion noch ein Matching der Fingerabrücke durchgeführt. Diese Schritte wurden für die real abgelösten, die digital abgelösten sowie für die Scans der Fingerabdrücke durchgeführt. Die Ergebnisse dieses Vergleichs sind im Folgenden exemplarisch für den Daumenabdruck dargestellt. Tabelle 10 verdeutlicht hierbei die Ergebnisse der Grundmusterdetektion aller drei Spurenarten. In Tabelle 11 sind die Ergebnisse der Minutiendetektion auslesbar. Abbildung 22 zeigt die teilweise und komplette Minutiendetektion für den hier evaluierten Fingerabdruck. Tabelle 12 zeigt, welche der verglichenen Fingerabdrücke ein Match ergeben haben. Abbildung 23 und 24 veranschaulichen die detektierten Minutien und deren anschließendes Matching.

Tabelle 10: Ergebnisse der Grundmusterdetektion für den Daumenabdruck des Modells Tasse_L_normal2_angehalten_clean.

Spurenart	Grundmuster	Detektiertes Grundmuster
Digital abgelöst	Möglich	Schleife links
Real abgelöst	Möglich	Flacher Bogen
Scan	Möglich	Flacher Bogen

Tabelle 11: Ergebnisse der Minutiendetektion für den Daumenabdruck des Modells Tasse_L_normal2_angehalten_clean

Spurenart	Minutiendetektion
Digital abgelöst	Teilabdruck detektierbar
Real abgelöst	Teilabdruck detektierbar
Scan	Kompletter Abdruck detektierbar

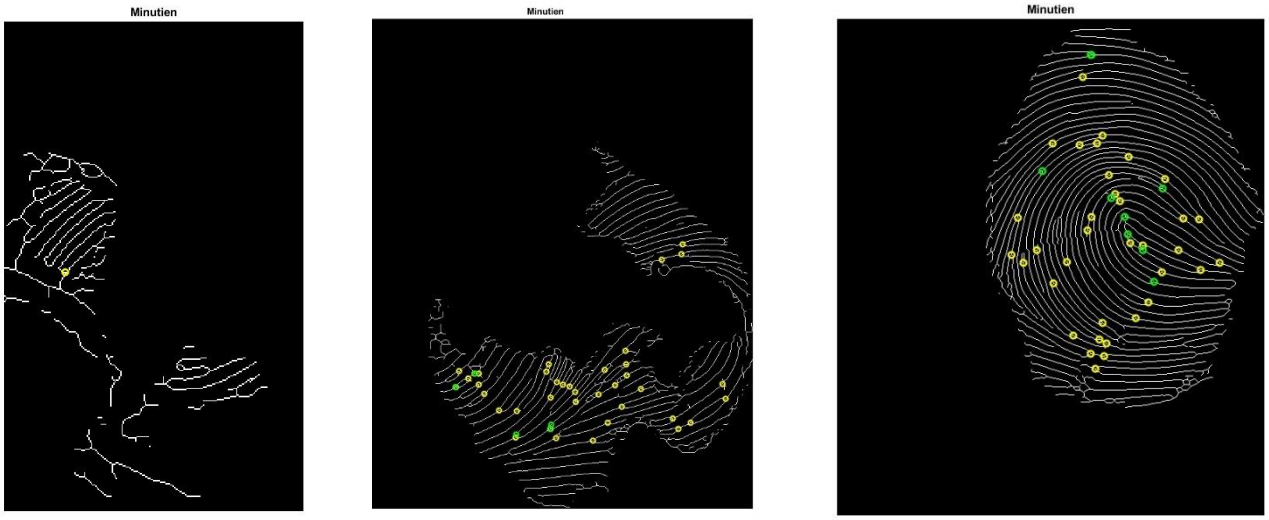


Abbildung 22: Ergebnisse der automatisierten Detektion von Gabelminutien. Links der digital abgelöste Abdruck, in der Mitte der real abgelöste Abdruck und rechts das Scanbild. Minutien, welche durch CNC detektiert wurden, sind gelb dargestellt. Grün dargestellte Minutien wurden durch Template Matching detektiert. (eigene Darstellung)

Tabelle 12: Ergebnisse des Fingerprint Matching der real sowie digital abgelösten Spuren und des Scans.

Vergleichsabdrücke		Ergebnis des Matching
Digital abgelöst	**Real abgelöst**	Match
Real abgelöst	**Scan**	Match
Digital abgelöst	**Scan**	Match

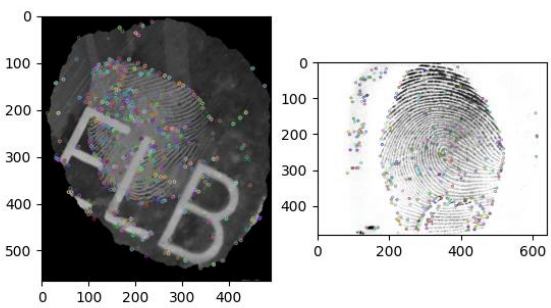


Abbildung 23: Durch Harris Corner Detektion detektierte Minutien für den real abgelösten Abdruck und den Scan (eigene Darstellung).

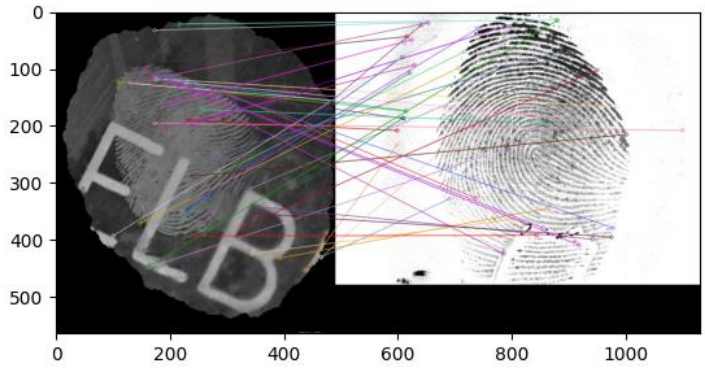


Abbildung 24: Matching der detektierten Minutien für den digital abgelösten Abdruck und den Scan (eigene Darstellung).

5 Diskussion

Bei einem Vergleich der Messergebnisse, fällt auf, dass die Fingerabdrücke im 3D-Modell deutlich kleiner sind als die digital abgelösten Fingerabdrücke. Das lässt sich darauf zurückzuführen, dass bei der Überführung vom 3D-Modell in eine 2D-Textur kein Maßstab mitgeführt wurde. Durch diesen fehlenden Maßstab lassen sich die in GIMP vermessen Werte nicht maßstabsgetreu umrechnen. Wie elementar dieser Maßstab ist, zeigen die Vermessungen des Modells, zu dem auch real abgelöste Fingerabdrücke existieren. Mit dem Maßstab auf den Bildern der real existierenden Fingerabdrücke konnten diese maßstabsgetreu vermessen werden. Hierbei hat sich gezeigt, dass die Größe der real abgelösten Spuren und der Spuren im 3D-Modell übereinstimmen. Die Ergebnisse in Tabelle 6 zeigen die Vermessung von Spuren eines Modells, bei dem ein Maßstab mitgeführt wurde. Vergleicht man die Messwerte aller drei Spuren, fällt auf, dass diese bis auf einen Ausreißer nur geringe Abweichung zeigen. Da diese Abweichung innerhalb der vorher gesetzten Fehlertoleranz liegt kann angenommen werden, dass das Mapping keinen Einfluss auf die Skalierung der Spuren hat. Die aufgetretenen Abweichungen sind mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Messfehler zurückzuführen. Ein weiterer Grund für diese Abweichung könnte der Informationsverlust sein, welcher während des Bakings durch begrenzte Rechentechnik entsteht. Bei einem Modell, welches drei Texturen der Größe 8k (8192*8192 Pixel) hat sollten diese beim Baking zu einer 24k großen Textur vereint werden, damit kein Informationsverlust auftritt. Durch begrenzte Rechentechnik ist dies jedoch nicht immer möglich. Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher immer eine 8k-Textur zum Baken verwendet. So wurden auch Modell mit drei Texturen auf eine 8k-Textur statt auf eine 24k-Textur vereint. Dies könnte ebenfalls zu Abweichungen führen.

Betrachtet man die Ergebnisse der Grundmusterdetektion, fällt auf, dass für alle Modelle von Frau Endmann die Detektion zumindest teilweise möglich ist. Bei den Modellen von Frau Strey hingegen ist es teilweise gar nicht möglich, ein Muster zu detektieren. Die häufigsten Probleme gab es hierbei bei der Detektion des Zentroids oder dadurch, dass die übergebenen Bilder kleiner waren als das Template, welches zum Vergleich zur Verfügung stand. Sollte das Problem in der Detektion des Zentroids liegen, ist es möglich, die Bilder zu invertieren, dann wird eine Detektion meist dennoch möglich. Es gibt jedoch auch Spuren, bei denen eine Detektion auch nach der Inversion nicht möglich war. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen das der Hintergrund, auf dem sie Spur aufgebracht ist, nicht einfarbig ist. In diesem Fall ist die Segmentierung zwischen Papillarlinien und Hintergrund für das Programm schwierig. Insbesondere bei den Modellen von Frau Endmann zeigt sich, dass diese Detektion bis auf zwei Ausnahmen mit den durch Begutachtung detektierten Grundmustern übereinstimmt.

Ähnlich wie bei der Grundmusterdetektion ist es auch bei der Minutiendetektion. Die Modelle von Frau Endmann konnten meist teilweise und in einem Fall komplett, detektiert werden. Die Modelle von Frau Strey waren auch hier nicht detektierbar. Da das Programm hierfür dieselbe Vorverarbeitung anwendet wie für die Grundmusterdetektion, ist es wahrscheinlich, dass auch hier ein Hintergrund, der nicht einfarbig ist, zu Problemen führt. Die Fingerabdrücke von Frau Endmann, welche nicht detektiert werden können, hatten meist stark ineinander verlaufende Papillarlinien. Dies deutet darauf hin, dass auch die Qualität der Fingerabdrücke einen Einfluss auf die Detektion hat.

Sowohl zu Grundmusterdetektion als auch zu Minutiendetektion wurden keine offiziellen Programme, sondern hochschulintern Skripte verwendet. Diese sind auf qualitativ hochwertige Scans von Fingerabdrücken ausgelegt. Im Rahmen dieser Arbeit wurden jedoch abgelöste Fingerabdrücke evaluiert, welche nicht zwangsläufig eine äquivalente Qualität haben. Das könnte ein weiteres Problem sein, welches die Detektion beeinflusst hat.

Der Vergleich der digital abgelösten Spuren mit den real abgelösten Spuren hat gezeigt, dass bei beiden Spurenarten eine Grundmusterdetektion möglich ist. Auffällig ist hierbei jedoch, dass bei den digital abgelösten Spuren ein anderes Grundmuster detektiert, wurde als bei den anderen zwei Spurenarten. Die Minutiendetektion war sowohl für die digital abgelösten Spuren als auch für die real abgelösten Spuren teilweise möglich. Die Scans der Fingerabdrücke konnten komplett detektiert werden. Dies zeigt zunächst, dass digital abgelöste Spuren den schlechtesten Informationsgehalt haben, da hier am wenigsten detektiert werden konnte. Wie bereits oben erklärt, könnte das sowohl durch das Programm als auch durch die Qualität der Fingerabdrücke zustande gekommen sein. Da keiner der digital abgelösten Fingerabdrücke komplett detektiert werden konnte, war es nicht möglich, festzustellen, ob bei allen drei Spuren dieselben Minutien detektiert wurden. Das Fingerprint Matching ergab für die Vergleiche der digital abgelösten mit dem real abgelösten identischen Fingerabdrücken ein Match. Es ist aber zu beachten, dass das hierfür genutzte Programm keine offizielle Software zum Fingerprint Matching ist. Es werden hauptsächlich Punkte sowie Linienanfänge- und Endungen detektiert. Außerdem erfolgte vor dem Matching keine Segmentierung von Fingerabdruck und Hintergrund. Da das Programm für die Minutiendetektion die Harris Corner Detektion nutzt, welche Ecken im Bild erkennt wurden auch außerhalb des Bildes „Minutien“ detektiert. Dies könnte das zu fehlerhaften Matches geführt haben. Außerdem erfolgt die Detektion und die Entscheidung über ein Match vollautomatisch und wird nicht wie üblich anschließend an die Detektion von Fachpersonal überprüft.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass mit den hier vorliegenden Ergebnissen noch nicht ausreichend bestätigt werden kann, dass digital abgelöste Fingerabdrücke denselben Informationsgehalt haben wie real abgelöste Fingerabdrücke. Um diese Fragen weiter zu untersuchen, sollten weitere Modelle mit qualitativ hochwertigen Fingerabdrücken auf Objekten ohne störenden Hintergrund erstellt und evaluiert werden. Hierbei sollte darauf geachtet werden, dass zur Kontrolle der Größe der Abdrücke in den abgelösten Bildern ein Maßstab mitgeführt wird. Außerdem sollte immer Vergleichsmaterial für die

Analyse zur Verfügung stehen. Des Weiteren sollte die Evaluation mit Programmen wiederholt werden, welche auf Spuren, die keine optimale Qualität haben, ausgelegt sind, um bestmögliche Ergebnisse zu erhalten.

6 Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, daktyloskopische Spuren aus photogrammetrischen 3D-Modellen abzulösen. Außerdem war es möglich, zu zeigen, dass diese Ablösung keinen Einfluss auf die Skalierung der Spuren hat. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, bei Fingerabrücken mit ausreichender Qualität Grundmuster und Minutien zu detektieren. Allerdings zeigten sich im Rahmen dieser Arbeit auch einige Schwachstellen in dem entwickelten Arbeitsablauf. Die verwendete Methode ist sehr rechenintensiv und führt zu Informationsverlust, wenn die Rechenleistung begrenzt ist. Ferner sind Spuren mangelnder Qualität, sowohl real als auch digital abgelöst, suboptimal und liefern im besten Fall brauchbare Teilergebnisse, im schlimmsten Fall gar keine brauchbaren Ergebnisse. Außerdem stören Hintergründe, welche nicht einfarbig sind, den Arbeitsablauf, da so keine klare Trennung der Minutien vom Hintergrund möglich ist.

Aufgrund dieser Herausforderungen bei der Evaluation konnte die Frage, ob diese abgelösten Spuren denselben Informationsgehalt haben können, noch nicht abschließend beantwortet werden.

Somit wäre ein Ansatzpunkt für zukünftig Arbeiten und weitere Forschung, diese Frage zu beantworten, sowie die Messfehler zu beseitigen. Eine Möglichkeit hierfür wäre, die Messpunkte, welche die Messtrecken markieren, bereits vor der photogrammetrischen Aufnahme auf dem Objekt aufzubringen. So könnten sich diese auch in den physischen Abzügen finden und müssten nicht geschätzt werden, sodass mit höherer Wahrscheinlichkeit dieselben Messstrecken vermessen werden. Eine weitere Optimierung der Messung könnte sich durch eine Verbesserung der Rechentechnik ergeben, um zu verhindern das Informationsverlust stattfindet. Um die Frage nach dem Informationsgehalt abschließend beantworten zu können, müssten unter optimalen Bedingungen neue Modelle erstellt werden. Diese müssen dann mit geeigneten Methoden und Programmen evaluiert werden. Wenn die Methode mit optimalen Spuren gute Ergebnisse liefert, wäre eine weiterführende Möglichkeit den Ablauf so anzupassen, dass er auch mit Spuren mangelnder Qualität gute Ergebnisse liefert. Dies wäre insbesondere sinnvoll, weil Spuren an Tatorten meist keine optimale Qualität haben. Anschließend besteht die Möglichkeit, diese Methode auf andere Spurenarten (z.B. Blutspuren, Werkzeugspuren) zu übertragen.

Literatur

ADOBE: *What is Baking?* URL https://substance3d.adobe.com/documentation/bake/what-is-baking-172818449.html – Überprüfungsdatum 18.05.2022

AUTODESK INC: *Photogrammetrie-Software.* URL https://www.autodesk.de/solutions/photogrammetry-software – Überprüfungsdatum 18.05.2022

BERND SONDEREGGER ; MARTIN URS PETER: *Der Fingerabdruck : 100 Jahre im Dienst der Eidgenossenschaft.* URL https://www.fedpol.admin.ch/dam/fedpol/de/data/sicherheit/personenidentifikation/BEA/buch-d.pdf.download.pdf/buch-d.pdf – Überprüfungsdatum 18.05.2022

BLENDER DOCUMENTATION TEAM: *Render Baking.* URL https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/cycles/baking.html. – Aktualisierungsdatum: 05.02.2022a – Überprüfungsdatum 18.05.2022

BLENDER DOCUMENTATION TEAM: *Structure.* URL https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/meshes/structure.html. – Aktualisierungsdatum: 26.07.2022b – Überprüfungsdatum 26.07.2022

CHEN, Jun ; DOWMAN, Ian ; LI, Songnian ; LI, Zhilin ; MADDEN, Marguerite ; MILLS, Jon ; PAPARODITIS, Nicolas ; ROTTENSTEINER, Franz ; SESTER, Monika ; TOTH, Charles ; TRINDER, John ; HEIPKE, Christian: *Information from imagery: ISPRS scientific vision and research agenda.* In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 115 (2016), S. 3–21

CLAUDIA STREY: *Qualitative Analyse von verschiedenartig digitalisierten Fingerspuren und entsprechenden Spurenträgern sowie deren Zuordnung zu Individuen.* Mittweida, Hochschule Mittweida. Bacherlorarbeit. 2022

DR.THOMAS KUHN: *Digitaler Zwilling.* URL https://gi.de/informatiklexikon/digitaler-zwilling/). – Aktualisierungsdatum: 16.08.2022

ERIK SELIN: *The definitive tutorial to UV mapping in Blender.* URL https://artisticrender.com/the-definitive-tutorial-to-uv-mapping-in-blender/ – Überprüfungsdatum 18.05.2022

FLAVELL, Lance: *Beginning Blender : Open source 3D modeling, animation, and game design ; [learn everything you need to know to create your own 3D design and animation projects.* New York, NY : Apress, 2010 (Books for professionals by professionals)

FRINGS, Christoph ; RABE, Frank: *Grundlagen der Kriminaltechnik I.* 2. AuflageCLAGES, Horst (Hrsg.); GATZKE, Wolfgang (Hrsg.). Hilden : Verlag Deutsche Polizeiliteratur, 2016

FURHT, Borko: *Encyclopedia of Multimedia.* New York : Springer-Verlag, 2006

GERSTEL ULRICH: *Sachverständigengutachten : -Daktyloskopie-.* Kiel, 27.02.2021

HEINDL, Robert: *System und Praxis der Daktyloskopie und der sonstigen technischen Methoden der Kriminalpolizei.* 3. Aufl., 3., 2. Aufl. Reprint 2012. Berlin : De Gruyter, 1922

HEIPKE, Christian (Hrsg.): *Photogrammetrie und Fernerkundung : Handbuch der Geodäsie.* 1. Auflage. Berlin, Germany : Springer Spektrum, 2017 (Springer Reference Naturwissenschaften)

HERRMANN, Bernd ; SATERNUS, Klaus-Steffen: *Biologische Spurenkunde.* Berlin, Heidelberg, New York : Springer, 2007

HUNGER, Horst ; LEOPOLD, Dieter: *Identifikation.* Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 1978

JOSEPHINE ENDMANN: *Photogrammetrische Aufnahmen sichtbargemachter Fingerabdrücke : Erstellung und Analyse.* Mittweida, Hochschule Mittweida. Bachelorarbeit. 2021

LABUDDE, Dirk: *Bioinformatik im handlungsfeld der forensik.* Berlin : Springer, 2018

LABUDDE, Dirk (Hrsg.); SPRANGER, Michael (Hrsg.): *Forensik in der Digitalen Welt : Moderne Methoden der forensischen Fallarbeit in der digitalen und digitalisierten realen Welt.* 1. Aufl. 2017. Berlin : Spektrum Akademischer Verlag; Springer Spektrum, 2017

LARISSA KOCH: *Ableiten des Griffgeschehens anhand Sichergestellter Spuren.* Mittweida, Hochschule Mittweida. 2022

OPEN SOURCE COMPUTER VISON: *Harris Corner Detection.* URL https://docs.opencv.org/3.4/dc/d0d/tutorial_py_features_harris.html. – Aktualisierungsdatum: 18.08.2022

THE FOUNDRY VISIONMONGERS LTD: *UV Unwrapping.* URL https://learn.foundry.com/nuke/content/comp_environment/modelbuilder/uv_unwrapping.html – Überprüfungsdatum 18.05.2022

THIEL, Wolfgang ; CLAGES, Horst ; NEIDHARDT, Klaus: *Identifizierung von Personen.* 1. Auflage. Hilden : Verlag Deutsche Polizeiliteratur, 2013 (Lehr- und Studienbriefe Kriminalistik/Kriminologie v.4)

THOMAS DENHAM: *What is UV Mapping & Unwrapping?* URL https://conceptartempire.com/uv-mapping-unwrapping/ – Überprüfungsdatum 18.05.2022

ULAS, Ertugrul: *Kriminalpolizei_am_Limit* (2021) – Überprüfungsdatum 17.08.2022

URUSLA BUCK: *Laserscanning in der Kriminalistik.* In: *zfv -Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement* (2010), Nr. 3, S. 190–198

Anlagen

Teil 1 Diagramm…… A-V

Teil 2 Digitale Anlagen…… A-VI

Anlagen, Teil 1 Diagramm

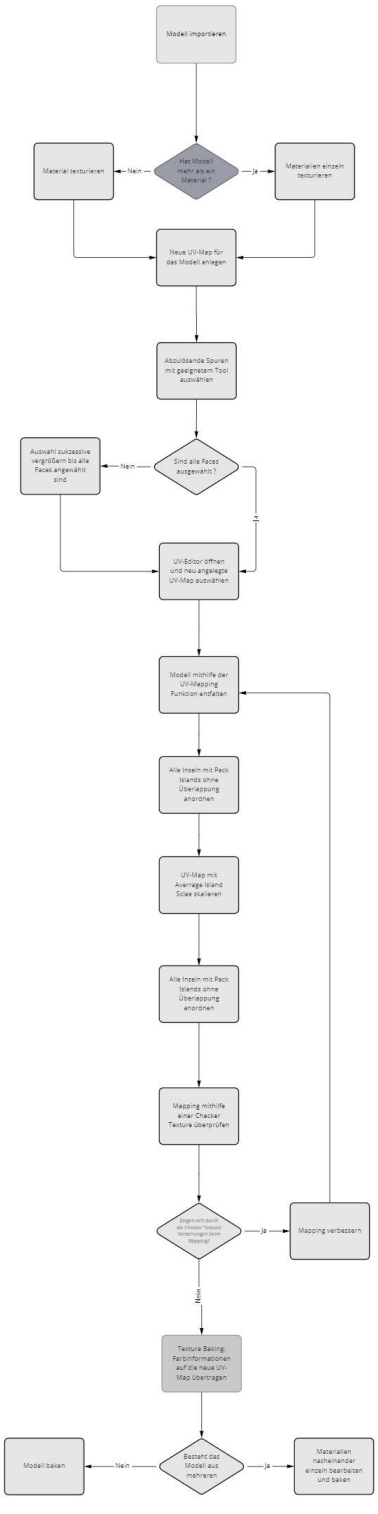


Abbildung 25:Flussdiagramm des Arbeitsablaufs zum Ablösen daktyloskopischer Spuren

Anlagen, Teil 2 Digitale Anlagen

Zur besseren Übersichtlichkeit wurden die originalen und die verbesserten Texturen der Modelle, die Ergebnisse der Spurenvermessungen und die bildlichen Ergebnisse des Fingerprint Matching in einer zusätzlichen zip-Datei dieser Arbeit beigefügt.

Teil 1: Texturen der Modelle von Frau Endmann

Teil 2: Texturen der Modelle von Frau Strey

Teil 3: Texturen der Modelle von Frau Koch

Teil 4: Texturen der Modelle von Frau Engler

Teil 5: Ergebnisse der Spurenvermessungen der Modelle

Teil 6: Ergebnisse des Fingerprint Matching zum Modell von Frau Koch

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 29.August.2022

Rebecca Engler