
BACHELORARBEIT

Frau
Janine Bachmann

**Digitalisierung und Simulierung
einer Hose zur Evaluation der
texturellen Eigenschaften als
Grundlage zur weiteren Analyse
im Bereich der forensischen
Fallanalyse**

**Methoden der Film- und Spielindustrie im
Handlungsfeld der Forensik**

2022

BACHELORARBEIT

Digitalisierung und Simulierung einer Hose zur Evaluation der texturellen Eigenschaften als Grundlage zur weiteren Analyse im Bereich der forensischen Fallanalyse

**Methoden der Film- und Spielindustrie im
Handlungsfeld der Forensik**

Autorin:

Janine Bachmann

Studiengang:

Allgemeine und Digitale Forensik

Seminargruppe:

FO19w2-B

Erstprüfer:

Prof. Dr. rer. nat. Dirk Labudde

Zweitprüfer:

Hanjo Tim Fritzsich, B.Sc.

Mittweida, 30.August 2022

Faculty of **Applied Computer Sciences and Biosciences**

BACHELOR THESIS

**Digitization and simulation of a pair of
trousers to evaluate the textural
properties as a basis for further analysis
in the field of forensic case analysis
Methods of the film and game industry in
the field of action of forensics**

Author:

Janine Bachmann

Course of Study:

Applied Computer Science

Seminar Group:

FO19w2-B

First Examiner:

Prof. Dr. rer. nat. Dirk Labudde

Second Examiner:

Hanjo Tim Fritzsch, B.Sc.

Submission:

Mittweida, 30.08.2022

Bibliografische Angaben

Bachmann, Janine: Digitalisierung und Simulierung einer Hose zur Evaluation der textuellen Eigenschaften als Grundlage zur weiteren Analyse im Bereich der forensischen Fallanalyse, Methoden der Film- und Spielindustrie im Handlungsfeld der Forensik, 91 Seiten, 50 Abbildungen, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften

Bachelorarbeit, 2022

Referat

In dieser Arbeit soll es um die Digitalisierung von Asservaten zur nachfolgenden Simulation im digitalen Raum handeln. Das Hauptaugenmerk soll dabei auf der Evaluation der Übertragbarkeit von Relationen zwischen den genannten Asservaten liegen. Zu zeigen soll sein, dass beim Anziehen einer Hose an einen Körper Relationen in Form individueller Falten entstehen, welche zum einen durch die Digitalisierung nicht verloren gehen sollen. Zum anderen soll analysiert werden inwieweit diese Relationen als Nebenprodukt bei dem Nachbau einer digitalen Anzieh-Simulation mit Hilfe der Digitalisate entstehen. Die Qualität dieser Relationen wird dabei im Vergleich zu den real-weltlichen Relationen verglichen. Neben der Hose als erstes Asservat wird sich außerdem einer Kleiderpuppe als zweites Asservat gewidmet. Die Kleiderpuppe bildet dabei eine Abstraktion zu einem menschlichen Körper auf Grund von Vereinfachungen dar. Auch wenn die Forensik über eine große Vielfalt an Methoden zur computergestützten Aufnahme, Analyse und Rekonstruktion von Spuren verfügt zeigt sich ein großer Bedarf hinsichtlich Techniken in Bezug auf die computergestützte Modellierung. Des Weiteren soll vor allem das Hauptaugenmerk von biometrischen Merkmalen wie beispielsweise Fingerabdrücken auf weitere wichtige Bestandteile eines Tatortes wie die Kleidung gerichtet werden. Mit Bezug auf diese Aussagen soll diese Arbeit zeigen, dass die Forensik zum aktuellen Zeitpunkt nicht über die benötigten Methoden verfügt, weshalb Methoden der Film- und Spieleindustrie benötigt werden. Eine spätere Evaluation soll dabei der Nutzen dieser Methoden hervorgehoben werden. Bei diesen Betrachtungen ist vor allem der Unterschied wichtig, dass bei der Film- und Spieleindustrie die gewählte Perspektive entscheidend für den Realitätsgrad der Simulationen ist, wohingegen in der Forensik stets der höchste Realitätsgrad eines ganzen Abbildes angestrebt wird. Um den Nutzen in der Forensik zu analysieren wird der enthaltene Wahrheitsgehalt der Methoden evaluiert. So können zukünftig diese Erkenntnisse als Grundlagen für die Entwicklung eigener Methoden im Fachbereich der Forensik genutzt werden.

I. Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Motivation mit Rückbezug auf Vorversuche	2
1.3 Ziel dieser Arbeit	3
1.4 Aufbau der Arbeit	4
2 Grundlagen	7
2.1 State of the Art	7
2.1.1 Stand der Forensik	7
2.1.2 Stand der Film- und Spieleindustrie	12
2.2 Begriffserklärung und Abgrenzungen	13
3 Das Experiment	19
3.1 Idee des Experimentes	19
3.2 Programmauswahl	20
3.3 Material und Vorbereitungen	21
3.4 Methodiken	30
3.4.1 Erstellung der Aufnahmen	30
3.4.1.1 Aufnahmen mittels Photogrammetrie	30
3.4.1.2 Aufnahmen mittels Handscanner	31
3.4.2 Umwandlungen der Aufnahmen in 3D Modelle	32
3.4.2.1 Photogrammetrie	34
3.4.2.2 Handscanner	37
3.4.3 Weiterverarbeitung der erstellten 3D Modelle	44
3.4.4 Stoffsimulation	46
3.4.4.1 Aufbau und Layout des Experimentes im 3D Raum	46
3.4.4.2 Funktionen und Einstellungen	46

3.4.4.3	Durchführung	48
3.5	Probleme und Lösungsansätze	54
3.5.1	Probleme bei der Erzeugung der Aufnahmen	54
3.5.2	Probleme bei der 3D Modell Erstellung	55
3.5.2.1	Probleme bei der Durchführung der Simulationen	56
3.6	Evaluation der Ergebnisse	56
3.6.1	Vergleich der Erscheinungsbilder	57
3.6.2	Überlagerungen im 3D Raum	59
3.6.3	Vermessungen	60
4	Auswertung	81
4.1	Auswertung zum Vergleich der Techniken der Modellerstellung	81
4.2	Auswertung der Simulation	82
4.3	Diskussion	84
5	Fazit	87
6	Ausblick	89

Abbildungsverzeichnis

1	Abbildung über die Ergebnisse des Virtopsy Projekts, [25]	12
2	Abbildung über das Locard'sche Prinzip im digitalen und physischen Tatort, [40]	18
3	Abbildung der benutzten Hose von der Vorder- und Hinterseite	23
4	Abbildung der benutzten Schaufensterpuppe	24
5	Abbildung des photogrammetrischen Aufnahmesystems aus Blickrichtung der späteren Erstellung der Aufnahmen	25
6	Abbildung des photogrammetrischen Aufnahmesystemes aus seitlicher Perspektive	25
7	Abbildung der programminternen Einstellungen zu den Kameras	26
8	Abbildung der Schaufensterpuppe vor der Vorbereitung	27
9	Abbildung der Schaufensterpuppe nach den Vorbereitungen	27
10	Abbildung über extrahierte Feature, Abbildung 10a zeigt die extrahierten Feature der nicht bearbeiteten Puppe, Abbildung 10b zeigt extrahierte Feature nach Bearbeitung der Puppe, Abbildung 10c zeigt die extrahierten Feature aus der Hose	28
11	Abbildung der markierten Nähte mit Benennung, Hose von vorne	30
12	Abbildung der markierten Nähte mit Benennung, Hose von hinten	31
13	Abbildung der Ansicht des Bildschirm des Scanners während eines Scan Vorgangs, [18]	33
14	Abbildung der Position der Puppe und Hose zur Aufnahme der Hose alleine	34
15	Abbildung des ersten Teils der Pipeline der verschiedenen Funktionen zur Umwandlung der Kameraaufnahmen in ein 3D Modell mittels Meshroom	36
16	Abbildung des zweiten Teils der Pipeline der verschiedenen Funktionen zur Umwandlung der Kameraaufnahmen in ein 3D Modell mittels Meshroom	36
17	Abbildung der durch das Programm erstellten Ordner und Dateien	37
18	Abbildung der endgültigen Ergebnisse aus der Photogrammetrie Pipeline	37
19	Abbildung der Dateien pro Scanvorgang nach Übertragung vom Scanner auf einen PC	38
20	Abbildung weiterer Dateien	38
21	Abbildung eines Scandurchgangs mit dem Handscanner, Auflistung der verschiedenen Scans mit ihren Eigenschaften	39
22	Abbildung eines beispielhaften Ausschnittes über Frames eines Scans	40
23	Abbildung zu den Error Werten in den einzelnen Scans Bezogen auf die verschiedenen Handscanner Arten, [19]	41
24	Abbildung der Pipeline zur Erstellung der 3D Modelle mittels Artec Studio 16, [18]	41
25	Collage zweier Scans vor und nach dem Alignen in unterschiedlichen Darstellungsmethoden	43
26	Abbildung der entstandenen Dateien durch den Export	43

27	Collage beispielhafter Modelle direkt nach dem Import in Blender, untexturiert und nicht vorverarbeitet, Abbildung 27a zeigt das 3D Modell der Puppe, Abbildung 27b zeigt das 3D Modell der Hose an der Puppe, Abbildung 27c zeigt die alleinige Hose	44
28	Abbildung der Strukturen in Blender, [8]	45
29	Collage über die vorverarbeiteten Modelle, Abbildung 29a zeigt die fertige Puppe, Abbildung 29b zeigt die fertige Hose an der Puppe, Abbildung 29c zeigt die alleinige Hose nach der Vorverarbeitung	47
30	Abbildung des Aufbaus der importierten Modelle in Blender	51
31	Abbildung des Vorgangs des riggens der Puppe, beispielhafte Positionierung der Knochen der Füße und Unterschenkel in der Puppe	52
32	Abbildung des neuen Aufbaus der Kollektion in Blender	52
33	Collage über die verschiedenen Positionen der Puppe, Abbildung 33a zeigt die Positionierung der Puppe in der Hose vor der Nutzung des Rigs, Abbildung 29b zeigt die Position der Puppe in der Hose nach Nutzung des Meta Rigs, Abbildung 29c zeigt die Position der Puppe unter der Hose	53
34	Abbildung der ersten definierten Vertex Gruppe mit Bündchen und beiden Hosenbeinöffnungen	55
35	Collage über die verschiedenen angewendeten Modifier, Abbildung 35a zeigt den Modifier Stack der Hose, Abbildung 29b zeigt den Modifier Stack der Puppe	56
36	Collage der 3D Modelle nach der Überprüfungssimulation, von Links nach Rechts Modelle der Reihenfolge 2,3,4,5,6	58
37	Abbildung der veränderten Vertex Group der Hose	59
38	Abbildung des ausgegebenen Errors nach gescheiterter Ausführung der Texturierungsfunktion	60
39	Abbildung der markierten Bereiche auf der Hose, Betrachtungspunkte des Erscheinungsbildes	62
40	Collage der 3D Modelle vor der Überprüfungssimulation, der Reihe von links nach rechts 2,3,4,5,6	64
41	Collage der 3D Modelle nach der Überprüfungssimulation von vorne, von Links nach Rechts Modelle der Reihenfolge 2,3,4,5,6	65
42	Collage der 3D Modelle nach der Überprüfungssimulation von hinten, von Links nach Rechts Modelle der Reihenfolge 2,3,4,5,6	66
43	Abbildung des Modells vor und nach der eigentlichen Simulation	67
44	Abbildung des Vorgehens zur Überlagerung der Modelle nach abgeschlossener Simulation	68
45	Abbildung der Ergebnisse im Raum nach den Überlagerungen und Markierungen der 3D Modelle	69
46	Abbildung der markierten Messstrecken mit Benennungen auf der Vorderseite der Hose, für die Vermessungen	71
47	Abbildung der markierten Messstrecken mit Benennungen auf der Hinterseite der Hose, für die Vermessungen	71
48	Tabelle der Maße zwischen ausgewählten Punkten in allen Modellen vor Durchführung der Simulation	72

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

49	Tabelle der Maße zwischen ausgewählten Punkten in allen Modellen nach Durchführung der Simulation	73
50	Abbildung über die verschiedenen erzeugten Texture Maps, die obere Abbildung zeigt die des Scanners und die untere die der Photogrammetrie	75

Tabellenverzeichnis

1	Kombinationen der Modelle für die Durchführung der eigentlichen Simulation	50
2	Kombinationen der Modelle für die Durchführung der Überprüfungssimulation	50

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Wie bereits Bernd Herrmann definiert setzt sich die Analysen von Spuren in der Forensik nicht nur aus dem materiellen Wissen über eine Spur sondern auch über die Ursache-Wirkung Beziehung zusammen. Dabei gilt es eine Transferleistung zu erbringen, die sich mit der erkenntnistheoretischen Seite der Spur beschäftigt. [35]

Bei der Forensik geht es daher fundamental um „das Ziel [...] die komplette und optimale Rekonstruktion der Tat, um die Wahrheit herauszufinden“. [38] Um dieses Ziel zu erreichen befasst sich die Forschung mit neuen Methoden und Methodiken um mehr Aufschluss für die Wahrheitsfindung zu ermöglichen, welche sich dabei nicht nur mit dem realweltlichen Tatort, sondern auch weiterführend mit allem was zu einem Tatort dazu zählt im speziellen vor allem dem digitalen Tatort zu beschäftigen. [38] Beispielsweise kann die „Virtopsy-virtuelle Autopsy“ [25] oder auch einzelne Methoden wie „automatisiertem Fingerabdruckidentifizierungssystem“ und „3D Gesichtsweichteilsrekonstruktion“. [38] angeführt werden.

Dies zeigt auf, dass es eine Reihe an verschiedenster Forschung zur Digitalisierung der Forensik und seinen Methoden gibt. Erwähnenswert ist, dass sich viele Techniken mit dem Tatort oder Eigenschaften von Menschen beschäftigen. Hingegen gibt es nur weniger Forschung in Richtung Kleidung. Dies sollte allerdings auch von hohem Interesse sein, wenn es sich beispielsweise um die Analyse von Bewegungsabläufen handelt. So können bereits Wege zur digitalen Rekonstruktion von Abläufen von Unfällen und den damit verbundenen Verletzungsbildern entwickelt werden wie in dem eben genannten Projekt Virtopsy [25], allerdings wären weitere Überlegungen hinsichtlich entstandenen Spuren auf Kleidungen denkbar. Dabei könnte die Rekonstruktion von Bewegungsabläufen eines Körpers mit Bezug auf Spurenentstehung denkbar sein. Tatsächlich könnte Aufschluss über im selben Zeitraum auf den Kleidungsstücken entstandene Spuren erreicht werden und damit Tatverläufe rekonstruiert und verstanden werden. Zur Annäherung an diese Überlegung dient diese Arbeit. Um sich dem großen Bereich von Bewegungsabläufen und Rekonstruktionen zu nähern müssen allerdings vorher die digitalen Mittel abgeschätzt werden. Da es bisher kein bis wenig Forschung sowie bewährte Methoden gibt gilt es Methoden aus anderen Bereichen zu approximieren und in Bezug auf diese Arbeit zu evaluieren.

In dieser Arbeit gilt vor allem zu prüfen inwieweit sich realistische 3D Modelle von analogen Asservaten erzeugen lassen und bis zu welchem Grad sich festgestellte Relationen zwischen diesen Asservaten in den Digitalisaten abbilden lassen. Relationen können sich dabei auf verschiedenste Weisen zwischen genannten Asservaten zeigen. Zu den Möglichkeiten gehören zum Beispiel unterschiedliche Anhaftungen beispielsweise von Blut oder anderen Stoffe mit denen Bewegungsabläufe nachvollzogen werden können. Allerdings besteht auch die Möglichkeit individuelle Faltenlegungen je nach Maße eines bestimmten Körpers festzustellen. Dies wird der Mittelpunkt dieser Arbeit. Wie oben erwähnt wird sich dabei an Methoden aus anderen Bereichen bedient dabei vor allem aus der Film- und Spieleindustrie.

Grundsätzlich haben Methoden aus diesen Bereichen dasselbe Ziel, welches auch für die Forensik an höchster Stelle steht. Dieses ist die erzeugten Modelle realitätsgetreu darzustellen und für den Betrachter aus der gegebenen Perspektive ein gutes Bild zu erzeugen. Da wie oben erwähnt die Forensik ein Feld der Wahrheitsforschung ist muss allerdings auch

erwähnt werden, dass das Ziel nicht nur ist die Modelle in einer ausgewählten Perspektive realitätsgetreu aussehen zu lassen, sondern als Ganzes zu betrachten und ein allgemein realistisches Modell zu erzeugen. Deshalb muss in dieser Arbeit außerdem der Nutzen der ausgewählten Methoden für die Forensik analysiert werden.

Alle aus dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse können für spätere Arbeiten ein Grundgerüst bilden. So kann nicht nur wie bereits erwähnt die Virtopsy in Form von Bewegungsabläufen hinsichtlich der Kleidung erweitert werden, sondern wäre beispielsweise eine Erweiterung des COMBI Projekts denkbar. Da sich das COMBI mit „Computerbasierte forensische Bewegungsanalyse zur Identifizierung von Personen“ beschäftigt können dabei vor allem die erwähnten individuellen Muster der Faltenlegung einen Aufschluss über die Zuordnung von Kleidung zu Menschen geben.[27]

1.2 Motivation mit Rückbezug auf Vorversuche

Vorangegangen zu dieser Arbeit ist ein Vorversuch „Manipulation von digitalisierten Spurenrägern“. Ebenfalls zu dieser Arbeit stand eine Hose im Mittelpunkt der Betrachtungen wobei die digitale Visualisierung von Spuren an der Hose ergründet werden sollte. Dabei sollte vor allem auf den Erhalt des Realitätsgrades und das Unterlassen von Manipulationen berücksichtigt werden. Bei der Ausgangslage handelte es sich um vermutete Schuhabdruckspuren auf der Oberfläche der Hose. Im Nachfolgenden sollten diese Spuren auf Aussehen und Entstehung analysiert werden. Interessant war bei den Betrachtungen auch wie stark ausgeprägte Falten im Material der Hose entstanden sein können, wobei auch denkbar ist, dass sie unter anderem auch die Entstehung der Schuhabdruckspuren beeinflusst haben könnten. Bei näherer Betrachtung der Hose fielen außerdem weitere Spuren am Bündchen der Hose auf. Diese wurden vorerst als Klammerspuren in Form von Abdrücken durch eine Wäscheklammer eingeordnet. Um diese Spuren näher zu prüfen wurden Alternativen zur Darstellung von Spuren auf einem Digitalisat gesucht. Genauer erklärt sollten die Entstehung der Spuren und der Zusammenhang der Spuren zueinander. Dafür wurden Bilder eines analogen Asservates und ein 3D Modell des Asservates zur Verfügung gestellt. Mittels Vermessung der eigentlichen Hose und des 3D Modells nach den Veränderungen durch ausgewählte Methoden konnte im Nachhinein die Funktionalität und der Erhalt des Realitätsgrades evaluiert werden. Im Vergleich zu dieser Arbeit ist zu erwähnen, dass bei dem vorherigen Experiment das Hauptaugenmerk nur auf einem kleinen Teil der Hose, nämlich vor allem den Klammerspuren, lag. Somit wächst für diese Arbeit der Anspruchsgrad. Da bereits schon bei dieser Arbeit die Faltenlegung als Ausblick für weitere Arbeiten definiert wurde wird sich diesem nun gewidmet. [24]

1.3 Ziel dieser Arbeit

Im Folgenden werden die Forschungsfragen definiert, die es in dieser Arbeit zu beantworten gilt. Nach Durchführung und Evaluation des entsprechenden Experimentes wird sich im Fazit auf dieses Fragen rückbezogen.

Zu aller Erst soll geklärt werden, ob man mittels verschiedenen Aufnahmetechniken sowie etablierter Mittel und Methoden aus der Film- und Spieleindustrie annähernd zu den realen Objekten identische digitale Zwillinge erzeugen kann. Bei den Aufnahmetechniken

werden Photogrammetrie und ein Handscanner gegenüber gestellt. Die genannten digitalen Zwillinge sollen in Form einer Stoffsimulation erfolgen, hierbei sollen die Digitalisate der Asservate in Verbindung gebracht werden. Speziell handelt es sich bei den zu digitalisierenden Asservaten um eine Hose und eine Schaufensterpuppe. Wie später noch genauer erklärt wird, wird die Puppe als Ersatz zu einem echten Körper verwendet. Dies soll das Problem der Wiederholbarkeit des Experimentes simplifizieren und zu dem bei Problemen die Evaluation nach dem Ursprung vereinfachen. Da diese Arbeit nur die Möglichkeiten der Übertragbarkeit ergründet und nicht zusätzlich nach Verbesserungen sucht wird für den Anfang nur die Schaufensterpuppe verwendet.

Des Weiteren soll erörtert werden, ob diese Simulationen nachfolgend die tatsächlichen Relationen zwischen den originalen Gegenständen widerspiegeln können. Zu den genannten Relationen werden vor allem die individuellen Faltenlegungen nach Anziehen der Hose an einen Körper gezählt. Das Anziehen wird dabei sowohl in der Realität durchgeführt als auch in der Stoffsimulation nachgestellt.

Als Letztes soll evaluiert werden, welche Aussagen zur analogen Fallarbeit in Bezug auf den enthaltenen Wahrheitsgehalt und Nutzen für zukünftige Arbeiten getroffen werden kann? Es soll speziell auf die enthaltenen, möglicherweise nicht umgänglichen, Manipulationen sowie der Realitätsgrad eingegangen werden.

1.4 Aufbau der Arbeit

Um die in den Abschnitten 1.1, 1.2 und 1.3 genannten Begriffe und Thesen besser verständlich zu machen werden im 2.Kapitel Grundlagen besprochen. Da diese Arbeit interdisziplinär ist werden sowohl Grundbegriffe aus der Forensik als auch der Film- und Spieleindustrie erklärt. Unter folgende Kapitel fallen

- State of the Art, indem der generelle Stand der Technik und relevante Forschungsprojekte aufgeführt werden, sowie vor allem die in der Einleitung genannten Projekte erklärt werden
- Begriffserklärung und Abgrenzungen, worunter genannte Begriffe fallen, die in ihrer Definition erklärt und in diese Arbeit eingeordnet werden

Auf das Hintergrundwissen folgt die Umsetzung der Forschungsfrage in Form eines Experimentes. Dieser Abschnitt ist aufgeteilt in

- Idee des Experimentes, indem nochmal die grundlegende Idee für diese Arbeit aufgegriffen und die damit verbundene Umsetzung beschrieben wird
- Programmauswahl, welche alle benötigten Programme für dieses Experiment auflistet und eine Begründung für die getroffene Auswahl gibt
- Material und Vorbereitungen, beschreibt alle Materialien, die für dieses Experiment benutzt wurden und ihre individuelle Vorbereitung vor Durchführung der Simulationen
- Methodiken, bei der eine zusätzliche Einteilung in folgende Abschnitte vorgenommen wurde

- Erstellung der Aufnahmen, welche sich auf die Methoden zur Erstellung der digitalen Aufnahmen aus den realen Modellen beziehen
 - Umwandlung der Aufnahmen, die die Schritte zur Erstellung der 3D Modelle aus den digitalen Aufnahmen erklären
 - Weiterverarbeitung der Modelle, indem zusätzliche Methoden beschrieben werden, die benötigt werden um die Modelle auf die Simulation vorzubereiten
 - Stoffsimulation, welche das eigentliche Experiment zusammenfasst und alle Schritte bis zur fertigen Simulation erklärt
- Probleme und Lösungsansätze, hier werden alle aufgetretenen Probleme zusätzlich mit den hier angewandten Lösungsmöglichkeiten erklärt
 - Evaluation der Ergebnisse, welche alle Methoden und Schritte beschreibt um am Ende ein genaues Fazit über die Ergebnisse des Experimentes ziehen zu können

Zum Abschluss werden nochmals alle Ergebnisse angeführt und auf die Forschungsfrage bezogen. Zusätzlich wird eine Wertung verfasst mit Rückbezug auf alle Erkenntnisse, unter welche sowohl Möglichkeiten als auch Grenzen des Experimentes fallen. Dies wird in der Diskussion dargestellt. Ein Fazit umschließt alle Ergebnisse des Experimentes und fasst alles nochmals in Kürze zusammen. Alle weiteren möglichen Ansatzpunkte, die sowohl aus dieser Arbeit als auch der vorangegangenen Arbeit entspringen werden im Ausblick erklärt und geben eine Perspektive für zukünftige Arbeiten.

2 Grundlagen

2.1 State of the Art

2.1.1 Stand der Forensik

Wie schon in der Einleitung genannt gibt es bereits etablierte digitale Techniken in der Forensik. Eine Vielzahl dieser Techniken lässt sich dabei in die Gruppe der Analyse von „biometrischen Merkmale[n] zur Personenidentifizierung“ einordnen. [38] „Eines der anerkanntesten Merkmale stellt bis heute der Fingerabdruck dar“. [38] Dieser hat sich neben den anderen biometrischen Merkmalen, wie dem Handabdruck, Muster der Ohrmuschel oder der Iris bis heute bewiesen und weist einen starken Werdegang auf. Von der simplen Methode Fingerabdrücke mit Tinte abzuziehen und auf Zehnfingerblätter aufzutragen wurde eine effiziente, datenbankgestützte Speicherung der Fingerabdrücke mit automatisiertem Fingerabdruckidentifizierungssystem (AFIS). [38]

Neben den digitalen Methoden zur Analyse gibt es auch digitale Methoden zur Rekonstruktion. Dazu gehört zum Beispiel die bereits erwähnte computergestützte forensische 3D Gesichtswerteilrekonstruktion. Diese „ist eine Variante der Auswertung von vorgefundenen biologischen Spuren und dem daraus abgeleiteten Versuch, das äußere Erscheinungsbild [...] in einem möglichst realen und lebensnahen Modell nachzubilden“. [38]

Die aufgeführten Methoden sollen einen kleinen Einblick über die Möglichkeiten der Digitalisierung in der Forensik gewähren. Diese Erkenntnisse haben zwar grundlegend keinen

Zusammenhang mit dieser Arbeit, zeigen aber dennoch die Bemühungen in der Forschung und die Möglichkeit zur Digitalisierung auf. Dies ist vor allem erwähnenswert, da es sich bei den behandelten Merkmalen um hoch individuelle Eigenschaften handelt und damit eine hohe Genauigkeit der Methoden die wichtigste Voraussetzung für den Erfolg darstellt. Nun werden Projekt, die eine Grundlage für diese Arbeit legen und einen ähnlichen Ansatz verfolgen vorgestellt. Voran geht die Arbeit von Stephan A. Bolliger et al. „Virtual autopsy using imaging: bridging radiologic and forensic sciences. A review of the Virtopsy and similar projects “. In dieser Arbeit wird vor allem die Analyse der bereits erwähnten Ursache-Wirkung Beziehung deutlich. Es wird ein detaillierter Auszug über die Entstehung von Unfallmustern bei Aufeinandertreffen eines Körpers auf ein Auto dargestellt. Dabei können starke Zusammenhänge zwischen den Unfallverletzungen am Körper des Menschen und dem Auto erkannt werden. Diese Relationen lassen sich mit denen, die in dieser Arbeit untersucht werden sollen vergleichen. Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse des Projekts. Dabei wird beschrieben, dass „Abb. 1a-d Dreidimensionale Oberflächenabtastung eines Verkehrsunfalls "darstellen. „Ein Auto soll beim Rückwärtsfahren einen Fußgänger angefahren haben. Der Mann wurde niedergeschlagen, überrollt und erlag schließlich einer Embolie. Die Körperoberfläche wurde gescannt und mit den CT-Daten des Skeletts fusioniert "Diese Daten sind in a dargestellt. „Dank der skalierten Proportionen, [...] erhält man ein korrekt proportioniertes Modell der Leiche ", welches in b dargestellt ist. „Nach dem Scannen des fraglichen Fahrzeugs (c) wird das Modell der Leiche, das in dem in b beschriebenen Schritt erhalten wurde, mit den Beschädigungen des Modells des Fahrzeugs, das in c zu sehen ist verglichen "Die Ergebnisse des Vergleiches sind in d abgebildet. [25]

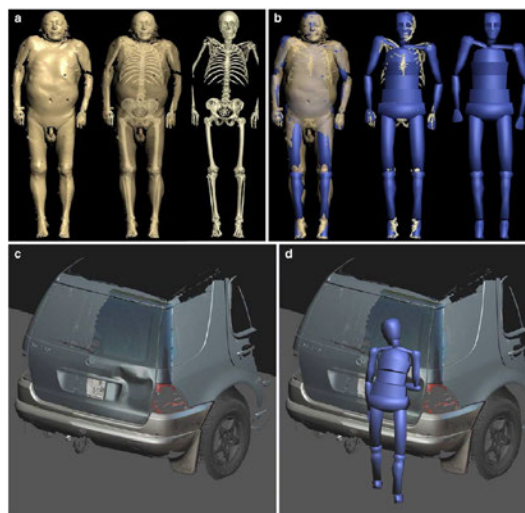


Abbildung 1: Abbildung über die Ergebnisse des Virtopsy Projekts, [25]

In der Arbeit wird nochmal der Unterschied der Digitalisierung zwischen den verschiedenen Teildisziplinen deutlich beschrieben. So wird erwähnt, dass die „forensische Pathologie hingegen, immer noch die alten, vor Jahrhunderten eingeführten, evidenzbasierten Methoden benutzt, nämlich die Sezierung eines Leichnams und eine mündliche Beschreibung und schriftliche Dokumentation der gewonnenen Befunde “. [25] Verbessert wurden die alten Methoden durch klassische Photographie, CT-Aufnahmen sowie MRT-Aufnahmen. Hinzu

kam später außerdem die Technik der 3D-Photogrammetrie-basierten optischen Oberflächenabstastung. [25]

Die Photogrammetrie wurde auch in dieser Arbeit benutzt. Es wird beschrieben, dass mit der klassischen „Fotografie mit einem Referenzlineal [...] die Standarddokumentation von Verletzungen und verletzenden Gegenständen in der Rechtsmedizin "dargestellt wird. [25] Dabei wird die „Dreidimensionalität dieser Strukturen [...] durch die klassische Fotografie auf eine 2D-Ebene reduziert. Mit dem TRITOP/ATOS III System [...] ", ein System der Photogrammetrie, „lassen sich solche Oberflächen in 3D dokumentieren ". [25]Der positive Nutzen der Photogrammetrie wird damit stark deutlich.

Damit bildet die Arbeit nicht nur eine gute Grundlage, da es sich näherungsweise an unsere Betrachtungen angleichen lässt. Somit kann die Puppe als Auslöser für die Entstehung der Spuren und die Hose als Spureenträger angesehen werden, wobei auf die Relation von Falten durch genau die untersuchte Puppe abgesehen wird. Des Weiteren wird in der Arbeit auch die Technik der Photogrammetrie benutzt.

Eine weitere Quelle zur Photogrammetrie „Exploring Methods to Make 3-D Images of Historic Clothing Using Photogrammetry "zeigt außerdem, dass durch die Photogrammetrie und das damit entstehende digitale Bild Messmöglichkeiten zugelassen werden. Außerdem ermöglicht es die „Analyse und Erhaltung historischer Kleidungsstücke und Passform von Kleidungsstücken ". [44] Neben den genannten Vorteilen wird außerdem beschrieben, dass Photogrammetrie in verschiedenen Bereichen genutzt wird, beispielsweise bei der Erstellung von geografischen Karten und Erhaltung von Kulturerben und archäologischen Objekten. [44] Diese Arbeit zeigt vor allem auch Aspekte die eine hohe Wichtigkeit im Bereich der Forensik unterliegen. Dabei ist der Erhalt von Eigenschaften von Gegenständen und damit die Umgehung der Manipulation durch Berührung des Gegenstandes gemeint. Dies lässt sich auf alle Spuren, die als Form von Asservaten in der Fallarbeit dienen und viel von Personen behandelt und betrachtet werden müssen anwendbar.

Darüber hinaus ist die Arbeit vom Bundesministerium für Bildung und Forschung zu erwähnen. „Computerbasierte forensische Bewegungsanalyse zur Identifizierung von Personen (COMBI) "beschäftigt sich mit der Gewinnung von biometrischen Daten und Besonderheiten im Bewegungsablauf. „In COMBI soll erforscht werden, ob und wie man Informationen aus Überwachungsfilmern gewinnen kann, die eine gerichtsfeste Identifikation von tatverdächtigen Personen anhand solcher Merkmale zulassen. "[27] Die spätere Perspektive soll sein, dass Personen „präziser als bisher auch dann identifizieren kann, wenn diese verumumt vorgehen oder nicht mit dem Gesicht zur Kamera aufgenommen wurden ". [27] Wie bereits zu erkennen spielt die Verumummung und damit auch vor allem die Kleidung eine große Rolle. Das COMBI Projekt ist daher mit diesem stark zu verknüpfen. So könnten die erhofften Ergebnisse dieser Arbeit beispielsweise Rückschlüsse auf die Zuordnung von bestimmten Kleidungsstücken zu Personen liefern. Dabei kann vor allem darauf eingegangen werden, dass bei bestimmten Bewegungsabläufen auch Spuren an Kleidungsstücken wie Schuhen oder Hosen entstehen. Bei digitalen Anzieh-Simulationen könnte dabei der Sitz und die Entstehung dieser Spuren genauer analysiert und Rückschlüsse Eigenschaften von Personen wie Größe, Statur oder Gewicht gezogen werden. [27]

Wie zu erkennen ist beschreiben die oben aufgeführten Arbeiten zwar Projekte im Handlungsfeld der Forensik, allerdings überwiegend mit dem Schwerpunkt der computergestützten

Analyse und Rekonstruktion. Zwar dienen die oben erwähnten Arbeiten als Anhaltspunkte und assistieren dieser Arbeit, dennoch kann diese Arbeit als ein Pilotprojekt angesehen werden. Um der Simulation im Bereich der Forensik näher zu kommen werden im nachfolgenden Kapitel vor allem auf Methoden der Film- und Spieleindustrie eingegangen, wobei diese zu den benötigten Zwecken approximiert werden. Allerdings lässt sich auch erkennen, dass kaum eine Arbeit im Zusammenhang mit Kleidung steht. Die Analyse und Simulation und Evaluation von Kleidung im 3D Raum dient dabei eher zur Forschung in anderen Bereichen, beispielsweise die Erhöhung des Kommerzes im Internet. In Bezug drauf kann die Arbeit von Shuxian Huang et al angeführt werden. Diese heißt „CLO3D-Based 3D Virtual Fitting Technology of Down Jacket and Simulation Research on Dynamic Effect of Cloth“ und befasst sich mit der Simulation von Kleidung und dem Anpassen dieser an einen Körper [36].

Damit die Erarbeitung von digitalen Methoden zur Analyse und Rekonstruktion in der Forensik allerdings einen Zweck erfüllen kann muss zuerst die Möglichkeiten der Nutzung dieser vor Gericht evaluiert werden. Denn dadurch, dass „jedes Strafverfahren [...] zum Ziel [hat], die Schuld bzw. die Unschuld eines Tatverdächtigen möglichst zweifelsfrei herauszufinden, [...] muss das Gericht, sei es der Einzelrichter an einem Amtsgericht, die drei Berufsrichter mit den beiden Schöffen als ebenfalls gesetzliche Richter beim Landgericht oder die fünf Berufsrichter am Bundesgerichtshof in Strafsachen, überzeugt sein “. [38]

Wie Ikpe Justice Akpan et al. in dem Paper „The confirmed realities and myths about the benefits and costs of 3D Visualization and virtual reality in discrete event modeling and simulation: A descriptive meta-analysis of evidence from research and practice “beschreibt „ist ein erheblicher Wandel in der diskreten Ereignismodellierung und -simulation, und die Einführung neuer Modellierungsmethoden, die auf dreidimensionaler (3D) Visualisierung und virtueller Realität (VR)Technologien erkennbar“. [23] In der Arbeit wird dadurch vor allem auf Vor- und Nachteile sowie Mythen über digitale Darstellungsmethoden eingegangen. „Die Ergebnisse zeigen, dass 3D- und VR-Techniken bei den wichtigsten Modellierungs- und Simulationsaufgaben deutlich mehr Vorteile bieten, als von Praktikern in der Simulationsgemeinschaft vermutet wird “. [23] Zusammengefasst ergeben sich daraus folgende wichtigste Vor- und Nachteile, die außerdem einen großen Einfluss auf diese Arbeit liefern.

- Bestimmte Datentypen, z. B. Volumendaten, erfordern die 3D-Darstellung für eine aussagekräftige Datenvisualisierung
- Die 3D-Visualisierung stellt Informationen auf symbolische und vertraute Weise dar und erleichtert die natürliche und effektive Darstellung von Informationen für die Nutzer
- Genaue Darstellung des Modells wie in der realen Welt
- 3D-Visualisierung hilft bei der Präsentation des Modells für die Beteiligten
- Die 3D-Darstellung bietet dem Nutzer eine Schnittstelle, auf der er sich innerhalb der Simulation frei bewegen kann
- Die Echtzeit-3D-Visualisierung bietet realistische grafische Ansichten, die durch die herkömmliche Darstellung nicht möglich sind

- Die realistische 3D-Darstellung erleichtert die Präsentation für Fachleute, die nicht die in Simulation und Modellierung nicht bewandert sind
- Die 3D-visualisierten Modelle und Animationen sind derzeit noch die intuitivste Darstellung
- Die 3D-Darstellung hilft bei der Präsentation der Ergebnisse
- Simulationsexperten und Entscheidungsträger waren sich einig, dass 3D die Demonstration und Präsentation verbessert
- Die 3D-Visualisierungslösungen können Katastrophen aus verschiedenen Blickwinkeln simulieren und präsentieren

[23]

Die Vorteile können auch durch die Arbeit von Dr. Damian Schofield „Virtual Evidence in the Courtroom "gestützt werden. Dazu schreibt er, dass „in einem modernen Gerichtssaal [...] die Präsentation forensischer Beweise durch einen Sachverständigen dazu führen [kann], dass Anwälte und Sachverständige mühsame Beschreibungen abgeben müssen, um die Besonderheiten komplizierter wissenschaftlicher, räumlicher und zeitlicher Daten zu vermitteln. Der technologische Fortschritt hat auch dazu geführt, dass die Sachverständigen neue Methoden entwickeln mussten, um solche zunehmend komplexen Beweise vor Gericht zu präsentieren. Digitale visuelle Beweispräsentationssysteme [...] können zur Darstellung von Beweisen und zur Veranschaulichung von Hypothesen auf der Grundlage wissenschaftlicher Daten verwendet werden. Die digitale Rekonstruktionstechnologie kann auch im Gerichtssaal eingesetzt werden, um "Was-wäre-wennSzenarien und Fragen zu erforschen und zu veranschaulichen, konkurrierende Hypothesen zu testen und möglicherweise Ungereimtheiten und Diskrepanzen in der Beweislage aufzudecken ". [45]

Vorteile, die sich aus dieser Arbeit ableiten lassen sind

- Darstellungen können ein wirksames Mittel sein, um komplexe Beweise zu vermitteln, visuelles Gedächtnis sehr detailliert und nahezu unbegrenzt im Gegensatz zum Gedächtnis für verbales Material
- Visuelle Medien können die Aufmerksamkeitsspanne des Betrachters erhöhen. Ge-steigerte Aufmerksamkeit kann dazu führen, dass die Entscheidungsträger visuelle Beweise aufmerksamer studieren
- Forschungsergebnisse haben auch gezeigt, dass die Wahrscheinlichkeit, dass Geschworene überzeugt werden, doppelt so hoch ist, wenn die Argumente durch solche visuellen Hilfsmittel unterstützt werden
- Beweise können während einer Präsentation sofort abgerufen werden, und der Bildschirm kann für bessere Blickwinkel manipuliert werden.
- computergenerierten Darstellungen können die Effizienz im Gerichtssaal verbessern und somit Zeit sparen, da Argumente und komplexe Informationen schneller verstanden werden

[45]

Auch wenn diese Vorteile sehr überzeugend wirken müssen genauso Nachteile betrachtet werden. Diese nach der Arbeit von Dr. Damian Schofield die Folgenden.

- Die Tatsache, dass sich computergenerierte Visualisierungen im Gedächtnis festsetzen und überzeugend sind, ist auch ihr größter Nachteil: Bewegte Bilder ziehen den Betrachter in ihren Bann und können die natürliche Kritikfähigkeit des Menschen aushebeln.
- Ein weiterer möglicher Nachteil solcher Visualisierungen ist die potenziell nachteilige Wirkung des Verzichts auf diese Technologie. Eine Partei, die sich dafür entscheidet, einen traditionellen Fall zu präsentieren, könnte durch den Einsatz der Technologie durch die andere Seite voreingenommen sein.
- Es ist oft schwierig, Unsicherheiten in computergenerierten Beweismitteln darzustellen. Die Betrachter gehen oft fälschlicherweise davon aus, dass die so präsentierten Beweise nur eine geringe oder gar keine Fehlermarge aufweisen
- Die Flexibilität einer computergenerierten Anzeige bedeutet auch, dass sie von Natur aus das Potenzial für Manipulationen enthält.
- Eine Partei kann absichtlich eine Animation oder Simulation erstellen, die eine günstige Perspektive bietet, oder unbeabsichtigt eine Perspektive wählen, die das Erscheinungsbild der Animation verändert.

[45]

2.1.2 Stand der Film- und Spieleindustrie

In diesem Abschnitt wird auf die technischen Komponenten dieser Arbeit eingegangen. Sowohl geht es dabei um die benutzten Programme und Methoden als auch einen Einblick in die Bereiche zu geben aus denen diese Methoden genommen wurden.

Die in dieser Arbeit benutzte Softwaremöglichkeit ist Blender.

Wie Nico Brunds in seiner Arbeit „Blender Universelle 3D-Bearbeitungs- und Animationssoftware“ erwähnt, ist Blender „ein universelles, kostenloses Tool mit nahezu unerschöpflichem Anwendungsspektrum“[26]. Von hoher Bedeutung für diese Arbeit ist, dass mit Blender „eine Kollisionen zwischen Objekten [...] ermittelt werden“ kann. [26] Des Weiteren sind Punkte, die positiv auf die Nutzung auswirken, dass zwischen 2D und 3D Animationen gewählt werden kann, sowie durch die zunehmende Community eine Weiterentwicklung vorangetrieben wird und Hilfestellungen leisten. [26]

Außerdem wird zur Umsetzung der Digitalisierung der Asservate die Photogrammetrie und der Artec Leo sowie Artec Studio 16 benutzt. Auf die Photogrammetrie wurde im vorherigen Kapitel bereits eingegangen. Das Artec Unternehmen gibt von sich aus bereits Infos dazu, dass mit Artec „ganz einfach virtuelle Kopien von Tatorten, Unfallorten und den darin befindlichen Beweismitteln erstell[t] [werden können], und zwar genau so, wie diese zum Zeitpunkt des Scannens waren, ohne das Risiko einer Kontamination oder Beschädigung. Die

gewonnenen 3D-Daten geben Ihnen die Möglichkeit, zu bestimmen, wie und wann ein Ereignis stattgefunden hat. In nur wenigen Minuten können Sie Beweise in Innenräumen oder im Freien erfassen, einschließlich Blutspuren, Einschusslöcher, Werkzeugspuren, Schuhabdrücke und vieles mehr ". [42]

Zuletzt ist noch darauf einzugehen was für einen Vorteil die Nutzung von Methoden aus der Film- und Spieleindustrie für diese Arbeit bringt. Wie bereits angemerkt hat die Forensik selber bisher keine eigenen Methoden. Am nächsten kommen durch den benötigten Grad an Realismus Methoden aus der Spiele- und Filmindustrie. Diese Branchen haben über den Lauf der Zeit eine starke Veränderung durchgemacht. Wie László tarnay in seiner Ausarbeitung „Realism Reconsidered: On The Aesthetics Of Visual Simulation "im Buch „Film in the Post-Media Age "beschreibt, „dass die Digitaltechnik eine völlig neue Ära der visuellen Darstellung eingeläutet hat ". Dabei erklärt er, dass die Entwicklung immer neuer Film- und Spielotechniken und damit die „fast makellose Simulation der virtuellen Realität [...] alle bisherigen Formen des Realismus in Frage stellt ". [39] Dabei sollen vor allem auch die Aussichten für die Zukunft beträchtlich ausfallen auf Grund der Möglichkeit der digitalen Simulation von Figuren. [39]

2.2 Begriffserklärung und Abgrenzungen

Um die in dieser Arbeit benutzten Begriffe und Zusammenhänge zu verdeutlichen werden im Folgenden Definition und ihre Abstraktion für diese Arbeit veranschaulicht. Wie bereits angedeutet soll es sich in dieser Arbeit vor allem um Falten handeln. Diese entstehen als Produkt nach dem Anziehen einer Hose an einen Körper. Um einen Zusammenhang dieser Muster mit der forensischen Fallarbeit zu liefern, soll im Folgenden zuerst ein kurzer Abriss über die Fallarbeit geliefert werden und dazu eine Einordnung der Muster in die Kategorien. Grundlegend ist zu sagen, dass „Als Spurenverursacher [...] in diesem Kontext alle Subjekte oder Objekte (Mensch, Tier, Umwelt und Gegenstand) bezeichnet "werden „, die kriminalistisch verwertbare Veränderungen [...] bewirkt haben ". [37]. Dabei ist vor allem das Prinzip nach Locard von hoher Bedeutung. Dies beschreibt dabei, dass „Überall dort, wo er geht, was er berührt, was er hinterlässt, auch unbewusst, all das dient als stummer Zeuge gegen ihn "[40]. Dadurch wird grundlegend beschrieben, dass jeder der einen Tatort betritt Spuren nimmt und Spuren hinterlässt. Somit ist zu einem gewissen Grad immer verfolgbar wer mit einer Tat in Verbindung steht. Über die Jahre hat sich das Locard'sche Prinzip zu dem noch ausgeweitet. Dadurch ist es „mittlerweile [...] wissenschaftlich unstrittig, dass auch in der digitalen Welt keine Interaktion ohne Spuren möglich ist "[40]. Zur Verdeutlichung wird auf Abbildung 2 verwiesen.

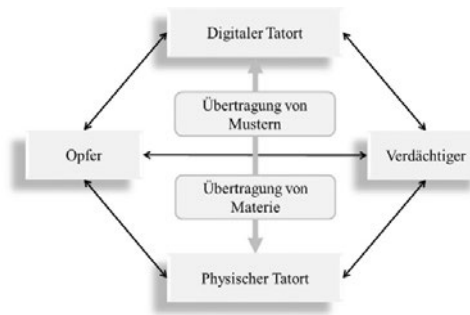


Abbildung 2: Abbildung über das Locard'sche Prinzip im digitalen und physischen Tatort, [40]

Insbesondere die Erweiterungen des Locard'schen Prinzips vom physischen Tatort auf den digitalen Tatort ist für diese Arbeit von großer Bedeutung. Obwohl damit der digitale Austausch von Daten angenommen wird, beispielsweise in Form „der Analyse der mobilen Endgeräte“ aus der „Bewegungsdaten oder Verkehrsdaten abgeleitet“ werden können. [40] Trotzdem werden die in dieser Arbeit durchgeführten Betrachtungen und Untersuchungen zum digitalen Tatort eingeordnet, da zwar die Hose Teil des physischen Tatortes ist, allerdings die Rekonstruktion auf digitalem Wege verläuft. Dies lässt sich auch mit der Definition des digitalen Tatortes nach Povalej abgleichen, da er beschreibt, dass die Analyse der mobilen Endgeräte zwar zu den digitalen Spuren zählt, allerdings „durch die Verortung der Geräte Teil des realen (physischen) Tatorts geworden [sind]“. [40] Zudem gilt mit dieser Arbeit die Übertragung von physischen Eigenschaften in digitale Eigenschaften in Form von Faltenlegungen zu überprüfen. Dabei wird das Hauptaugenmerk, wie bei dem Locard'schen Prinzip, auch auf den Austausch von Eigenschaften gelegt.

Im Weiteren gilt es nun zu definieren, worum es sich bei der Hose handelt. So hat der Autor definiert, dass „Orte oder Gegenstände, an denen sich Spuren befinden, [...] als Spurenräger bezeichnet“ werden [37]. Damit lässt sich die untersuchte Hose als Spurenräger bezeichnen.

Außerdem formuliert der Autor eine Definition für die Spuren. So sind „Spuren [...] sichtbare oder latente materielle Veränderungen, die im Zusammenhang mit einem kriminalistisch relevanten Ereignis entstanden sind und zu dessen Aufklärung beitragen können.[...] Ein Sonderfall, auf den das Definitionselement „materiell“ nicht zutrifft, sind die digitalen Spuren“ [37]. Diese Spuren lassen sich wie folgt in Gruppen einteilen.

Die erste Einteilung findet in Arten der Relevanz statt. Laut Professor Dr. Bernd Herrmann kann die Einteilung somit wie folgt aussehen

- tatrelevante Spuren
- Trugspuren, die nicht im Zusammenhang mit der Begehung von Straftaten entstanden sind
- Fingierte Spuren, solche, die vom Täter oder Opfer bewusst gelegt wurden, um die Ermittlung in eine falsche Richtung zu leiten

[35]

Darüber hinaus erfolgt eine Einteilung „aufgrund der physischen Eigenschaften von Spuren“. Der Autor definiert die Gruppen folgendermaßen

- Materialspuren versteht man Spuren, die man aufgrund ihrer stofflichen Eigenschaften unterscheiden kann
- Werden kriminalistische Schlussfolgerungen aus der Form von Spuren abgeleitet, spricht man von Formspuren
- Situationsspuren. Diese geben Aufschluss über die Lage von Spuren oder Gegenständen zueinander oder zur Umgebung
- Die von einem Täter oder von Beteiligten am Ereignisort zurückgelassenen Gegenstände werden oftmals als Gegenstandsspuren bezeichnet

[37]

Da je nach Auslegung der Fallarbeit die verbundene Fragestellung schwanken kann, kann damit auch die Bedeutung der Klamotten und den darauf befindlichen Spuren schwanken. Da in dieser Arbeit, aber vor allem die individuelle Faltenlegung durch einen bestimmten Körper geklärt werden soll können die Falten als tatrelevante Spuren eingeordnet werden. Dies kann nochmals untermauert werden, wenn die Faltenlegungen in Bezug zu Tatabläufen und anderen Spuren analysiert werden. Des Weiteren sind die Falten Situationsspuren, da sie, wie die Erklärung auch beschreibt Aufschluss über die Lage von Gegenständen also hier die Hose zum Körper geben.

Um zu beschreiben wie das Experiment dieser Arbeit durchgeführt wird und worunter dieses Experiment damit fällt müssen verschiedene Begriffe geklärt werden. Vorher ist allerdings erwähnenswert, dass je nach Anwendungsbereich die Definitionen variieren. Sowie die Definition eines digitalen Tatortes und digitaler Spuren, wäre es eine eigene Arbeit die benötigten Worte in ihren Definitionen zu vergleichen, zu analysieren und zu diskutieren um sie auf die Forensik anwenden zu können. Für diese Arbeit werden allgemeingültige Definitionen aus einem Lexikon gewählt und zu unserem Nutzen approximiert.

Simulieren wird laut digitalem Wörterbuch der deutschen Sprache als „technische oder naturwissenschaftliche Prozesse, Funktionen in ihren wesentlichen Grundzügen nachbilden“ beschrieben [30]. Bezogen auf das Experiment des digitalen Anziehens trifft dieser Begriff zu. Grundlegend soll es um die digitale Umsetzung von Stoff gehen. Dabei basieren die in Kapitel 3.4.4.3 genutzten Funktionen auf physikalischen Eigenschaften, die damit einen naturwissenschaftlichen Prozess beschreiben. Des Weiteren soll das Experiment ein realweltlichen Prozess in seinen Grundzügen nachbilden, wobei die Übertragbarkeit und die enthaltene Realität Punkte für die Evaluation abbilden.

Ein außerdem interessanter Begriff ist das Animieren. Dieses ist grundlegend definiert als „jmdn. zu etw. ermuntern, anregen“. Durch die stetige Digitalisierung und Erforschung von Fachbereichen und Techniken wird es außerdem definiert als Herstellung „eine[r] filmische[n] Sequenz aus einzelnen, gezeichneten Bildern [...]“ [32]. Da es sich bei dieser Arbeit nicht um die Erstellung einer ganzen zusammenhängenden Sequenz sondern lediglich eines kleinen Teiles ohne jegliche Bewegung handelt, trifft diese Definition nicht zu. Denkbar wäre allerdings auch im Hinblick auf die Film- und Spieleindustrie, dieses Experiment

als Grundlage für weiterführende Animationen beispielsweise des Bewegungsablaufes zu nehmen.

Über diese Begriffe hinaus kann auch der Begriff der Modellierung angeführt werden. Modellieren ist im Bereich der bildenden Kunst „ein Modell aus Ton herstellen, etw. nachbilden [oder] plastisch formen ". [31] Im Bezug auf die Wissenschaft kann auch hinzugefügt werden, dass modellieren, „das Modell eines wissenschaftlichen, naturwissenschaftlichen oder gesellschaftlichen Vorgangs herstellen ",darstellt. [31] Diese Definitionen sind sehr ähnlich zu den Definitionen des Simulieren. So kann zum Beispiel das Herstellen und Nachbilden eines Modells und das Herstellen eines naturwissenschaftlichen Vorgangs auf diese Arbeit übertragen werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Simulieren als Beschreibung für die in dieser Arbeit beschriebenen Prozesse benutzt wird. Wie in den oben genannten Beschreibungen trifft dieses Wort am meisten zu.

Darüber hinaus müssen noch die Worte Manipulation und Wahrheitsgehalt in Bezug zur Forensik und dieser Arbeit erklärt und gesetzt werden. Manipulation ist definiert als „etw. durch Machenschaften zu seinen Gunsten lenken "oder „an, mit etw. hantieren ". [33] Der negative Aspekt der in der Forensik und auch in dieser Arbeit mit dem Begriff der Manipulation verbunden wird, wird durch die oben genannten Definitionen vermittelt. Allerdings im Gegensatz zu den Definitionen ist die Manipulation meist ein sowohl beiläufiger und unerwünschter Prozess als auch meist nicht durch eigene Machenschaften entstanden. Auf diese Effekte wird später noch näher in Kapitel 3.6 eingegangen.

Außerdem gilt es den Wahrheitsgehalt zu definieren. Wahrheitsgehalt ist, was „was an einer Behauptung o. Ä. der Wahrheit entspricht". [28] Des Weiteren wird im Bereich der Forensik Wahrheit durch den Autor der Quelle [38] definiert als Assoziation mit dem Begriff der Wahrscheinlichkeit. „In Abhängigkeit von der Menge, Qualität und Objektivität der Daten (Spuren – Beweise) sind oft nur Wahrscheinlichkeitsaussagen über einen Tathergang möglich ". [38] Betrachtet man alleine die Definition des Dudens entspricht dies grundlegend dem worauf diese Arbeit hinarbeitet. Allerdings erweitert die nachfolgende Definition den vorher fehlenden Aspekt der Realitätsnähe. Damit ist vor allem das Überprüfen auf die Erfüllung von naturwissenschaftlichen Ansprüchen gemeint und dem auf diesen Grundlagen Erstellen von Aussagen.

Ferner wird bei der Nutzung von Digitalisat ein „durch Digitalisierung entstandenes Produkt, Resultat "gemeint. [29]

3 Das Experiment

Im nachfolgenden Kapitel wird das Experiment dieser Arbeit beschrieben. Das Hauptaugenmerk liegt sowohl auf den vorbereitenden Schritt und der eigentlichen Durchführung. Um jegliches Vorgehen zu erläutern wird im Laufe der Arbeit auf verschiedene Lagebeschreibungen zurückgegriffen. Die Beschreibung der Lage oder des genannten Gegenstandes bezieht sich dabei immer auf die Blickrichtung von vorne auf das Objekt.

3.1 Idee des Experimentes

Die grundlegende Idee für dieses Experiment baut auf die Forschungsfrage aus Kapitel 1.3 auf. Kurzum werden Möglichkeiten ergründet 3D Modelle als digitale Zwillinge von Asservaten zu erzeugen und zusätzlich wird dabei angestrebt die Relationen dieser Asservate nach der Umwandlung zu erhalten. Bei den hier ausgewählten Asservaten handelt es sich um eine Jogginghose und eine Kleiderpuppe. Die sich zwischen den Asservaten abgebildete Relation stellt sich in Form von individuellen Falten beim Anziehen dieser Jogginghose an die Puppe dar. Die Puppe dient hier als Abstraktion zu einem echten Körper. Diese kann im Vergleich zu den durch einen Körper darstellbaren Bewegungen eine Vereinfachung ermöglichen. Im Einzelnen bedeutet dies die Möglichkeit durch die starre Form der Puppe stets dieselbe Position nachbilden zu können, welche nahezu konform rekonstruierbar ist und damit eine perfekte Grundlage zur Vergleichbarkeit bietet. Zusätzlich falls es zum Falle von kleinen Veränderungen kommt können sich diese leichter ermitteln und verändern lassen. Neben der Erstellung der digitalen Zwillinge bedeutet das für dieses Experiment außerdem, dass eine digitale Stoffsimulation erzeugt werden muss, bei denen ein digitales Anziehen der Hose an die Puppe intendiert wird. Die erzeugten Aufnahmen der real-weltlichen Modelle fungieren dabei nicht nur als Modelle für die Simulation, sondern zugleich auch als Mittel der Evaluation nach der Simulation. Bei der Evaluation soll vor allem auf die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Ergebnissen der digital erstellten Simulation und der analogen Modelle eingegangen werden und zudem beschrieben werden inwieweit die Relationen übertragen wurden. Um die Grundlagen für dieses Experiment zu erzeugen müssen die oben genannten Asservate mehrmals aufgenommen werden. Dazu zählen jeweils Einzelaufnahmen der Hose und der Puppe, die später für die Simulation verwendet werden können. Außerdem muss die Hose an der Puppe aufgenommen werden. Dabei sollte beachtet werden, dass der Vorgang des Anziehens der Hose an die Puppe in der realen Welt mehrere Male wiederholt wird und jeweils von jedem Durchgang eine Aufnahme angefertigt wird. Damit sollen die Variationen der oben angesprochenen Relation zwischen Hose und Puppe eingefangen werden um für die Evaluation eine Grundlage zu legen, in welchem Rahmen sich die Hose auch in der realen Welt durch die physikalische und zufällige Konstante verändern kann. Obendrein werden alle eben genannten Aufnahmen auf zwei unterschiedliche Verfahren erzeugt. Dadurch wird es einen doppelten Datensatz an Aufnahmen geben. Angestrebt wird dabei, dass der Aufbau der Aufnahmen zwischen den beiden Varianten stets derselbe bleibt, allerdings ein Unterschied zwischen der Qualität und des Verhaltens der späteren 3D Modelle in den Simulationen festgestellt werden kann. Um die Aufnahmen nochmal zusammenzufassen wird es folgende drei Aufbauten geben

- die Puppe selber
- die Hose selber
- die Hose an der Puppe

Bei dem digitalen Nachbau wird es zwei Ansätze geben. Diese sind

- Überprüfungssimulation

- eigentliche Simulation

Bei der eigentlichen Simulation handelt es sich um das Hauptexperiment dieser Arbeit. Diese wird, wie bereits auch schon vorher in dieser Arbeit beschrieben, mit dem Ansatz des digitalen Anziehens einer Hose durchgeführt. Bei der Überprüfungssimulation wird sich vor allem mit den Modellen der bereits angezogenen Hosen beschäftigt. Mit dieser Simulation soll die Funktion der eigentlichen Simulation und die Überlegung um die es in dieser Arbeit geht überprüft werden. Sowohl die Überprüfungssimulation als auch die eigentliche Simulation werden mit denselben Methoden aufgebaut und durchgeführt. Der einzige Unterschied besteht in den verwendeten Modellen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass wenn sich das Modell der Hose nach der Simulation nicht verändert, die digitale Anzieh-Simulation erfolgreich ist, da sie dieselben Ergebnisse erzielt wie das Anziehen der Hose in real-weltlichen Zuständen.

3.2 Programmauswahl

Die Folgende Programmauswahl bezieht sich auf die Findung einer geeigneten Software zur Durchführung von digitalen Simulationen. Im Folgenden ist eine Auflistung der Programme gegeben, die für dieses Experiment zur Auswahl stehen.

- Houdini, ([16])
- Blender, ([34])
- Unity3D, ([46])
- 3Ds Max, ([14])

Um eine Entscheidung zu treffen wurden Kriterien wie Benutzerlayout, Erfahrungen, Free-to-Use sowie die gebotenen technischen Mittel, die das Programm auf den ersten Blick liefert, erstellt. Darüber hinaus konnten angeeignetes Wissen, die Größe sowie der Ideenreichtum der jeweiligen Communities und das Vorhandensein von Dokumentationen als weitere Kriterien festgelegt werden.

Beim Vergleich der Programme viel auf, dass nur Houdini und Blender Free-to-Use Möglichkeiten liefern. Beim tieferen Auseinandersetzen mit den Programme wurde außerdem festgestellt, dass Houdini nur eine kleine Community im Vergleich zu Blender aufweist und es zu Problemen kommen kann, was beispielsweise die Findung von Problemen oder das Lösen von Problemen betrifft. Außerdem besteht mit Beginn dieser Arbeit bereits in gutes Wissen über die Arbeit und den Aufbau des Programmes von Blender, was eine gute Grundlage darstellt.

Aufgrund der oben genannten Gründe wurde Blender als Softwarelösung für diese Arbeit festgelegt.

Weitere benötigte Softwarelösungen sind Meshroom sowie Artec Studio 16. Diese wurden für die Erstellung und Umwandlung der Aufnahmen in 3D Modelle benötigt. Diese Programme wurden nicht manuell ausgewählt, da sie sowohl zur benutzten Hardware gehören als auch Teil einer bestehenden Pipeline sind und sich diese Pipeline zu Nutzen gemacht wurde.

3.3 Material und Vorbereitungen

Bevor sich der Durchführung der Aufnahme der Modelle gewidmet wird, wird zunächst ein Überblick über alle in diesem Experiment benötigten Materialien gegeben. Die grundlegenden Materialien auf denen die gesamte Arbeit beruht sind die Asservate. Die Hose ist eine grau melierte Jogginghose mit zwei vorderen Hosentaschen und einer Gesäßtasche auf der rechten Hinterseite der Hose. Am Bündchen und an jeweils dem rechten und linken Hosenbein besitzt die Hose einen Gummizug, sowie zusätzlich am Bündchen eine Kordel um die Weite der Hose zu verstellen. Besonders auffällig und auch von Bedeutung für diese Arbeit ist, dass die Hose neben dem Bündchen, das einem die komplette Hose umfasst zusätzlich ein zweites Bündchen nur auf der Rückseite besitzt. Die beschriebene Jogginghose lässt sich auf den nachfolgenden Bildern 3a und 3b erkennen.



Abbildung 3: Abbildung der benutzten Hose von der Vorder- und Hinterseite

Wie auf dem Bild 4 zu erkennen ist, ist das zweite Asservat die Puppe. Sie ist eine hautfarbene Schaufensterpuppe bestehend aus 2 Armen, Oberkörper sowie zwei Beinen. Die Arme und der Oberkörper sind frei beweglich und von der Puppe trennbar. Das linke Bein befindet sich in einer gestreckten Position und ist nicht frei beweglich. Es besitzt zudem auf Knöchelhöhe an der Rückseite des Beines eine metallene Vorrichtung um die Puppe auf ihren Ständer zu stecken. Das rechte Bein befindet sich in einer gebeugten Position und ist abnehmbar vom restlichen Unterkörper der Puppe. Die Position des rechten Beines lässt sich nur in Drehung des Beines im Unterkörper der Puppe verändern. Vom Hauptinteresse ist, wie bereits erwähnt der Unterkörper der Puppe, allerdings wird der Oberkörper kurzfristig auch benötigt.



Abbildung 4: Abbildung der benutzten Schaufensterpuppe

Außerdem werden zur Vorbereitung der Asservate vor den photogrammetrischen Aufnahmen noch weitere Materialien benötigt. Diese sind Malerkrepp, Draht, ein Filzstift, Kreide und Entspiegelungsspray. Die konkrete Benutzung und Bedeutung dieser Gegenstände werden weiter unten in diesem Kapitel beschrieben.

Wie bereits in den oberen Abschnitten erklärt müssen drei Modelle erzeugt werden. Diese sind

- die Puppe selber
- die Hose selber
- die Hose an der Puppe
 - wiederholte Aufnahmen der Hose an der Puppe

Zugunsten einer besseren Evaluation wurden Aufnahmen mittels klassischer Photogrammetrie und zusätzlich einem Handscanner erzeugt. Die ersten drei Grundmodelle wurden mittels beider Techniken aufgenommen wobei die wiederholten Aufnahmen der Hose an der Puppe nur mittels Handscanner erfolgt sind. Gründe dafür sind sowohl der zeitliche Aspekt als auch die Höhe der Qualität der Modelle bereits bei der bildlichen Vorschau.

Für die Aufnahme der verschiedenen Modelle wurde zu Beginn ein photogrammetrisches Aufnahmesystem vorbereitet. Der Aufbau ist den Abbildungen 5 und 6 zu entnehmen. Auf Abbildung 5 lässt sich der Aufbau erkennen, in welche Richtung auch die Kamera für die späteren Aufnahmen zeigt. Die Abbildung 6 zeigt den Aufbau aus einer seitlichen Perspektive um einen besseren Überblick über die benutzten Geräte und den Aufbau zu einander zu geben.



Abbildung 5: Abbildung des photogrammetrischen Aufnahmesystems aus Blickrichtung der späteren Erstellung der Aufnahmen



Abbildung 6: Abbildung des photogrammetrischen Aufnahmesystemes aus seitlicher Perspektive

Dieser Aufbau besteht aus folgenden technischen Materialien

- zwei Kameras (Nikon D7100)
- drei Softboxen
- ein Drehteller
- zwei PCs
- eine Metalllichtbox

Bevor die Aufnahmen gestartet werden konnten mussten zusätzliche Vorbereitungen getroffen werden. Zum automatischen Ansteuern des Drehtellers wurde auf einem PC die „Stageonair“ Software verwendet. Damit konnte der Drehteller mit und gegen den Uhrzeigersinn gedreht und gestoppt werden sowie die Schnelligkeit des Tellers kontrolliert werden. Außerdem konnte mittels dieser Software die Gradzahl der Drehung überprüft werden. Auf dem anderen PC wurde „DigiCamControl2“ benutzt. Mit diesem konnten die Kameras ferngesteuert werden. Die Einstellungen der Kameras im Programm kann der Abbildungen 7 entnommen werden.



Abbildung 7: Abbildung der programminternen Einstellungen zu den Kameras

Im Zusammenspiel dieser Softwares konnte eine Automatisierung der Photogrammetrie-Pipeline ermöglicht werden. Dabei wurde der Drehteller automatisch um je 2 Grad gedreht und nach jeder Drehung beide Kameras ausgelöst. Insgesamt entstehen so pro Modell 180 Fotos pro Kamera. Außerdem musste vor dem Start der Photogrammetrie noch der Fokus der Kameras eingestellt werden. Dafür wurde die Puppe auf den Drehteller gestellt und der Fokus wird beim Blick durch das Okular der Kamera manuell eingestellt. Mittels Testfotos kann die Einstellung überprüft werden. Da die Puppe mehrmals zwischen den Aufnahmen bewegt werden muss wird die Position des Ständers der Puppe auf dem Drehteller mittels Umrandung durch Malerklebeband markiert. Da die Puppe außerdem ein bewegliches Bein hat werden die Positionen der Füße auf dem Ständer mittels eines wasserlöslichen Filzstiftes auf ihrem Untergrund markiert. Dies garantiert die Rekonstruktion der Position der Puppe und der Rekonstruktion der Körperhaltung der Puppe. Dies wird vor allem für die späteren Aufnahmen der Wiederholung des Sitzes der Hose an der Puppe wichtig. Eine weitere Vorbereitung besteht darin vor dem Durchführen der Photogrammetrie den Aufbau auf Features zu überprüfen. Dies bedeutet, dass die vorher aufgenommenen Testfotos in Meshroom geladen werden, welche nach einer kurzen Analyse die Feature im Bild markiert. Diese Feature sind dabei ausschlaggebend um später die Erstellung eines guten 3D Modells zu ermöglichen. Um diese Feature signifikant zu erhöhen muss aus der feinen Oberfläche der Puppe eine gute Textur gemacht werden. Dazu wurde mittels „Entspiegelungsspray“ ei-

ne weiße Schicht auf die Puppe aufgetragen. Zusätzlich wurden auf der Puppe Stücke vom Malerklebeband verteilt. Um die weiße Schicht zu verstärken wurde die Puppe zusätzlich mit weißer Kreide bemalt. Von Vorteil wäre zusätzlich bunte Kreide gewesen um die Puppe vom weißen Hintergrund abzuheben. In Abbildungen 8 und 9 können die vorher und nachher Bilder der Veränderung der Oberfläche der Puppe betrachtet werden.



Abbildung 8: Abbildung der Schaufensterpuppe vor der Vorbereitung



Abbildung 9: Abbildung der Schaufensterpuppe nach den Vorbereitungen

Außerdem sind in Abbildung 10a und 10b die extrahierten Features in den Bildern der Puppe vor und nach den Veränderungen abgebildet. Vom vorherigem zum nachherigen Bild ist ein deutlicher Anstieg an extrahierten Features zu erkennen. Die Vorbereitungen der Puppe für die Aufnahmen sind hiermit abgeschlossen.

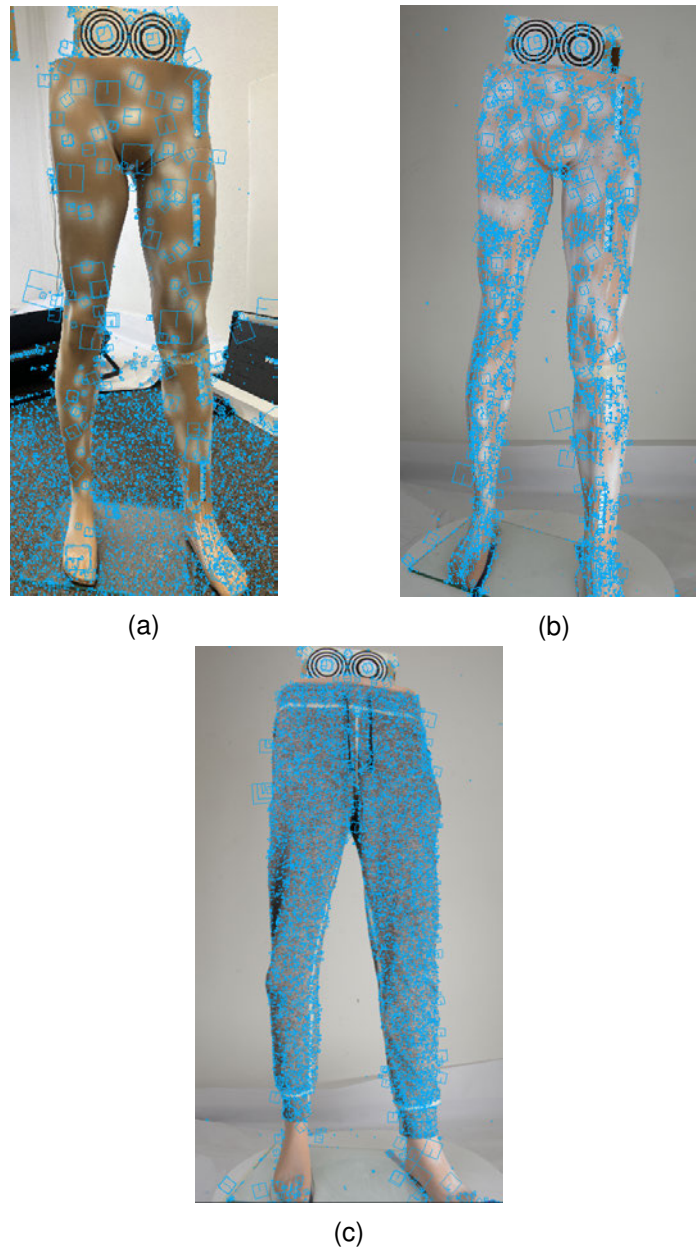


Abbildung 10: Abbildung über extrahierte Feature, Abbildung 10a zeigt die extrahierten Feature der nicht bearbeiteten Puppe, Abbildung 10b zeigt extrahierte Feature nach Bearbeitung der Puppe, Abbildung 10c zeigt die extrahierten Feature aus der Hose

Die Methode der Erhöhung der Features an der Puppe wirkt sich nicht nur positiv auf die spätere Photogrammetrie, sondern auch auf die Aufnahmen mittels Scanner aus. So ist dieser Vorgang der auch „Target-Assisted Scanning“ genannt wird in der Dokumentation zum Artec Leo empfohlen. Dabei wird beschrieben, dass wenn „das Objekt jedoch schwer zu erfassende Regionen aufweist, Zielmarken [...] nützlich sein [können]. In einigen Fällen können sie die Verfolgung und weitere Registrierung verbessern“. [21]

Zusätzlich sind auf Abbildung 10c die extrahierten Feature der Hose zu erkennen. Auffällig ist die hohe Anzahl an Feature ohne eine benötigte Aufarbeitung der Hose. Dies liegt der guten Ausgangslage der Texturierung der Hose zu Grunde. Durch die Melierung besteht

ein guter Kontrast in der Texturierung, welche eine ausgezeichnete Feature Extrahierung ermöglicht und im Gegensatz zur Puppe nicht künstlich erzeugt werden musste. Insgesamt bietet dies eine gute Grundlage für die Erstellung der Aufnahmen und damit die Erstellung der 3D Modelle.

Zur Vorbereitung der Hose für die Einzelaufnahmen und die Aufnahmen an der Puppe wurden die folgenden Schritte durchgeführt. Mittels des Malerklebebandes wurden die Nähte der Hose nachgeklebt. Zu den abgeklebten Nähten zählen

- Nähte des jeweils linken und rechten Außenbeines
- Nähte des jeweils linken und rechten Innenbeines
- der Schritt
- das Bündchen
- Nähte des jeweiligen Hosenbeines
- Gesäßtasche auf der rechten Rückseite

Ergänzend zu der vorherigen Einteilung der Hose in Abschnitte ist in Abbildung 11 und Abbildung 12 zur Verdeutlichung eine Markierung der erwähnten Nähte mit Benennung aufgeführt.



Abbildung 11: Abbildung der markierten Nähte mit Benennung, Hose von vorne

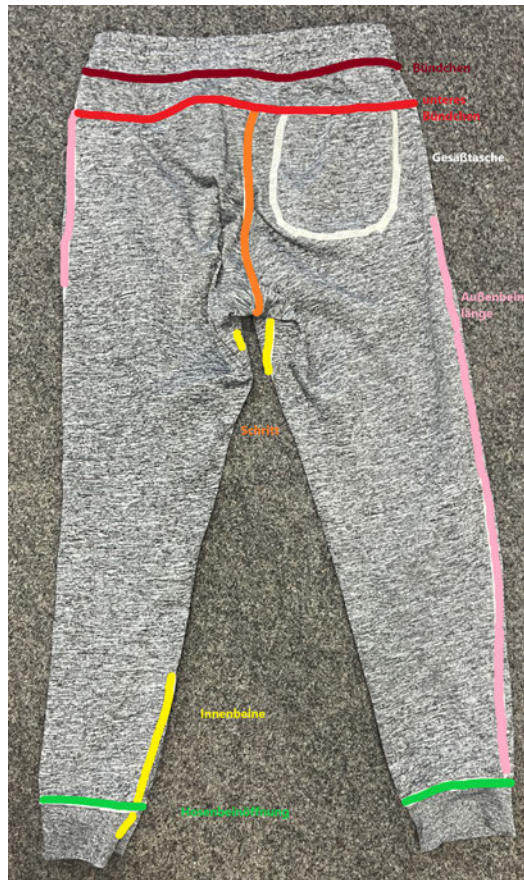


Abbildung 12: Abbildung der markierten Nähte mit Benennung, Hose von hinten

Zusätzlich zum Bekleben der Nähte wurden an verschiedenen Stellen auf dem Malerklebeband Kreuze aufgebracht, welche im 3D Raum zur Orientierung und Vereinfachung der Überlagerung dienen sollen.

Über die Asservate und die benötigten Materialien für die Aufnahmeverfahren hinaus müssen auch geeignete Softwarelösungen gefunden werden. Zu den Softwarelösungen zählen die hier genannten Programme zur Aufnahme in der Photogrammetrie, Programme zur Weiterverarbeitung und Erstellung der 3D Modelle sowie ein Programm zur Erstellung der Simulationen im 3D Raum. Im Kapitel 3.2 wurden auf diese Programme und damit einhergehenden Entscheidung bereits eingegangen und hiermit nochmals darauf verwiesen.

Des Weiteren ist neben den ausgewählten Programmen auch die Hardware-Ausstattung des PCs wichtig. Da Blender im Allgemeinen, bezogen auf die Hardware, ein sehr anspruchsvolles Programm ist, ist dies zusätzlich durch die hier geplanten Simulationen von größter Relevanz worauf auch nochmal im Abschnitt 3.5 eingegangen wird.

Der benutzte PC hat folgende Hardware

- Intel Core i5-11600K @3.90GHz
- 32 GB Ram
- Nvidia Grafikkarte

3.4 Methodiken

Im folgenden Kapitel der Methodiken werden alle Techniken, Funktionen und Pipelines erklärt, die zur Erstellung der Modelle, Weiterverarbeitung und eigentlichen Simulation der Modelle verwendet werden.

3.4.1 Erstellung der Aufnahmen

Als Grundlage des gesamten Experimentes müssen Aufnahmen von analogen Modellen erstellt werden um diese nachfolgend im digitalen Raum benutzen zu können. Wie bereits in den Definitionen im Kapitel der Grundlagen zu erkennen ist werden in dieser Arbeit Photogrammetrie und ein Handscanner gegenübergestellt. Der Aufbau und Ablauf der Aufnahmen werden jeweils für die einzelnen Techniken in den nachfolgenden Kapiteln erklärt. Die photogrammetrischen Aufnahmen und die Erstellung des 3D Modells mittels Handscanner wurden auf dieselbe Weise erzeugt wie in den nächsten Abschnitten beschrieben wird. Allerdings wurden insgesamt 5 verschiedene Aufnahmen als Stichprobe für die spätere Evaluation erzeugt. Das erste Modell wurde sowohl photogrammetrisch als auch mit dem Handscanner erzeugt. Bei den späteren Aufnahmen wurde nur noch der Handscanner auf Grund von Zeitersparnissen benutzt. Zudem hat er bereits bei vorläufigen Modellen in der kürzeren Zeit bessere Ergebnisse als die Photogrammetrie- Pipeline geliefert.

3.4.1.1 Aufnahmen mittels Photogrammetrie

Als Erstes wurde das Modell der Puppe erzeugt. In diesem Abschnitt geht es dabei um die Erstellung mittels Photogrammetrie. Die Photogrammetrie oder auch „Bildmessung“ genannt, „umfasst die Gesamtheit der Verfahren und Geräte zur Gewinnung, Verarbeitung und Speicherung von primär geometrischen Informationen (Form, Größe, Lage u.a.) über Objekte und Prozesse aus Bildern (Meßbilder)“. [2]

Wie oben bereits beschrieben wurde dazu eine Texturierung auf die Oberfläche der Puppe aufgebracht und die Puppe mit ihrem Ständer auf dem elektrischen Drehteller platziert. Auf den PCs wird die automatische Pipeline gestartet, wodurch bei jeder Bewegung des Drehtellers um 2 Grad jede Kamera ein Foto erzeugt. Der gesamte Durchlauf umfasst durchschnittlich 23 Minuten. In diesen wurde die Hose für die photogrammetrischen Aufnahmen vorbereitet und der erste Durchlauf der Photogrammetrie regelmäßig kontrolliert.

Nach der Puppe wurde die Hose angezogen an die Puppe photogrammetrisch aufgenommen. Nachdem die Puppe von ihrem Ständer genommen und angezogen wurde, wurde sie wieder an ihre Ausgangsposition auf dem Drehteller platziert. Dazu wurden die Markierungen, die in Abschnitt 3.3 beschrieben werden genutzt.

3.4.1.2 Aufnahmen mittels Handscanner

Nach der Beendigung der Photogrammetrie- Pipeline wurde der „Artec Leo 3D“ zur Hand genommen. [41] Der genannte Scanner verwendet dabei die Technik „der 3D-Rekonstruktion mit strukturiertem Licht. [...] Artec 3D-Scanner erfassen Objekte mit einer Rate von 15 Bildern pro Sekunde, um sicherzustellen, dass sich benachbarte Bildbereiche überlappen, wenn Sie

den Scanner schrittweise bewegen. Artec Studio nutzt die Merkmale in den sich überlappenden Bereichen, um die erfassten Bilder automatisch auszurichten. Es führt diese Aufgabe in Echtzeit aus und bietet sofortigen Zugriff auf die Bilder in einem einzigen Koordinatensystem. "[21]

Aus diesen genannten Funktionen ergeben sich folgende Vorteile gegenüber der Photogrammetrie

- kabellose Aufnahme von überall möglich
- unterstützt das Scannen von einer großen Bandbreite unterschiedlich großer Objekte
- Scannen in Echtzeit, 3D-Modellvorschau in Echtzeit
- hybrides markierungsfreies Tracking-System
- intelligente Scan-Modi für eine schnellere Datenverarbeitung
- Farbige Entfernungskarte zur Unterstützung des Scannens
- Scanvorgang jederzeit unterbrechen und später fortsetzen
- schnelle, genaue und hochwertige Datenerfassung
- präzises Textur-zu-Geometrie-Mapping

[41]

Die Puppe wurde in derselben Position auf dem Drehteller belassen. Für die Erstellung des 3D Modells mittels Handscanner wurde der Drehteller auf einer Geschwindigkeit von 85 eingesetzt. Während sich dieser gedreht hat wurde die Kamera des Handscanners auf die Puppe gerichtet und in der Position verweilt, bis auf dem Display sichtbar war, dass alle benötigten Informationen aus dem gescannten Bereich gesammelt wurden. Dies wurde durch die Änderung der Texturierung von Rot nach Grün und eine Auffüllung der Lücken in der Textur des Modells sichtbar. Dieser Vorgang ist vergleichbar mit der Abbildung 13.

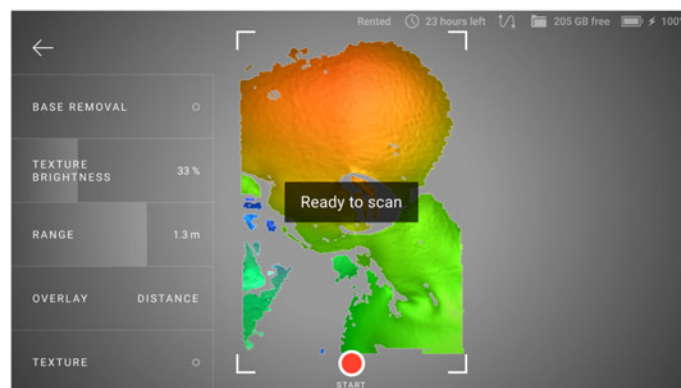


Abbildung 13: Abbildung der Ansicht des Bildschirm des Scanners während eines Scan Vorgangs, [18]

Einzig die Höhe des Scanners wurde bei diesen Aufnahmen variiert um zu garantieren, dass alle Bereiche der Hose abgedeckt werden. Zum Schluss wurde der Drehteller deaktiviert um Bereich mit zu wenig textuellen Informationen manuell auszubessern, indem das Modell abgelaufen wurde. Die gesamten Aufnahmen mittels Handscanner belaufen sich auf circa 10 Minuten.

Bei der Erzeugung der Einzelaufnahme der Hose wurde der Oberkörper der Puppe zur Hilfe genommen. Dieser wurde mittels Drahts an einem Hacken in der Decke des Raumes befestigt, damit er frei hängen kann. Der beschriebene Aufbau kann der Abbildung 14 entnommen werden. Die Hose wurde dabei am unteren Rand des Oberkörpers, also dem Übergang zum Becken wo die Hose in der Realität am Körper sitzen würde, angezogen. Damit wird sichergestellt, dass die Hose keiner Manipulation hinsichtlich Verformungen durch die Aufnahme ausgesetzt wird und zusätzlich eine gewisse initiale Form für die spätere Rekonstruktion im 3D Raum ermöglicht. Für eine einfache Simulation im 3D Raum wäre ein nahezu selbe Form der Hose, wie die Form der Puppe wünschenswert gewesen. Dies hätte allerdings eine initiale Manipulation vorausgesetzt und folglich einen Einfluss auf die Ergebnisse, wodurch diese vor allem in Bezug auf die gewünschte Relation nicht mehr aussagekräftig gewesen wären. Außerdem wäre eine flache Aufnahme der Hose beispielsweise auf dem Boden liegend aus mehreren Gründen auch nicht empfehlenswert. Zum einen wäre bei einer flachen Aufnahme auf dem Boden im Vergleich zur Aufnahme im frei hängenden Zustand weder mit Photogrammetrie noch mit Handscanner möglich. Durch die Auflage der Hose auf einen Gegenstand wird folglich immer eine Seite verdeckt wodurch sie vom Aufnahmegegenstand nicht erfasst werden kann. Zum anderen wäre durch die flache Aufnahme, wenn sie möglich wäre, die Simulierung erschwert.

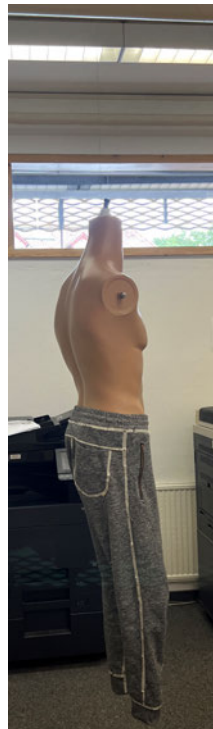


Abbildung 14: Abbildung der Position der Puppe und Hose zur Aufnahme der Hose alleine

Das 3D Modell der Hose wurde ausschließlich mit dem Handscanner erzeugt. Dies liegt unter anderem an den bereits oben genannten Gründen. Außerdem konnte die Photogrammetrie Pipeline nicht um die Konstruktion gebaut werden.

3.4.2 Umwandlungen der Aufnahmen in 3D Modelle

Durch die hier beschriebenen Methoden sind am Ende folgende Dateien entstanden

- Durchgang 1: Nur Beine der Puppe
- Durchgang 2-4: verschiedene Aufnahmen der Hose an der Puppe nach Aus- und erneutem Anziehen
- Scan 1: Nur Beine der Puppe
- Scan 2-6: verschiedene Aufnahmen der Hose an der Puppe nach Aus- und erneutem Anziehen
- Scan 7: nur Hose

Dabei ist anzumerken, dass die Modelle zwei bis vier der Photogrammetrie dieselben Modelle, wie die Modelle zwei bis vier des Scanners sind. Die Modelle der Photogrammetrie wurden dabei zuerst erstellt und nach dem Durchlauf der Pipeline wurden die Modelle mit dem Handscanners abgefahren. Aus Gründen der Zeitersparnis und Einfachheit wurden die letzten beiden Modelle nur mittels des Scanners erzeugt. Im Folgenden sollen alle benötigte Techniken zur Umwandlung der einzelnen Aufnahmen in ein 3D Modell beschrieben werden. Zuvor wurden die benötigten Programme Meshroom für die Photogrammetrie und Artec Studio 16 für den Scanner von ihren Webseiten gedownloadet, mit den neusten Versionen installiert und eingerichtet. [1] [43]

3.4.2.1 Photogrammetrie

Im folgenden Abschnitt wird es um die Übertragung der Aufnahmen in geeignete 3D Modelle gehen.

Nach der Durchführung nach den Kapiteln 3.4.1.1 und 3.4.1.2 bestehen wie bereits erwähnt Daten in Form von Kameraaufnahmen.

Die Kameraaufnahmen werden mittels der Software Meshroom in geeignete 3D Modelle mit zugehörigen Texture Maps umgewandelt. Die Umwandlung wird mit der Standard Pipeline, welche im Node Netzwerk von Meshroom eingefügt ist ausgeführt. Diese Pipeline kann Abbildung 15 und Abbildung 16 entnommen werden. Die einzige Veränderung zur Standardpipeline ist die Angabe der Größe des CC-Tags um Modelle in den richtigen Größenverhältnissen zu erzeugen. Diese Pipeline wurde auf jeden Durchgang der Kameraaufnahmen angewandt.

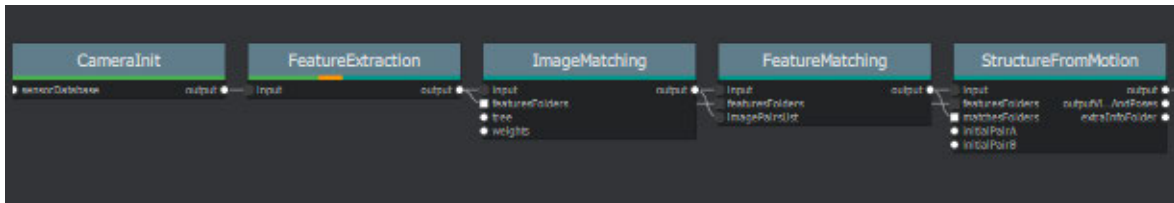


Abbildung 15: Abbildung des ersten Teils der Pipeline der verschiedenen Funktionen zur Umwandlung der Kameraaufnahmen in ein 3D Modell mittels Meshroom

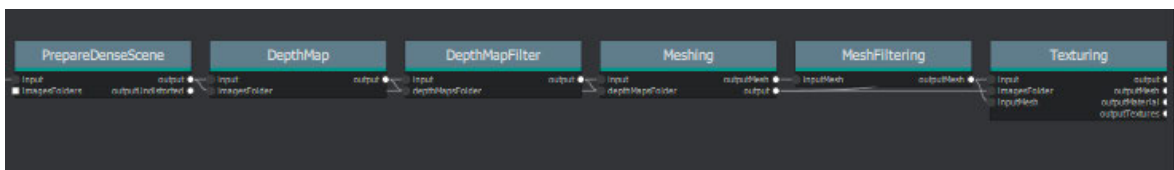


Abbildung 16: Abbildung des zweiten Teils der Pipeline der verschiedenen Funktionen zur Umwandlung der Kameraaufnahmen in ein 3D Modell mittels Meshroom

Im Folgenden ist eine kurze Beschreibung aller Funktionen gegeben.

- CameraInit: lädt Bildmetadaten und Sensorinformationen und erzeugt viewpoints.sfm und cameraInit.sfm. Sie können mehrere Kameras und Brennweiten mischen. CameraInit erstellt Gruppen von Intrinsics auf der Grundlage der Bild-Metadaten.
- FeatureExtraction: extrahiert Merkmale aus den Bildern sowie Deskriptoren für diese Merkmale
- ImageMatching: Vorverarbeitungsschritt, der herausfindet, welche Bilder sinnvollerweise einander zugeordnet werden können
- FeatureMatching: Findet die Korrespondenz zwischen den Bildern unter Verwendung von Merkmalsdeskriptoren
- StructureFromMotion: rekonstruiert 3D-Punkte aus den Eingabebildern
- PrepareDenseScene: verzerrt die Bilder nicht und erzeugt EXR-Bilder
- DepthMap: Ruft den Tiefenwert jedes Pixels für alle Kameras ab, die von SfM aufgelöst wurden
- DepthMapFilter: Bestimmte Tiefenkarten behaupten, dass sie Bereiche sehen, die von anderen Tiefenkarten verdeckt werden. Der DepthMapFilter-Schritt isoliert diese Bereiche und erzwingt Tiefenkonsistenz
- Meshing: Mesh aus SfM-Punktwolke oder DepthMap generieren
- MeshFiltering: Unerwünschte Elemente aus dem Netz herausfiltern
- Texturing: Bei der Texturierung werden UVs erstellt und die Texturen projiziert, wobei Qualität und Größe/Dateityp der Textur geändert werden.

[3]

Nach Durchlauf der Pipeline für jede Reihe an Aufnahmen pro Durchlauf ergeben sich folgende in Abbildung 17 dargestellten Dateien.

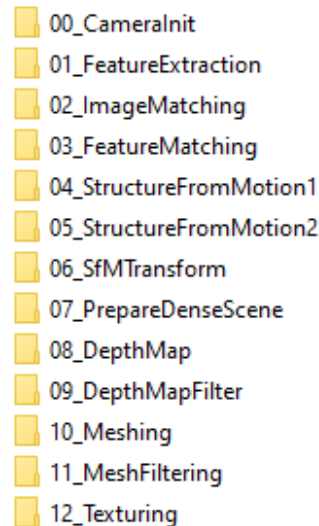


Abbildung 17: Abbildung der durch das Programm erstellten Ordner und Dateien

Erkennbar ist im Vergleich mit der vorher dargestellten Pipeline, dass zu jedem durchlaufenen Schritt ein Ordner besteht. Die Erstellung des schlussendlichen Ergebnisses basiert dabei auf dem chronologischen Durchlaufen der Funktionen und darauffolgenden Benutzen der vorläufigen Ergebnisse.

Die Ergebnisse der Pipeline befinden sich dabei im Ordner „Texturing“ und folgen für jeden Durchgang dem Aufbau aus Abbildung 18.

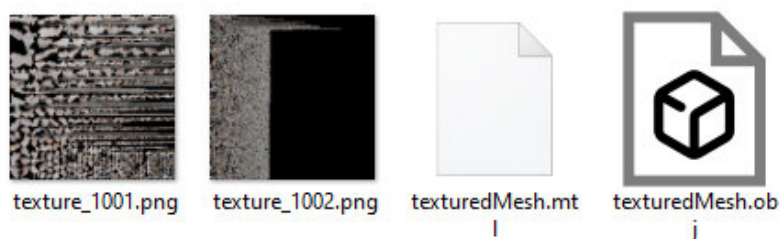


Abbildung 18: Abbildung der endgültigen Ergebnisse aus der Photogrammetrie Pipeline

3.4.2.2 Handscanner

Im Vergleich zu den Aufnahmen der Photogrammetrie bestehen bei dem Handscanner bereits eine Art 3D Modell pro Scanvorgang. Jedes 3D Modell besteht aus mehreren einzelnen Scans. Diese sind definiert als eine „Folge von Bildern, die in einer einzigen kontinuierlichen Bewegung des Scanners um ein Objekt oder eine Szene herum aufgenommen werden“. [20] Jeder Scan ergibt sich dabei aus einer Anzahl von Frames, also „3D-Oberflächen, die während einer Scan-Sitzung erfasst werden“. [20]

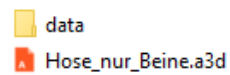


Abbildung 19: Abbildung der Dateien pro Scanvorgang nach Übertragung vom Scanner auf einen PC

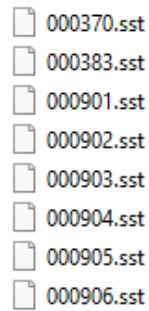
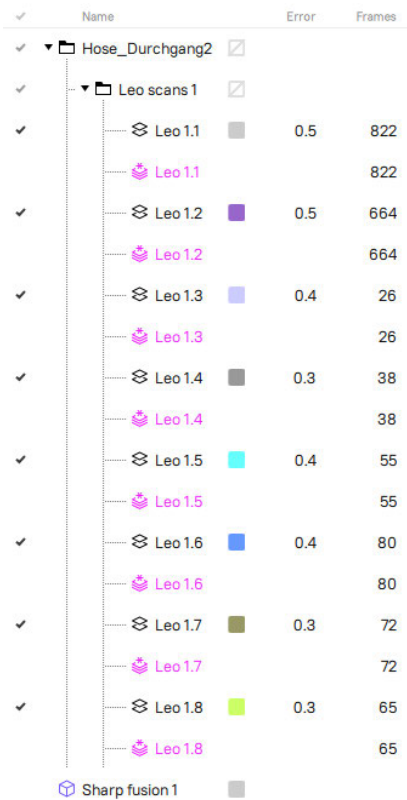


Abbildung 20: Abbildung weiterer Dateien

Die in Abbildung 19 dargestellten Dateien erhält man nach dem Import eines Scanvorgangs vom Handscanner auf einen PC. Erkennbar ist das eigentliche Projekt mit der Dateiendung der mit dem Actec Leo kompatiblen Softwarelösung und einen weiteren Ordner. Die in diesem Ordner enthaltenen Dateien sind in Abbildung 20 zu betrachten. Die beschriebenen Dateien sind im Vergleich zur Photogrammetrie sehr unterschiedlich, da diese mit einer jpg Dateien arbeitet.



✓	Name	Error	Frames
✓	▼ Hose_Durchgang2		
✓	▼ Leo scans 1		
✓	Leo 1.1	0.5	822
	Leo 1.1		822
✓	Leo 1.2	0.5	664
	Leo 1.2		664
✓	Leo 1.3	0.4	26
	Leo 1.3		26
✓	Leo 1.4	0.3	38
	Leo 1.4		38
✓	Leo 1.5	0.4	55
	Leo 1.5		55
✓	Leo 1.6	0.4	80
	Leo 1.6		80
✓	Leo 1.7	0.3	72
	Leo 1.7		72
✓	Leo 1.8	0.3	65
	Leo 1.8		65
	Sharp fusion 1		

Abbildung 21: Abbildung eines Scandurchgangs mit dem Handscanner, Auflistung der verschiedenen Scans mit ihren Eigenschaften





















Title	Color	Texture	Error	Polygons
Frame 0	■		0.3	41 736
Frame 1	■		0.3	41 000
Frame 2	■		0.3	40 926
Frame 3	■		0.3	40 810
Frame 4	■		0.3	40 154
Frame 5	■		0.3	39 862
Frame 6	■		0.3	40 119
Frame 7	■		0.3	40 412
Frame 8	■		0.3	40 801
Frame 9	■		0.3	41 449
Frame 10	■		0.3	41 580
Frame 11	■		0.3	41 700
Frame 12	■		0.3	41 937
Frame 13	■		0.3	41 950
Frame 14	■		0.3	42 311
Frame 15	■		0.3	42 538
Frame 16	■		0.3	42 809
Frame 17	■		0.3	42 866
Frame 18	■		0.3	42 606
Frame 19	■		0.3	42 876

Abbildung 22: Abbildung eines beispielhaften Ausschnittes über Frames eines Scans

Der Aufbau eines Scandurchgangs mit den einzelnen Scans und den in einem Scan enthaltenen Frames lassen sich den Abbildungen 21 und 22 entnehmen. Auf der ersten Abbildung sind die schwarzen benutzten Scans und die lilanen Scans, die zur HD-Rekonstruktion benutzt werden abgebildet. Die eben erwähnten lilanen Scans und Techniken um diese aufzuarbeiten werden in dieser Arbeit nicht erwähnt. Erkennbar ist auch die Anzahl der Frames, welche jeder Scan enthält. Die in der zweiten Abbildung dargestellten Frames werden wiederum nummeriert und ihre Größe in Form von Anzahl an Polygonen aufgeführt. Der Error „ist der Parameter, der die Qualität der Bildregistrierung widerspiegelt. Bei Scans zeigt er den maximalen Wert aller Bilder an. Je größer der Wert, desto ungenauer ist die Ausrichtung.“ [19] Dabei ist der Error ein Ausgangswert und nicht auf durch den Nutzer durchgeführte Operationen zurückzuführen. Da im Vergleich zu den Angaben durch den Hersteller sich der Error im Bereich befindet, indem sich die Resultate trotzdem als Gut einstufen lassen, wird die Error Rate im Weiteren nicht berücksichtigt. [19] Die Beurteilung zu den Error Werten lässt sich Abbildung 23 entnehmen.

Table 9 Maximum error values for the scanner types.

	Good results	Acceptable	Unacceptable
Spider	0.0-0.1	0.2-0.3	0.4-...
Eva	0-0.3	0.4-0.9	1.0-...
Micro	0.0	0.1	0.2-...
Leo	0.0-0.5	0.6-1.3	1.4-...
Ray	0.1-0.9	1.0-2.9	3.0-...

Abbildung 23: Abbildung zu den Error Werten in den einzelnen Scans Bezogen auf die verschiedenen Handscanner Arten, [19]

Für die weitere Erstellung der 3D Modelle und die dafür benötigte Pipeline wurde sich auf Grund der Einfachheit und Unwissenheit in Hinblick auf die Software auf die in der Dokumentation beschriebene Pipeline bezogen und auf ihre Funktion überprüft. [18] Die benannte Pipeline ist in Abbildung 24 dargestellt.



Abbildung 24: Abbildung der Pipeline zur Erstellung der 3D Modelle mittels Artec Studio 16, [18]

Da die Pipeline sehr gute Ergebnisse liefert musste sie für die in dieser Arbeit verfolgten Zwecke nicht abgewandelt werden. Da es je Prozess in der Pipeline eine Mehrzahl an verschiedenen Funktionen gibt ist im Folgenden die für die Nachbearbeitung der Scans in 3D Modelle verwendeten Funktionen aufgeführt. Erwähnenswert ist dabei, dass alle Funktionen in ihren Standardeinstellungen durchgeführt wurden.

- Align
- Global Registration
- Sharp Fusion
- Mesh Simplification
- Texturizing

Der Prozess des „Cleaning“ aus der Pipeline wurde auf die Weiterverarbeitung in einem anderen Programm verschoben um für die spätere Evaluation die ganzen Modelle nutzen zu können.

Neben der vorgestellten manuellen Pipeline verfügt die Software außerdem über eine Funktion „Autopilot“. Dieser hilft bei Zeiteinsparungen durch automatische Ausführungen von Funktionen hintereinander und Zusammenstellung einer Pipeline bei Unwissenheit über welche Funktionen Software verfügt.

Die oben genannten Funktionen sind wie folgt in der Dokumentation der Software beschrieben.

- Align: Um mehrere Scans auszurichten

- Global Registration: Gleichzeitige Optimierung der Bildposition über alle Scans hinweg, um sie für die weitere Verarbeitung vorzubereiten
- Sharp Fusion: So erstellen Sie ein Modell (eine einzelne Fläche, im Gegensatz zu den mehreren Flächen, die den Ausgangsscan bilden)
- Mesh Simplification: Reduzierung der Dateigröße durch Verringerung der Anzahl der Polygone, ohne die tatsächliche 3D-Geometrie wesentlich zu verzerren
- Texturizing: So erstellen Sie ein texturiertes Modell

[18] Bei Bedarf stehen außerdem noch weitere Funktionen zur Verfügung. Dazu gehören unter anderem ein Editor oder weitere Funktionen zum PostProcessing wie Filter.

Im Folgenden wird in Kürze als Beispiel die Auswirkung der Funktion „Align“ auf das 3D Modell erläutert. Neben allen anderen Funktionen ist bei der „Align“ Funktion am meisten manuell durchzuführen und zeigt im Zwischenergebnis am meisten Veränderung. Erwähnenswert ist allerdings, dass alle genannten Funktionen auf ihren Standardeinstellungen durchgeführt wurden. Der Ausgangspunkt des Alignen ist in Abbildung 25a dargestellt. Abgebildet sind zwei Scans mit überlappenden Abschnitten. Diese werden im nachfolgenden zu Abbildung 25c übereinandergelegt. Um den Effekt zu verdeutlichen sind in Abbildung 25b und 25d nochmals die selben Modelle in anderer Darstellung aufgezeigt. Für das Alignment kann zwischen manuellem Vorgehen und automatischen Vorgehen gewählt werden. Da das manuelle Alignen zeitaufwendig ist und das automatische Vorgehen gute Ergebnisse liefert hat wurde es dabei belassen.



Abbildung 25: Collage zweier Scans vor und nach dem Alignen in unterschiedlichen Darstellungsmethoden

Nach Durchführung aller genannten Funktionen kann das fertige Modell exportiert werden.

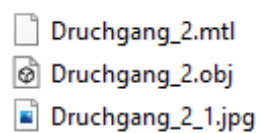


Abbildung 26: Abbildung der entstandenen Dateien durch den Export

Im Vergleich zu den entstandenen Dateien nach der Photogrammetrie-Pipeline sind in Abbildung 26 alle Dateien abgebildet die pro Modell durch den Export erzeugt wurden.

3.4.3 Weiterverarbeitung der erstellten 3D Modelle

Nach der Erstellung der 3D Modelle mittels Meshroom und Artec Studio 3D werden die Modelle in Blender importiert. Dabei liegen die Modelle in obj. Dateien vor und die Texturen in Texture Maps in jpg. Dateien.

Wie in Abbildung 27 zu erkennen ist wurde in Blender im Viewport je ein beispielhaftes untexturiertes Modell einer Puppe und einer Jogginghose generiert.



(a)



(b)



(c)

Abbildung 27: Collage beispielhafter Modelle direkt nach dem Import in Blender, untexturiert und nicht vorverarbeitet, Abbildung 27a zeigt das 3D Modell der Puppe, Abbildung 27b zeigt das 3D Modell der Hose an der Puppe, Abbildung 27c zeigt die alleinige Hose

Zum Verständnis über die Ausführung der nachfolgenden Operationen müssen zuvor folgen-

de Begriffe Mesh, Vertex, Edge und Face definiert werden. Das erzeugte 3D Modell besteht bei der Photogrammetrie aus einem Mesh mit zwei Materialien. Jedes Material basiert auf den Ergebnissen einer Kamera. Das 3D Modell des Scanners besteht aus einem Mesh und einem Material. Die Zusammensetzung der verschiedenen grundlegenden Strukturen zu einem Mesh lässt sich in Abbildung 28 erkennen.

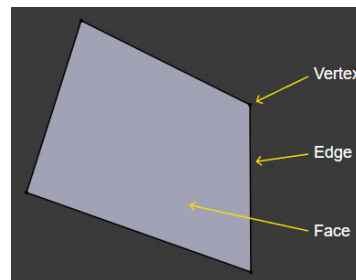


Abbildung 28: Abbildung der Strukturen in Blender, [8]

„Das Netz stellt eine Struktur dar, die aus Scheitelpunkten, Kanten und Flächen besteht“. [8] Der „Vertex (Vertices Plural)“ stellt die Struktur dar, „der ein einzelner Punkt oder eine Position im 3D-Raum ist“. [8] „Eine Kante verbindet immer zwei Eckpunkte durch eine gerade Linie.“. [8] „Flächen werden verwendet, um die tatsächliche Oberfläche des Objekts zu erstellen“. [8]

Um nun das Mesh des 3D Modells zu texturieren wird in den Shading Port gewechselt. Bei Erstellung des 3D Modells in Blender wird immer automatisch die "Principled BSDF" Node miterzeugt und bildet die Grundeinstellungen für 3D Modelle ab. Die "Principled BSDF" Node ist wie der Name sagt eine Struktur vom Namen Node. Jede Node „[...]“ führt eine bestimmte Operation am Material durch, die das Aussehen des Materials verändert, wenn es auf das Netz angewendet wird, und gibt es an den nächsten Knoten weiter. Auf diese Weise können sehr komplexe Materialerscheinungen erzielt werden“. [12] An die "Principled BSDF" Node wird eine Image Texture Node gehangen. Die Color Ausgabe der Image Texture wird mit der Basecolor Eingabe der Principled BSDF verknüpft. Wird in die Image Node die jpg Datei der jeweiligen Texture Maps der Modelle geladen werden die Modelle texturiert. Dieser Schritt wird für jedes Material und jedes Modell durchgeführt.

Die Endprodukte jedes Modells werden als Grundmodelle abgespeichert. Bei Problemen sind so die Grundmodelle als Rücklage vorhanden. Außerdem wird während dem ganzen Prozess der Arbeit mit dem Programm in kleinen Zeitintervallen regelmäßig abgespeichert um Verlusten vorzubeugen. Dies ist vor allem notwendig in Anbetracht dessen, dass Blender ein sehr rechentechnisch aufwendiges Programm ist und dies häufig zu Problemen führen kann. Außerdem ist auch das gegebene Modell hochskaliert und aufwendig was die Anzahl an Faces betrifft. Dieses Problem wird später noch weiter erläutert.

Da bei der Verarbeitung der photogrammetrischen Aufnahmen in 3D Modelle die Größe des CC-Tag mit angegeben werden konnte kann bei diesen Modellen der Schritt der Skalierung ausgelassen werden. Bei den durch den Scanner erfolgten Aufnahmen muss allerdings nach dem Import in Blender und vor jeglichen Änderungen eine Skalierung durchgeführt werden. Im Layout Port von Blender wird das Modell markiert und das Kontextmenü geöffnet. Im Fenster unter Dimensionen können alle Größen des Modells in jeder Achse

ermittelt werden. Laut Dokumentation nimmt der „Artec Leo“ in Millimetern auf. [22] Blender nutzt als Standardeinheit Meter. Um die beiden Einheiten übereinzustimmen muss bei jeder Achse unter Dimensionen die Zahl durch Eintausend geteilt werden. Um die Skalierung zu beenden und eine problemlose Arbeit mit den Modellen zu ermöglichen muss das Skalierungskontextmenü geöffnet werden und mittels „Scale“ die Skalierung angewandt werden. Dies setzt die Größe der Skalierung des Modells in Blender wieder auf den Ausgangswert von 1.

Des Weiteren muss bei allen Modellen des Scanners die Roughness der Principle BSDF Node erhöht werden. Damit wird der Glanz aus den Modellen entfernt, da dieser bei Hosen unrealistisch ist. Bei allen Modellen wird der Wert der Roughness auf 0.65 gesetzt.

Auf die Erstellung der Grundmodelle folgt nun die eigentliche Verarbeitung. Grundlegend geht es in diesem Schritt um die Entfernung von Fragmenten und die Aufarbeitung des eigentlichen Modells. Im Layout Port wird dafür auf den Edit Modus umgeschaltet. Mittels des Lasso Tools können alle ungewünschten Polynome des Meshes ausgewählt werden. Mittels des Kontextmenüs können dann die Vertices entfernt werden. Für die Modelle der Puppe bedeutet dies, dass alle umliegenden nicht zur Puppe gehörenden Fragmente entfernt werden müssen. Dazu gehören Fragmente der benutzten Beleuchtung, Fragmente des Drehtellers und der Ständer auf dem die Puppe befestigt wurde. Damit bleiben nur noch eigentliche Strukturen wie die Puppe und der auf der Puppe angebrachte CC-Tag bestehen.

Bei der Hose müssen neben den bereits oben genannten Fragmenten des Weiteren noch die erkennbaren Reste der Puppe entfernt werden. Diese sind Füße sowie Becken der Puppe und damit auch der CC-Tag. Da mittels des CC-Tag die Größe des Modells im 3D Raum überprüft wird muss dies vor der Entfernung sichergestellt werden. Da die angezogene Hose an der Puppe und die Puppe in den Aufnahmen ein verbundenes Mesh ergeben müssen alle Vertices manuell selektiert werden, die beim Übergang von Hose zu Puppe der Farbe der Puppe entsprechen und außerdem möglicherweise kleinste Vertices der Hose um scharfe oder unförmige Kanten zu vermeiden.

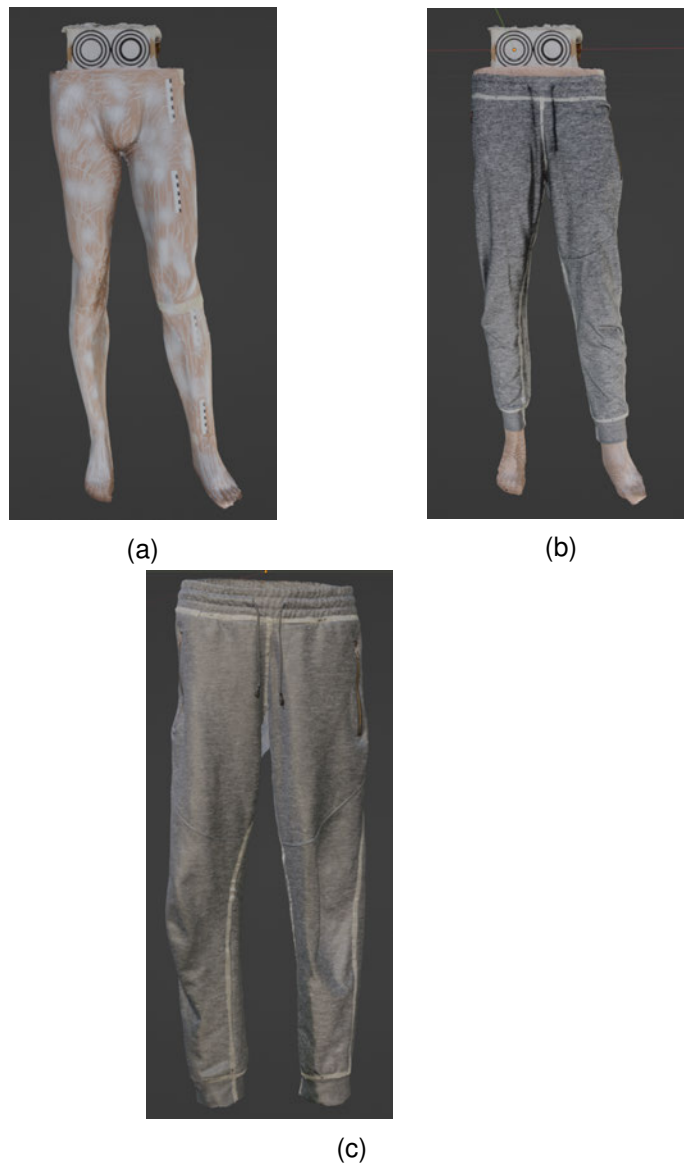


Abbildung 29: Collage über die vorverarbeiteten Modelle, Abbildung 29a zeigt die fertige Puppe, Abbildung 29b zeigt die fertige Hose an der Puppe, Abbildung 29c zeigt die alleinige Hose nach der Vorverarbeitung

In der Collage 29 können nun im Vergleich zu den Ausgangsmodellen vom Anfang des Kapitels die Unterschiede durch die genannten Vorverarbeitungsschritte betrachtet werden.

3.4.4 Stoffsimulation

3.4.4.1 Aufbau und Layout des Experimentes im 3D Raum

In diesem Abschnitt wird es um die Simulation der erstellten Modelle gehen. Die Prämisse dahinter ist zu schauen ob eine Person, hier ersetzt durch eine Puppe, digital angezogen werden kann. Dabei soll besonders auf das Erscheinungsbild und die Relationen Bezug genommen werden.

3.4.4.2 Funktionen und Einstellungen

In diesem Kapitel wird besonderes Augenmerk auf die benutzten Methoden und die Einstellungen innerhalb dieser Methoden gelegt. Bei den nachfolgenden Methoden und Einstellungen wird vor allem auf die grundlegende Funktion eingegangen, wobei die genaue Benutzung und die erhofften Effekte im nachfolgenden Kapitel besprochen werden.

Von grundlegender Bedeutung für diese Arbeit sind vor allem die Modifier, die auf die einzelnen Objekte angewandt werden können. Diese sind folgendermaßen definiert. Modifier „sind automatische Operationen, die die Geometrie eines Objekts auf nicht-destruktive Weise beeinflussen.“[5] Mit Modifiern „können Sie viele Effekte automatisch durchführen, deren manuelle Ausführung sonst zu mühsam wäre.“[5] Außerdem ist es von hoher Bedeutung, dass mehrere Modifier auf einem Objekt angewandt werden können. Dadurch entsteht der sogenannte Modifierstack. Darüber hinaus können Modifier nicht nur auf ein Objekt hinzugefügt werden, sondern auch angewandt, „wenn Sie seine Änderungen dauerhaft machen möchten.“[5] Modifier bilden damit die Grundlage für die gesamte Durchführung dieses Experimentes. Um die eben genannten Funktionen zu erfüllen werden die Modifier in vier Gruppen eingeteilt. Diese sind

- Modify
- Generate
- Deform
- Physics

[5]

Für die in dieser Arbeit angestrebte Simulation sind vor allem die Modifier der Gruppe Physics von Bedeutung. Zu diesen Modifiern zählen der Cloth und der Collision Modifier. Mit dem Physik System „können [...] eine Reihe verschiedener physikalischer Phänomene aus der realen Welt simuliert [werden]. Sie können diese Systeme verwenden, um eine Vielzahl von statischen und dynamischen Effekten zu erzeugen.“[11] Unter diese Effekte fallen der Cloth und Collision Modifier. [6] Der Cloth Modifier „hat sehr komplexe interne und umweltbedingte Interaktionen. Stoff wird in der Regel als 2D-Mesh modelliert, um reale Objekte wie Stoffe, Fahnen und Banner zu simulieren. Doch Stoff kann auch zur Modellierung von 3D-Objekten wie Teddybären, Kissen, Luftballons oder Bällen verwendet werden.“[11] Dies wird im späteren für das Simulieren der Hose von großer Bedeutung. Der Collision Modifier ist dafür da, dass verschiedene Objekte, darunter Partikel, Soft Bodies und Stoffobjekte [...] mit Netzobjekten kollidieren [können] “. [15]

Interessant für die Simulation sind beim Cloth Modifier die folgenden Einstellungen

- Shape Eigenschaften mit
 - Stiffness
 - Pin Group: Vertex Group, die für die Anheftung verwendet wird
- sowie Physical Properties mit

- Stiffness
- Damping
- Collision mit
 - object collision: Wenn das Stoffobjekt durch ein anderes Objekt abgestoßen werden muss
 - self collision: Echter Stoff kann sich nicht selbst durchdringen, daher soll er sich normalerweise selbst abstoßen
- und zuletzt Cache: Nachdem Sie das deflection mesh für den Bildbereich, in dem Sie die Simulation ausführen wollen, eingerichtet haben, können Sie der Stoffsimulation nun mitteilen, dass sie Kollisionen berechnen soll

[17] [13]

Bei dem Collision Modifier sind folgende Eigenschaften interessant

- Damping: wie stark die Oberflächen während einer Kollision zurückfedern
- Thickness inner: Die Innenseite wird mit einem Polsterabstand versehen
- Thickness outer: Die Außenseite wird mit einem Polsterabstand versehen
- Friction: ein Koeffizient für die Schlüpfrigkeit des Stoffes, wenn es mit sich selbst zusammenstößt

[10]

Bevor mittels der Modifier die eigentliche Simulation durchgeführt wird müssen die Objekte noch vorbereitet werden. Dazu wird ein Armature erstellt. „Eine Armature in Blender kann man sich ähnlich wie die Armature eines echten Skeletts vorstellen, und genau wie ein echtes Skelett kann eine Armature aus vielen Knochen bestehen. Diese Knochen können bewegt werden, und alles, was mit ihnen verbunden ist, bewegt und verformt sich auf ähnliche Weise ". [7]

Auf diesem Wege wird mittels des Armature, dass auf ein bestimmtes Objekt angewandt wird ein Rig erstellt. Ein Rig ist dabei definiert als „Steuerung und die Fäden, die eine Marionette bewegen, die Umwandlung eines Modells in eine bewegliche Figur ". [7]

Da es kein standardmäßiges Armature in Blender gibt und nur einzelne Knochen erzeugt werden können, wird das Add-On Rigify benutzt. Rigify „hilft, die Erstellung von Charakter-Rigs zu automatisieren ". Es stellt ein Meta-Human Rig zur Verfügung. „Ein Meta-Rig ist eine Zusammenstellung von Bone-Chains. Eine Bone-Chain wird durch das Attribut connected identifiziert." [4] [9]

Damit sind alle interessanten Funktionen, Methoden und Einstellungen erklärt. Die Benutzung und Einbringung der Einzelnen wird im nachfolgenden Kapitel 3.4.4.3 erklärt. Dabei wird vor allem der Effekt auf die Simulation beschrieben.

3.4.4.3 Durchführung

Zu aller erst wurde die neuste Version von Blender von seiner Website heruntergeladen, installiert und eingerichtet, sowie über das Preference Menü unter Add On Rigify hinzugefügt. [34] [9] Bevor die Stoffsimulation im Programm durchgeführt werden kann, wurde zum Zweck der Organisation und Übersichtlichkeit eine Abbildung über die vorhandenen 3D Modelle erstellt. Dazu gehören mehrere Tabellen, welche alle möglichen Kombinationen der verschiedenen 3D Modelle in einer Simulation aufzeigen. Zu beachten gilt, dass alle Simulationen dasselbe Ziel verfolgen und den selben Aufbau darstellen. Zusätzlich ist anzumerken, dass es keine doppelten Simulationen gibt, sondern die Simulationen darauf untersucht werden, ob sich die Methoden der Aufnahme der Modelle unterschiedlich auf die späteren Ergebnisse auswirken. In Tabelle 1 und 2 sind die vorher angesprochenen Kombinationen aufgeführt. Tabelle 1 zeigt dabei die eigentliche Simulation. Diese meint in dem Zusammenhang mit diesem Experiment die Simulation der Puppe mit der nicht angezogenen Hose. Diese Simulation ist das Hauptexperiment dieser Arbeit und verfolgt die vorher angesprochenen Forschungsfrage. Die Tabelle 2 zeigt die Überprüfungssimulationen, welche in diesem Zusammenhang die Simulation der Puppe mit der bereits an der Puppe angezogenen Hose darstellt. Diese soll dazu dienen, dieses Experiment zu evaluieren und die Funktion zu hinterfragen. Dabei wird gehofft, dass sich die angezogene Hose in der Simulation nicht weiter verändert und somit die Funktion des digitalen Anziehens bestätigt, da sie bereits im Zustand des Anziehens besteht.

Tabelle 1: Kombinationen der Modelle für die Durchführung der eigentlichen Simulation

Puppe	Hose
Photogrammetrie Modell	Scanner Modell
Scanner Modell	Photogrammetrie Modell

Tabelle 2: Kombinationen der Modelle für die Durchführung der Überprüfungssimulation

Puppe	Hose
Scanner Modell	Modelle 3 und 4 aus der Photogrammetrie
Scanner Modell	Modelle 2,3,4,5 und 6 des Scanners
Photogrammetrie Modell	Modell 2,3 und 4 der Photogrammetrie
Photogrammetrie Modell	Modelle 2,3,4,5 und 6 des Scanners

Um dem Ziel des digitalen Anziehens einer Hose näher zukommen wird das Hauptziel in mehrere kleine Teil-Ziele unterteilt. Dies hilft nicht nur die Aufgabe zu vereinfachen und besser zu organisieren sondern auch leichter festzustellen wo möglicherweise Probleme ihren Ursprung aufweisen. Das erste Teil-Ziel wird in diesem Zusammenhang die Hose und die Puppe in einen Blenderraum zu übertragen.

Um die Idee der Stoffsimulation im 3D umzusetzen wurde sich folgender in Abbildung 30 dargestellter Aufbau überlegt. Im Folgenden wird sich auf die Erstellung der ersten Überprüfungssimulation mit den Modellen der Puppe des Scanners und des ersten Durchgangs der Hose mittels des Scanners beschrieben. Wie später noch näher erklärt wird können die Beschreibungen auf alle anderen Modelle mit bestimmten Begrenzungen angewandt werden.



Abbildung 30: Abbildung des Aufbaus der importierten Modelle in Blender

Grundlegend müssen dafür je ein Modell der Hose und ein Modell der Puppe im 3D Raum platziert werden. Dies wurde realisiert in dem ein Modell geöffnet wurde und das fehlende per Import Funktion hinzugefügt wurde.

Wie bisher auf der Abbildung zu erkennen ist sind die Jogginghose und die Puppe in keiner Weise miteinander verbunden. Dies ist für die Funktion allerdings ausschlaggebend, wodurch das nächste Teil-Ziel ist die Puppe insoweit in der Hose zu platzieren, dass die Puppe in die Hose eingepasst ist und den Umrissen der Hose folgt. Die Puppe als Objekt kann im Blenderraum bereits als Ganzes bewegt werden, so kann man unter anderem Transformationsfunktion benutzen, bei der das Objekt auf jeder Achse rotiert, gestreckt sowie gestaucht werden kann oder komplett frei durch den ganzen Raum bewegt werden kann. Um die Puppe jedoch in die Hose einzupassen fehlen feinere Bewegungen und die gezielte Bewegung von einzelnen Teilen der Puppe. Abhilfe kann da das bereits eingeführte Rigggen eines Objektes bringen. Um das Rigggen zu ermöglichen muss ein Skelett erzeugt werden. Da Blender standardmäßig nur die Erzeugung von einzelne Knochen ermöglicht muss das Add-On „Rigify“ über das Preferences Menü aktiviert werden. Über das Add Kontextmenüt kann unter dem Punkt „Armature“ zwischen einzelnen Knochen und einem „Meta-Human-Rig“, wie es hier benutzt wurde, gewählt werden. Das Rig wird darauf im Mittelpunkt der Welt platziert und muss nachfolgend auf die Puppe angepasst werden. Zuallererst wird das Rig auf die ungefähre Größe der Puppe skaliert und einigermaßen in die Puppe gestellt. Um die einzelnen Knochen des Rig nun genauer auf die Puppe einzupassen muss das Rig markiert werden und in den „Pose Modus“ gewechselt werden. In diesem Modus können alle Knochen und alle Gelenke einzeln bewegt werden und in der Puppe auf die anatomisch korrekte Position von Knochen in der Realität gebracht werden. Dies kann auch in Abbildung 31 betrachtet werden. Erkennbar ist ein beispielhafter Ausschnitt über die positionierten Fuß- sowie Knochen des Unterschenkels.

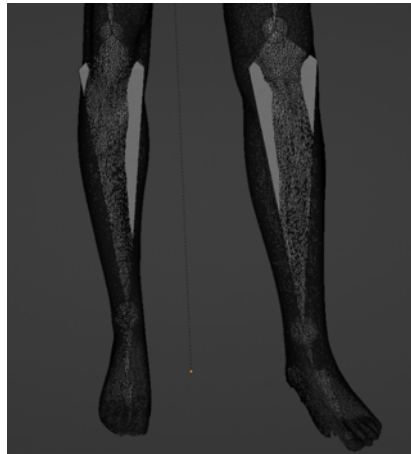


Abbildung 31: Abbildung des Vorgangs des riggens der Puppe, beispielhafte Positionierung der Knochen der Füße und Unterschenkel in der Puppe

Ebenfalls können die überschüssigen Knochen erkannt werden, welche aus dem oberen Teil der Puppe überstehen und anatomisch dem Oberkörper und Kopf zugeordnet werden können. Mittels Lasso -Tool können alle nicht benötigten und aus der Puppe stehenden Knochen markiert und über das Kontextmenü gelöscht werden. Weiterführend können der Abbildung auch entnommen werden, dass es nicht möglich ist alle Knochen komplett in der Puppe zu platzieren, sodass teile der Kanten aus der Puppe schauen. Dies hat allerdings keinen Einfluss auf die Simulation. Nach erfolgreicher Platzierung muss in den Objekt Modus geändert werden. Nacheinander müssen dann zuerst die Puppe und dann das Rig markiert werden. Über das Kontextmenü kann darauf hin die Funktion „Parent with automatic weights“ gewählt werden, welche die beiden Object fest miteinander verbindet. Dies lässt sich auch in der Kollektion feststellen, da aus den beiden Objekten ein Meta-Rig Objekt erstellt wird. Der neue Aufbau der Kollektion lässt sich in Abbildung 30 erkennen. Sichtbar sind die zwei Objekte „Hose“ und „Meta-Rig“. Stattdessen, dass die Hose als Objekt alleine steht ist sie durch die Parent Funktion nun mehr ein Unterobjekt des Rigs. Zusätzlich lässt sich im Rig die Aufteilung des Skelettes erkennen. So ist „Spine“ die Übergruppe unter der alle Knochen, die sich in der Puppe befinden und aus denen sich das Rig aufbaut, aufgelistet sind.

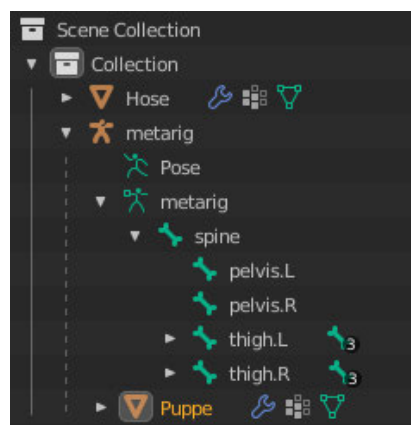


Abbildung 32: Abbildung des neuen Aufbaus der Kollektion in Blender

Wechselt man nun wieder in den Pose Modus und wählt einen einzelnen Teil der Puppe kann dieser separat vom Rest bewegt werden. Damit lässt sich die Puppe nun mittels Transformationsfunktion nahezu komplett in die Hose stellen. Das Ergebnis des Teil-Ziel ist in Abbildung 33a und 33c zu erkennen. Abgebildet sind die Zustände vor und nach Nutzung des Meta Rigs. Auf Abbildung 33a konnte somit ohne Meta Rig nur das Bündchen der Hose mit der Puppe in Einklang gebracht werden. Durch Nutzung des Meta Rigs wurde die gesamte Puppe in die Hose eingesetzt, wobei ein Teil des Ergebnis auf Abbildung 33b zu erkennen ist. Um deutlich zu machen, wie die Unterschiede der Position der Puppe vor- und nach Meta Rig Benutzung sind ist zum Vergleich in Abbildung 33c die eingepasste Puppe unter der Hose abgebildet wobei die Hose ausgeblendet wurde.

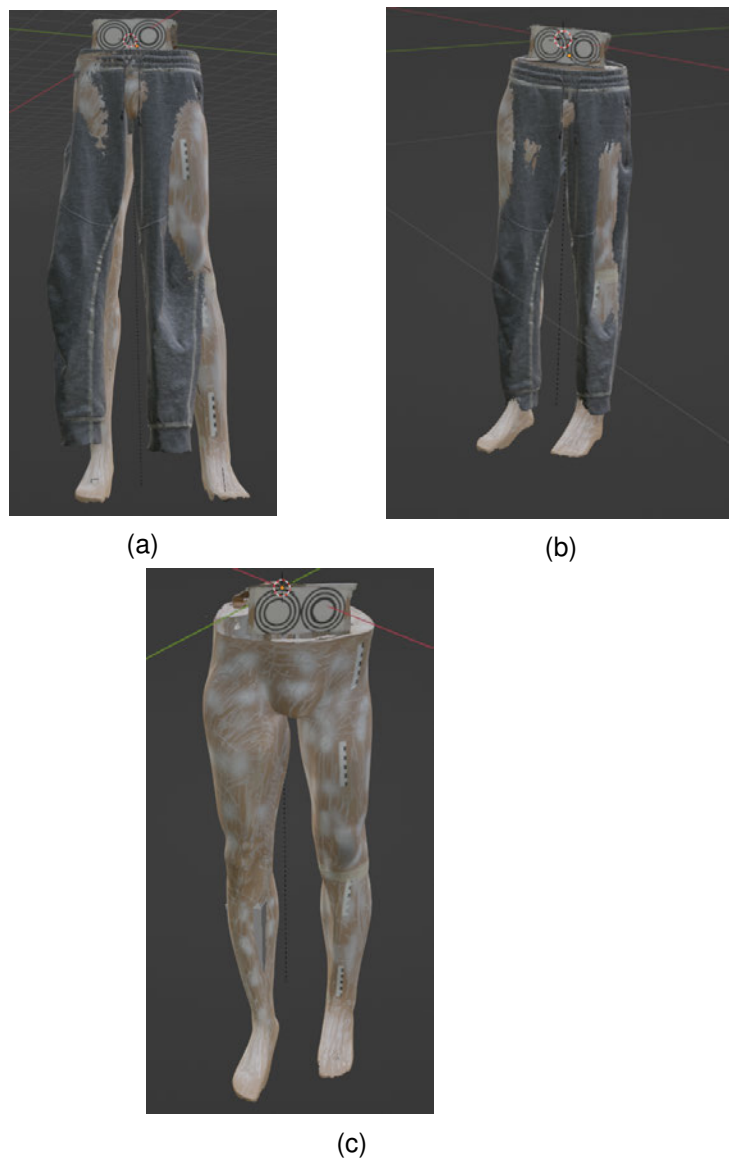


Abbildung 33: Collage über die verschiedenen Positionen der Puppe, Abbildung 33a zeigt die Positionierung der Puppe in der Hose vor der Nutzung des Rigs, Abbildung 29b zeigt die Position der Puppe in der Hose nach Nutzung des Meta Rigs, Abbildung 29c zeigt die Position der Puppe unter der Hose

Dieses erreichte Teil-Ziel kann bereits als eine Art des Anziehens der Hose an die Puppe angesehen werden. Obwohl die Puppe nun der Hose angepasst werden kann, werden Teile der Oberfläche der Puppe immer in der Oberfläche der Hose stecken. Neben diesem Problem fehlt weitergehend noch die eigentliche Bewegung und das Anschmiegen der Hose an die Puppe. Das Beheben dieser Probleme wird als nächstes Teil-Ziel verfolgt, wobei davon ausgegangen wird, dass jene Probleme mittels Simulation bewältigt werden können. Um die Simulation durchzuführen werden Collision und Cloth Modifier benötigt. Der Cloth Modifier erstellt Stoffeigenschaften auf dem ausgewählten Objekt. In dieser Simulation wird er auf die Hose angewandt. Unter dem Physic Tab können tiefere Einstellungen für diesen Modifier gefunden werden. Je nach Variation der Einstellungen können verschiedene Stoffe simuliert werden. Als Grundlage für diese Simulation werden die Voreinstellungen für einen Baumwollstoff benutzt. Der Collision Modifier wird auf die Puppe angewandt. Er stellt sicher, dass die Puppe als Kollisionsgegenstand in der Simulation betrachtet wird. Dadurch fällt die Hose beim Start der Simulation nicht einfach durch die Puppe, sondern an der Puppe runter. Bei der Puppe besteht bereits der Modifier Armature durch das Parenting mit dem Meta Rig. Für die Simulation spielt die Reihenfolge der Modifier eine wichtige Rolle. Jeder neu ausgewählte Modifier wird am Ende der Liste eingefügt. Da bereits der Armature Modifier bestand wird der Collision Modifier danach erstellt. Für diese Simulation ist die Reihenfolge in der Tat richtig. Denn durch diese Reihenfolge wird bei der Verarbeitung der Simulation zuerst die Armature betrachtet und danach die Collision auf die erstellte Armature angewandt. Um die Simulation zu testen kann bereits jetzt der Animations Player gestartet werden. Durch das Bestehen zweier Meshes mit hoher Polynomanzahl ist die Simulation allerdings noch sehr langsam. Um dies zu verbessern wird sowohl auf die Hose als auch auf die Puppe ein Decimate Modifier angewandt mit dem die Vertices Anzahl verringert werden kann. Je nach Stärke der Minimierung können Fragmente in der Texturierung auftreten. Bei der Puppe spielt das äußere Erscheinungsbild keine große Rolle, weshalb die Vertices von 200.000 auf ein Minimum von 10.000 reduziert werden. Bei der Hose wird die Anzahl der Vertices nur halbiert, da sich Fragmente negativ auf die Ergebnisse auswirken und über Try and Error die Anzahl immer noch verringert werden kann. Der Decimate Modifier im Vergleich zu den anderen Modifiern fest angewandt werden und außerdem dafür am Anfang der Liste stehen und somit in der Liste verschoben werden. Würde der Modifier nicht am Anfang stehen würde sich die Veränderung nur auf das Nachher-Ergebnis der Simulation beziehen, da er erst nach den anderen Modifiern verarbeitet werden würde. Zusätzlich konnte im ersten Durchgang der Simulation bemerkt werden, dass nicht zwischen den einzelnen Frames der Timeline gewechselt werden kann und somit die Ergebnisse nicht nochmal in einzelnen Standbildern separat angeschaut werden können. Über den Cloth Modifier unter Cache können die aktuellen Modifier und Eigenschaften in der Szene gebaked werden. Jene Funktion bedeutet die Vorverarbeitung der Simulation, wodurch die eigentliche Simulation weniger Rechenspeicher benötigt und es ermöglicht nachträglich zwischen den Ergebnissen der Simulation auf der Timeline hin- und herzuspringen. Von hoher Bedeutung ist, dass die Bake Funktion immer nur die aktuellen Eigenschaften und Modelle vorverarbeitet, wodurch nach neuen Veränderungen von Einstellung der Bake gelöscht und neu durchgeführt werden muss. Auf Grundlage dieser Einstellungen kann nun bereits betrachtet werden, dass die Kollision zwischen den beiden Objekten funktioniert. Durch die Cache Funktion können

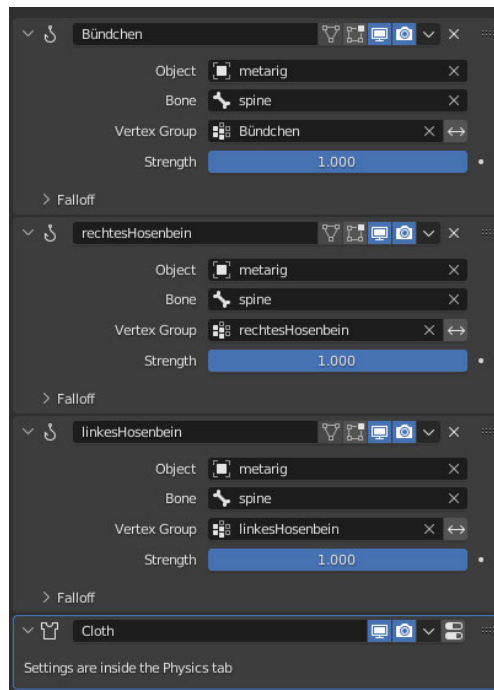
ferner mittels Try and Error auf schnelle und effektive Weise Einstellungen getestet und auf ihre Funktion in diesem Zusammenhang evaluiert werden. Um das eigentliche Anschmiegen der Hose an die Puppe zu lösen waren Hook Modifier beabsichtigt. Diese werden als erste Methode im folgenden Abschnitt erklärt.

Diese sollten ausgewählte Teile des Hosen-Meshes an das Puppen-Mesh ziehen. Für eine genauere Deformierung in Form des Anschmiegens sollten dafür mehrere Teile des Meshes definiert werden. Dabei sollten vor allem die Abschnitte der Hose beachtet werden, die auch in der Realität für einen Halt der Hose am Körper sorgen. Wie auf Abbildung 34 zu erkennen sollten zu diesen Abschnitten neben dem Bündchen auch jeweils die einzelnen Gummizüge der Hosenbeinöffnungen zählen.

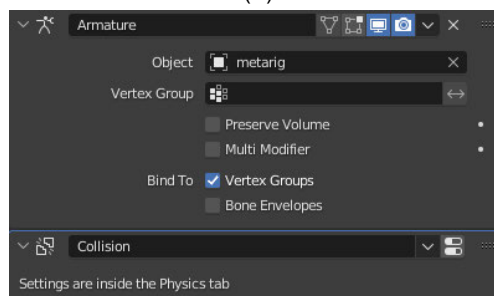


Abbildung 34: Abbildung der ersten definierten Vertex Gruppe mit Bündchen und beiden Hosenbeinöffnungen

Dafür wurde im Edit Modus mittels des Lasso Tools alle Vertices des Meshes die beispielsweise zum Bündchen gehören markiert. Über das Vertex Menü kann eine neue Vertex Gruppe erstellt werden, die nach dem markierten Abschnitt benannt wird. Mittels Assign können die markierten Vertices der Gruppe hinzugefügt werden. Über Select und Deselect wird die Zuweisung zur Vertex Gruppe überprüft. Für die weitere Durchführung der Simulation bestehen nun insgesamt drei Vertex Gruppen. Zu jeder Vertex Gruppe wird auf dem Hosen Objekt ein Hook Modifier erstellt. Da die Hook Modifier vor dem Stoff-Modifier durchgeführt werden sollen müssen alle Hook Modifier an den Anfang der Modifierliste gesetzt werden. Die finale Reihenfolge der Modifier kann auf Abbildung 35a und 35b nachvollzogen werden.



(a)



(b)

Abbildung 35: Collage über die verschiedenen angewendeten Modifier, Abbildung 35a zeigt den Modifier Stack der Hose, Abbildung 29b zeigt den Modifier Stack der Puppe

Im Hook Modifier muss nun das Rig als Objekt definiert werden, an welches die Vertices gezogen werden sollen. Außerdem muss die Übergruppe der Knochen gewählt werden. Für jeden Hook Modifier wird jeweils eine der Vertex Gruppen gewählt und der Modifier nach der Gruppe benannt. Der aktuelle Aufbau wird gebaked und kann anschließend ausgeführt werden. Nach starten des Animations Players wird festgestellt, dass die Hook Modifier nicht den gewünschten Effekt erzielen. Hook Modifier sorgen nur in laufenden Animationen dafür, dass ein Mesh eines Objektes einer gewünschten Bewegung folgen. Für den gewünschten Effekt in dieser Simulation muss eine andere Lösung gefunden werden. Jene wird im nächsten Abschnitt erklärt.

Bei näherer Betrachtung des Cloth Modifiers können neben den Einstellungen zum näheren Nachbilden eines Stoffes auch eine Eigenschaft namens Shape ausfindig gemacht werden. Diese hat ähnlich zum Hook Modifier die Fähigkeit Vertex Gruppen anzuhängen. Da bei den Shape Einstellungen nur eine Vertex Gruppe gewählt werden kann wird eine neue Vertex Gruppe definiert, welche alle Teile, der in den vorherigen Vertex Gruppen vereint. Diese

neue Vertex Gruppe wird in der Shape Einstellung ausgewählt. Die aktualisierten Einstellungen können gebaked werden und der Animations Player im Anschluss gestartet werden. Diesmal kann betrachtet werden, dass die Hose an der Puppe angeheftet wird. Die bisher durchgeführten Einstellungen und der Aufbau können für alle Simulationen wiederholt werden.

Im weiteren Verlauf werden die Einstellungen vorgestellt, die ausschlaggebend für die Verfeinerung der Simulation sind. Angesichts des Collision Modifiers muss vor allem Thickness Outer verändert werden. Diese Einstellung ist für die Simulation wichtig, da sie verhindert, dass die Hose in der Puppe hängt, sondern auf der Oberfläche der Puppe liegt. Dafür erstellt die Einstellung eine Art Puffer auf der Oberfläche der Puppe. Jene Einstellung wird von 0.1 auf den höchstmöglichen Wert 1 gesetzt. Ähnlich ist die Einstellung Inner, welche auf der Innenseite des Puppen Meshes einen Puffer erstellt. Da die Innenseite in dieser Simulation nicht von Relevanz ist, kann diese Einstellung auf 0 gesetzt werden. Auch auf 0 gesetzt werden kann die Einstellung Damping. Diese beschreibt die Menge des Hüpfens der Oberfläche. Die letzte Einstellung Friction wird auf 80.000 gesetzt. Jene beschreibt wie viel Reibung die Oberfläche besitzt und wie rutschig sie damit ist. Die Einstellungen des Collision Modifiers können für alle Überprüfungssimulationen und für die eigentliche Simulation übernommen werden.

Bei den Überprüfungssimulationen kann zu diesem Zeitpunkt ein bereits sehr gutes Ergebnis verzeichnet werden. Zum Vergleich der Stände ist in Abbildung 36 eine Collage der Überprüfungssimulationen gegeben.

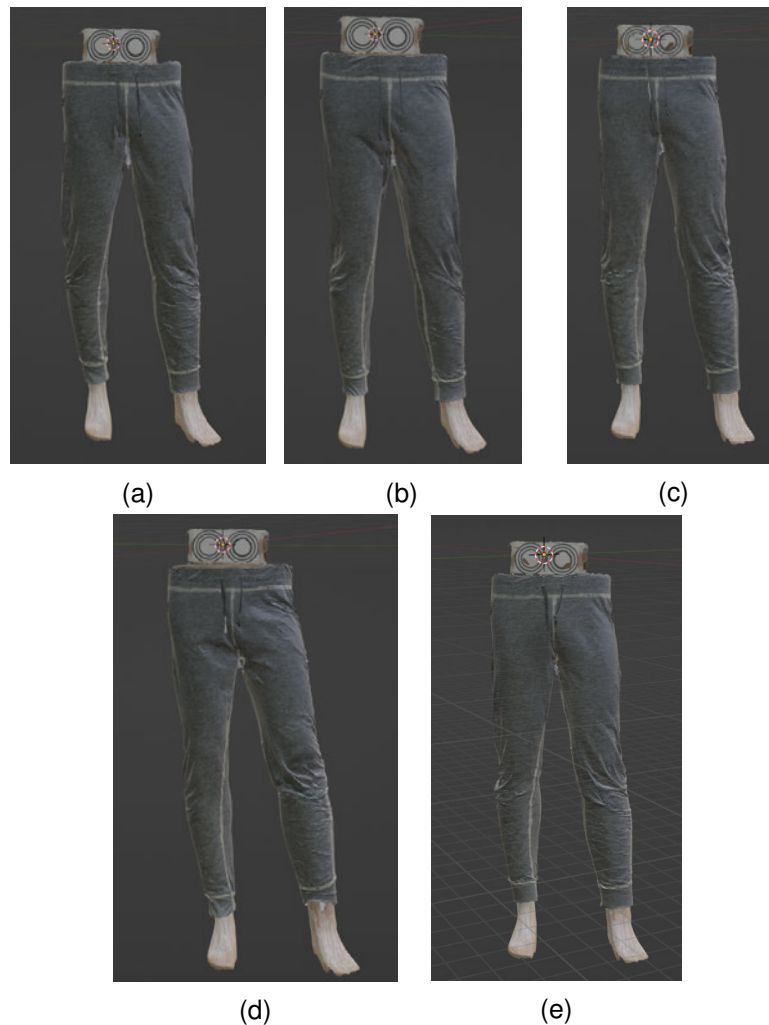


Abbildung 36: Collage der 3D Modelle nach der Überprüfungssimulation, von Links nach Rechts Modelle der Reihenfolge 2,3,4,5,6

Für die eigentliche Simulation müssen im Weiteren Stoffeigenschaften angepasst werden. Bei dem Unterpunkt der Collision im Cloth Modifier wird neben der Object Collision auch die Self Collision aktiviert, damit die Hose nicht in sich selber rutschen kann. Da es von Vorteil wäre, die Voreinstellungen des Baumwoll Cloth Modifiers beibehalten zu können, werden die Einstellung erweitert. Unter dem Abschnitt Stiffness werden alle Einstellung um 5000 erhöht sowie die letzte Einstellung auf 1 gesetzt. Auch unter dem Abschnitt Damping werden alle Einstellungen um 5000 erhöht sowie die letzte Einstellung auf 1 gesetzt. Mit diesen Veränderungen wird erhofft, dass der Stoff zum einen Steifer wird.

Durch die veränderten Einstellungen kann nach Baken und Ausführung des Animation Players festgestellt werden, dass die Hose sich die Hose zu Beginn der Simulation aufbläht um das Mesh der Puppe zu verlassen und sich im Anschluss perfekt an die Hose anlegt.

Um die bisherigen Ergebnisse zu perfektionieren kann bei allen Simulationen eine letzte Einstellung verändert werden. Durch die Shape Einstellung wird die gewählte Vertex Gruppe befestigt und vom Rest der Simulation ausgenommen. Dadurch, dass die Vertex Gruppen aus der letzten beschriebenen Simulation genommen werden, wird der Zustand der Ver-

tex Gruppen vor der Simulation aufrechterhalten, wodurch Teile des Meshes in der Puppe stecken und sich nicht an die Hose anpassen. Um dieses Problem zu umgehen wird der kleinstmögliche Teil jeder Gruppe gewählt. Damit wird sichergestellt, dass die Funktionsweise der Simulation uneingeschränkt bleibt, dennoch alle Teile des Meshes von der Simulation betroffen sind. Für die veränderte Vertex Gruppe wird im Edit Modus im Add Menü Select by Trait und non manifold gewählt. Dadurch werden alle Vertices gewählt, die nicht zu jeder Seite mit einem anderen Vertex verbunden sind. In Abbildung 37 kann die veränderte Vertex Gruppe betrachtet werden.

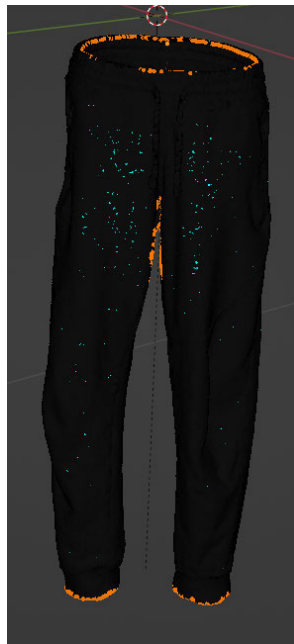


Abbildung 37: Abbildung der veränderten Vertex Group der Hose

Ausgewählt sind dabei ein kleiner Ring je am Rande des Bündchens und jeweils des Hosenbeinöffnungen. Außerdem ist diese Einstellung von Vorteil, da sie den Schritt der Hose mit markiert. Durch die Erschwernis der Aufnahme des Schrittes fehlen bei den Modellen Teile des Meshes, wodurch der Schritt offen ist und zusätzlich hinunter hängt. Beim Start der Simulation fällt dieser wie der Rest des nicht markierten Meshes runter. Durch die Definition des Schrittes in der Vertex Gruppe wird der Schritt nun auch an die Puppe angepasst. Wird die neue Vertex Gruppe in die Shape Eigenschaften eingetragen, werden die erhofften Ergebnisse erzielt und sogar in Bezug auf den Schritt verbessert.

3.5 Probleme und Lösungsansätze

In diesem Abschnitt werden Probleme und gegebenenfalls ihre Lösungen in Bezug auf die Methodiken aufgefasst. Die genannten Probleme werden auf den Zeitpunkt und Art ihres Auftretens beschrieben. Die Lösungsansätze beschreiben dabei die hier angewandte Lösung und können auch in anderer Form auftreten.

3.5.1 Probleme bei der Erzeugung der Aufnahmen

Bei den Vorbereitungen der Aufnahmen mittels Photogrammetrie-Pipeline entstand das erste Problem. Normalerweise laufen beide Programme auf einem PC. Die Photogrammetrie-Pipeline wurde auch bereits genutzt und sollte einwandfrei funktionieren. Beim Testen der Pipeline für dieses Experiment trat allerdings der Fehler „MPT Device busy "oder „invalid status "auf. Dieser Fehler trat gehäuft im Programm „DigiCamControl2 "auf, nachdem die Auslösung der Kameras für eine Einzelaufnahme angesprochen wurden. Nach der Durchführung der Testaufnahmen, den Wechsel in das Programm „Stageonair "und der Rückkehr in das andere Programm konnten keine weiteren Aufnahmen gemacht werden. Nach dem Wechsel der Kammer, des PCs und einer neuen Verkabelung der Kameras wurde das Problem dem Drehteller zugesprochen. Die Lösung für diese Problem war die Aufteilung der Programme auf je einen PC um die Umschaltung zwischen den Programmen umgehen zu können. Danach konnte die Photogrammetrie ohne weitere Probleme durchgeführt werden.

3.5.2 Probleme bei der 3D Modell Erstellung

Zuallererst ist es erwähnenswert, dass sowohl das Programm selber als auch die zugehörige Dokumentation für einen Laien sehr unübersichtlich sind. Neben dem Verstehen des Aufbaus des Programms war es zusätzlich problematisch die benötigten Funktionen für die Erstellung eines funktionierenden 3D Modelles zu finden. Auf Grund dessen wurde sich der Pipeline aus der Dokumentation bedient.

Bei der Abarbeitung der in Kapitel 3.4.2.2 beschriebenen Pipeline kam es bei der letzten Funktion zu Problemen. Dabei war eine Texturierung des vorher erstellten Fusion Modells nicht möglich. Die Texturierung des Modells wird mit den Scans, die zur Erstellung des Modelles benutzt wurden, durchgeführt. Die Scans, wie auch in dem Kapitel zu erkennen bestehen aus mehreren Frames und sind unterschiedlich groß. Wird nun versucht ein Scan mit einer hohen Anzahl von Frames für die Texturierung zu verwenden wird der Fehler aus Abbildung 38 erzeugt. Zusätzlich wurde in der Konsole der Fehler „Error: Texture: Failed to load on of the frames Textures "ausgegeben.

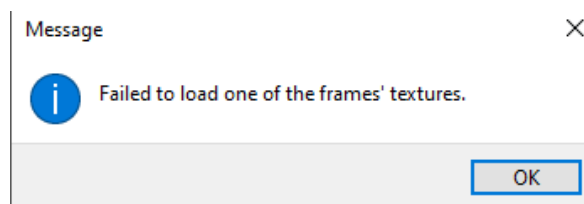


Abbildung 38: Abbildung des ausgegebenen Errors nach gescheiterter Ausführung der Texturierungsfunktion

Nachdem sowohl die Standardeinstellungen der Funktion überprüft wurden, die Pipeline mehrmals erneut durchgeführt wurde, die Speicherorte der Temp Dateien und Projekt Dateien überprüft wurden, sowie die Frames auf Fehler untersucht wurden konnten keine Probleme festgestellt werden. Die Erstellung des Modells wurde pausiert und sich einem anderen gewidmet. In diesem Modell hatte kein Scan eine so große Anzahl an Frames wie das voran-

gegangene. Die Texturierung funktionierte in dem Modell ohne Probleme. Die Texturierung wurde erneut am fehlgeschlagenen Modell ausprobiert. Diesmal wurden nur alle Scans bis auf den größten 1.1 zur Texturierung verwendet. Die Texturierung bricht diesmal nicht ab, allerdings sind die Texturierung nicht an den richtigen Stellen des Modells. Die Schlussfolgerung aus den Versuchen der Problemlösung ist, dass nur Scans mit einer bestimmten Größe zur Texturierung benutzt werden können. Zur Lösung dieses Problems wurde das Projekt auf einem anderen Computer mit selber Hardwareausstattung und selber Software Version ausgeführt. Die Scans konnten auf diesem PC erfolgreich texturiert werden. Das Problem wurde auf einen Software-Fehler auf dem ursprünglichen PC zurückgeführt.

Aus den oben genannten Problemen ergeben sich mehrere Probleme. Das aller erste nennenswerte Problem ist die fehlende Beschreibung und Ausstattung des Fehlers mit einem Code. So lässt sich schwer nachvollziehen in welchem Zusammenhang der Fehler steht und welche Änderungen zur Behebung getroffen werden müssen. Einhergehend mit diesem Problem geht außerdem, dass die Community sehr klein ist und es sich kaum bis gar keine Lösungsvorschläge sowie Ideen zum Programm und den Projekten finden lassen.

3.5.2.1 Probleme bei der Durchführung der Simulationen

Das folgende Problem bezieht sich auf die vielen Möglichkeiten der Kombinationen der Modelle. Die benutzten photogrammetrischen Modelle besitzen eine hohe Anzahl an Faces. Dies bringt vor allem Probleme in Bezug auf Schnelligkeit der Simulationen und die Möglichkeit der Durchführung Probleme. Der ausschlaggebende Punkt bei dieser Arbeit ist allerdings, dass in einem Projekt nun nicht nur ein 3D Modell existiert sondern mit zwei Modellen gleichzeitig in einem Projekt gearbeitet wird. Dadurch ist nicht nur einmal eine hohe Anzahl von Faces in der Simulation, sondern zweimal, welche zu dem beide konstanten Veränderungen durch die Modifier ausgesetzt sind. Je nach Aufnahmemethode, die für die Modelle genutzt wurden steigt die Anzahl der Faces zusätzlich. Beispielsweise ist das Modell der Hose durch Photogrammetrie 1.422.780 Faces groß. Im Vergleich dazu ist dasselbe Modell nur mit dem Scanner erstellt gerade nur 200.000 Faces groß. Dazu kommt, dass je nach Aufnahme Bereiche besser erreicht werden konnten und zusätzlich Faces im Modell erzeugen oder beispielsweise wie beim Modell der Puppe keine Faces entfernt werden. Schlussendlich kommt es dann zum Problem, dass die Simulationen bei denen die Modelle der Photogrammetrie involviert sind schnell abstürzen und keine Ergebnisse liefern. So konnten nur die Simulationen Scanner-Scanner der Überprüfungssimulation und Scanner-Photogrammetrie der eigentlichen Simulation durchgeführt werden. Ein Lösungsansatz ist per Decimate Modifier die Faces auf ein Minimum zu verringern. Fatalerweise werden bei einer zu hohen Vereinfachung des Meshes Fragmente durch den Decimate Modifier erzeugt. Dennoch fällt vor allem auf, dass die Puppe immer auf ein Minimum verringert werden kann, da das äußere Erscheinungsbild dieser keinen Einfluss auf die Simulation hat. Außerdem können Modelle des Scanners auch auf ein Minimum verringert werden, da der Modifier keine Fragmente in ihrer Texturierung hervorruft. Dies kann mit dem anderen Aufbau der UV Map im Vergleich zur photogrammetrischen UV Map erklärt werden. Bedauerlicherweise löst der Decimate Modifier nicht den gewünschten Effekt aus. Da alle Einstellung bei jeder Simulation dieselben sind und bei manchen Simulationen Ergebnisse erzielen konnte für dieses Problem keine Lösung gefunden werden. Allerdings konnte mittels des Windows

Task Managers festgestellt werden, dass beim Start des Animation Players oder auch der Baken Funktion der benutzte Rechner an benutzbaren RAM ausläuft, was im Ausblick näher betrachtet werden kann. Nichtsdestoweniger können trotzdem alle benötigten Simulationen durchgeführt werden.

3.6 Evaluation der Ergebnisse

In diesem Abschnitt wird es um die Auswertung der Ergebnisse aus den Simulationen gehen. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf dem Vergleich der Überprüfungssimulationen miteinander und abschließend einer Evaluation der digitalen Anzieh-Simulation auf Grundlage der vorherigen Vergleiche.

3.6.1 Vergleich der Erscheinungsbilder

Bevor die Erkenntnisse über das Erscheinungsbild der Simulationen vor- und nachher zusammengetragen werden, wird auf Abbildung 39 verwiesen.



Abbildung 39: Abbildung der markierten Bereiche auf der Hose, Betrachtungspunkte des Erscheinungsbildes

Hier sind alle Bereiche markiert und benannt, die in den folgenden Betrachtungen von Bedeutung sind. Zu erkennen sind alle drei großen Gruppen an Falten. Dazu zählen rechter

Bereich unter dem Bündchen, der Schritt und Bereich unter dem Knie Richtung Schienbein. Zur besseren Veranschaulichung der Ergebnisse wird eine Collage erstellt. In der Collage 40 sind Screenshots von der Vorderseite aller vorverarbeiteten Modelle vor den Simulationen abgebildet. Da sich die Modelle auf die realen Zustände der Hose beziehen sind die damit entstandenen Möglichkeiten der verschiedenen zufälligen Faltenbildung zu erkennen. Auffallend sind die verschiedenen Falten-Gruppen, die sich bilden. Zu diesen Gruppen gehören der Schritt, der Bereich um die Knie mit Ausrichtung zu den Schienbeine und jeweils die rechte Seite unterhalb des Bündchens. Die angesprochenen Gruppen bestehen aus mehreren großen Falten, welche leichte bis stark ausgeprägte Beulen bilden. Alle Falten einer Gruppe weisen einen einheitlichen bogenförmigen Verlauf auf. Die Modelle B, C und D der Kollage verfügen über eine hohe Übereinstimmung der beschriebenen Muster. Als Beispiel für einen abweichendes Verhalten der Muster kann Abbildung D aus Collage 40 angeführt werden. Auf diesem Bild stechen besonders die am Knie gebildeten tiefen Furchen und breiten Ausbeulungen hervor. Mit Bezug auf diese Besonderheiten kann die Hose als Einzige dieser Ausprägung in diesem Experiment festgestellt werden. Des Weiteren ist an dieser Hose die Stauchung der rechten Hosenbeinöffnung von großer Bedeutung. Diese ist als Folge eines nicht vollendeten Anzieh-Prozesses der Hose an die Puppe. Überdies hinaus kann auch eine unterschiedlich starke Ausprägung der Falten am Bündchen bemerkt werden. So kann im stärksten Falle das Bündchen, wie in Abbildung D aussehen und im schwächsten Falle, wie in Abbildung E. Der Unterschied besteht vor allem in Abnahme der Furchen und Ausbeulungen, wobei die Folge ist, dass der Stoff fast fließend und glatt erscheint.

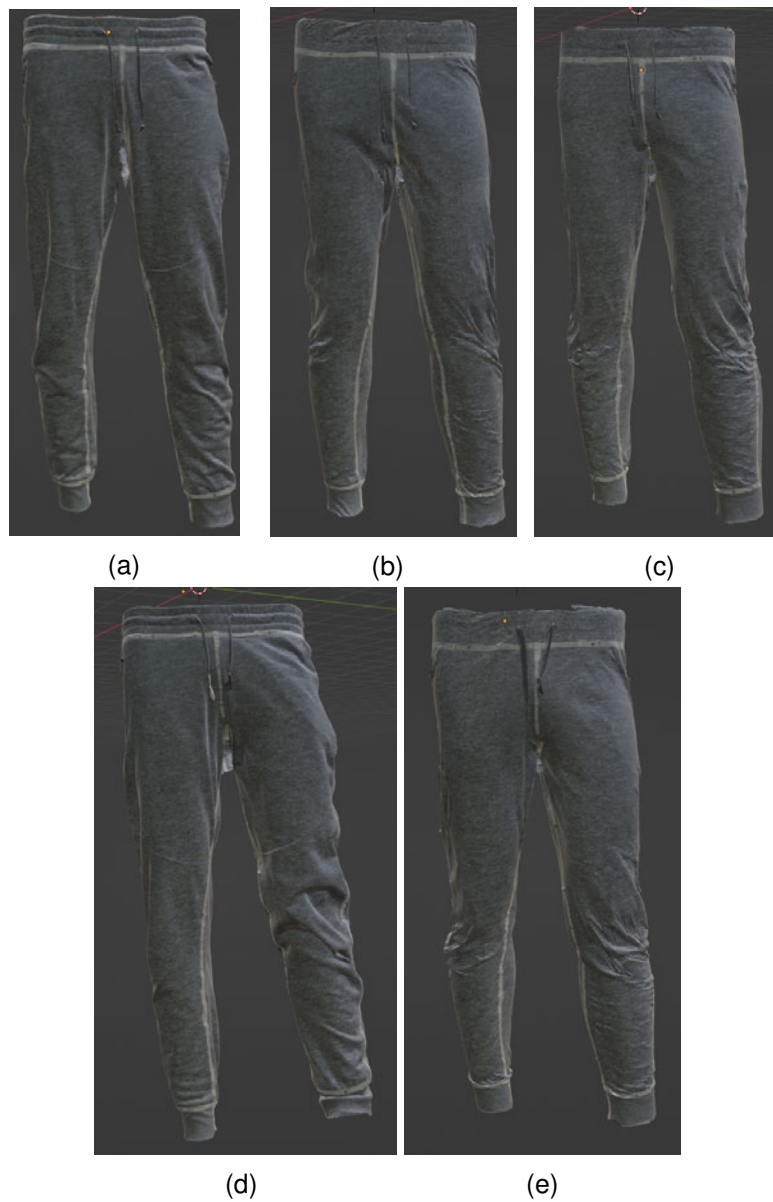


Abbildung 40: Collage der 3D Modelle vor der Überprüfungssimulation, der Reihe von links nach rechts 2,3,4,5,6

Zur weiteren Veranschaulichung wird außerdem eine Collage der Modelle nach der Simulation angefertigt. Diese sind in Abbildung 41 zu erkennen. Die in der Collage enthaltenen Abbildungen zeigen die Simulationen jeweils von der Vorderseite. Zusätzlich dazu zeigt die Collage 42 alle Modelle in der selben Reihenfolge von der Rückseite.



Abbildung 41: Collage der 3D Modelle nach der Überprüfungssimulation von vorne, von Links nach Rechts Modelle der Reihenfolge 2,3,4,5,6

Auch hier lassen sich die verschiedenen Modelle der Hose erkennen allerdings nach der Simulation. Wie bereits erwähnt dient die Überprüfungssimulation der Kontrolle, dass die Modelle der bereits an die Puppe angezogenen Hose sich durch die Simulation nicht verändern. Somit soll im gleichen Zuge bewiesen werden, dass die digitale Anzieh-Simulation dieselben Ergebnisse liefert wie das real weltliche Anziehen der Hose. Wie in der Collage zu erkennen ist sehen alle Ergebnisse der Simulationen auf den ersten Blick sehr ähnlich aus. Alle weisen mehrere Gruppen an Falten auf. Diese Gruppen stimmen ebenfalls mit denen der Modelle vor der Simulation. Aus den Modellen nach der Simulation fällt das Modell D mit signifikanten Unterschieden auf. Dabei lassen sich wesentlich stärkere Ausprägungen der Falten erkennen. Ebenfalls war dies bei den Modellen vor der Simulation der Fall.

Im Vergleich zu den Ergebnissen der Überprüfungssimulation lässt sich sagen, dass sich definitiv Unterschiede zum Zustand vor den Simulationen aufzeigen lassen. Zwar sind die äußeren Erscheinungen der Falten und die Stärke der Ausprägungen vergleichbar, allerdings ist die allgemeine Verhaltensweise des Stoffes abweichend. Auf Grundlage dieser Erkenntnis kann dokumentiert werden, dass der Stoff nach der Simulation im Allgemeinen

eher enger und nicht so frei wirkt. Dies lässt sich beispielhaft mit einem elastischen Stoff vergleichen der hauteng anliegen soll, statt einer Jogginghose, welche lockerer sitzen soll.

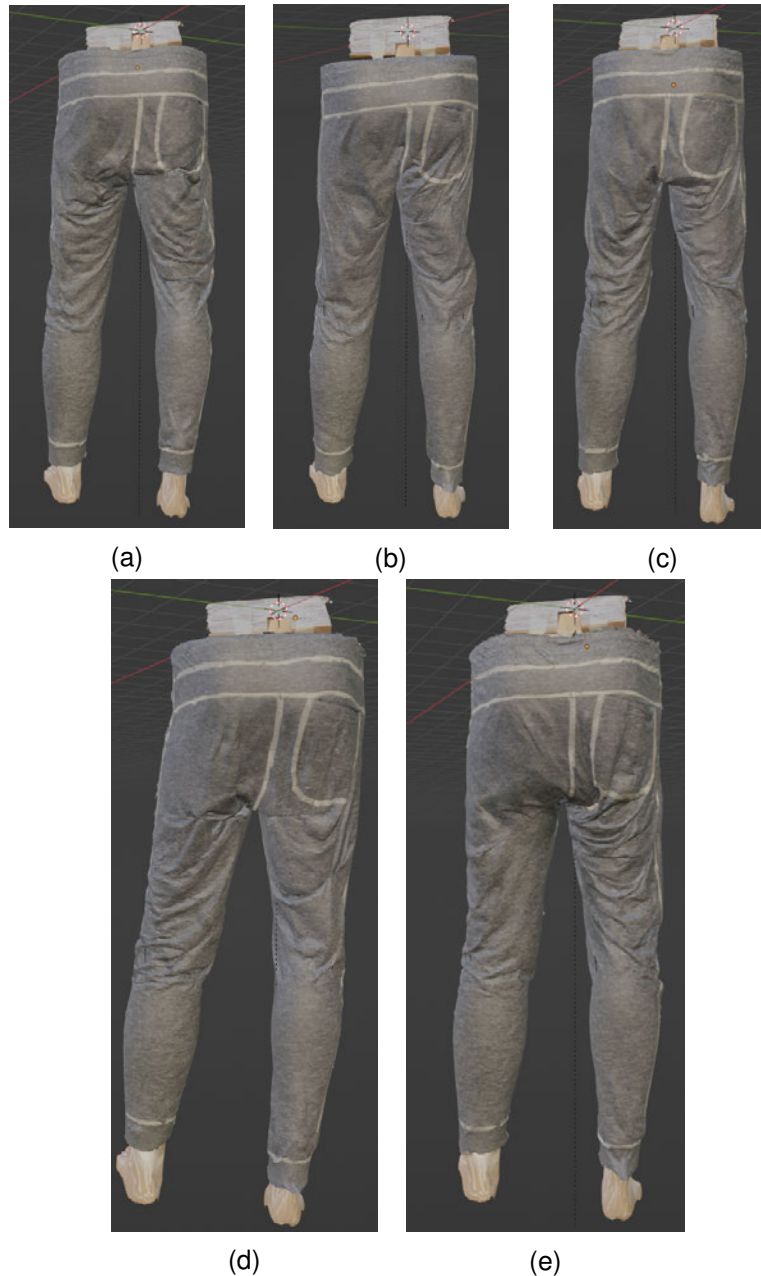


Abbildung 42: Collage der 3D Modelle nach der Überprüfungs-simulation von hinten, von Links nach Rechts Modelle der Reihenfolge 2,3,4,5,6

Darüber hinaus können diese Erkenntnisse auch auf den Rückseiten der Modelle beobachtet werden. Obwohl alle Modelle abermals sehr ähnlich zueinander sind, wirkt der allgemeine Stoff eher elastisch und scheint im Verlaufe der Simulationen sehr stark im Schritt herunterzuhängen. Eine bisher noch nicht in dieser Form aufgetretene Eigenheit stellt sich in Abbildung B dar. Dort formt das Modell unterhalb der Tasche an der Außenkante eine Delle, indem der Stoff vermeintlich in Richtung Schritt gedrückt wird. Dieses Phänomen lässt

sich sonst nicht beobachten. Dahingegen zeigt sich in der Kniebeuge aller Modelle klar das anschmiegende Verhalten der Simulation und das damit verbundene anlegen der Hose an die Form der Puppe.

Nachdem nun äußerlich alle Modelle der Überprüfungssimulation verglichen wurden, wird nun noch die eigentliche Simulation vor- und nachher evaluiert, sowie mit den anderen Simulationen verglichen.



Abbildung 43: Abbildung des Modells vor und nach der eigentlichen Simulation

Wie in Abbildung 43 zu erkennen ist, bildet das Modell 43a den Zustand vor der Simulation ab, sowie die Modelle 43b, 43c und 43d den Zustand danach. Alle Zustände danach basieren auf der selben Simulation, jedoch wurde für das Modell 43c die besondere Vertex

Group, welche in Kapitel 3.4.4.3 beschrieben wurde, benutzt. Dadurch lässt sich erkennen, dass zusätzlich zum Großteil der Hose nun auch die Bündchen der Hosenbeine und das Bündchen mit in der Simulation behandelt wurden, wodurch sie sich auch um die Hose gelegt haben. Des Weiteren kann angemerkt werden, dass der Faltenwurf an beiden Modellen nach der Simulation identisch ist und so die definierte Vertex Group keinen Einfluss darauf nimmt. Insgesamt sieht die erstellte angezogene Hose den Ergebnissen der Überprüfungssimulation sehr ähnlich. Auch die vorher beschriebenen Gruppen der Falten sind auf dieser Hose auszumachen. Darüber hinaus lassen sich auch hier die unterschiedlichen Ausprägungen des Bündchens, wie sie auch bei den Überprüfungssimulationen erkannt werden konnten bemerken. Der einzige große Unterschied ist, dass sich eine Beule auf der linken Seite unterhalb des Bündchens bildet. Da wie auf dem ersten Modell zu erkennen, die Puppe durch das Hineinstellen in die Hose in eine ungewöhnliche Form gebracht wurde, hat die Hose diese durch die Anzieh-Simulation verstärkt. Allerdings ist positiv anzumerken, dass die Hose sich auch an manuelle Manipulationen, wie die Position der Puppe anpasst.

3.6.2 Überlagerungen im 3D Raum

Für eine weitere Evaluation der Ergebnisse wurde sich der Technik der Überlagerung bedient. Das bedeutet in diesem Fall, dass nacheinander alle Modelle in einen 3D Raum gelegt und an ausgewählten Stellen markiert werden. Damit werden verschiedenen Ausprägungen der Simulationen räumlich in eine Verbindung gebracht, wodurch eine bildliche Einschätzung getroffen wird, in welchem Rahmen sich die Simulation verhält. Für diese Evaluation werden sich den Kreuzen auf der Textur der Modelle bedient, welche zuvor wie bei 3.3 beschrieben, auf das Malerkrep gemalt wurden. Um die Vorgehensweise näher zu erklären wird auf Abbildung 44 verwiesen.



Abbildung 44: Abbildung des Vorgehens zur Überlagerung der Modelle nach abgeschlossener Simulation

Auf dieser Abbildung sind zwei aufeinander-gelegte 3D Modelle und mehrere bunte Punkte zu erkennen. Die bunten Punkte repräsentieren dabei ausgewählte Punkte, die an jedem 3D Modelle markiert werden. Jedem 3D Modelle wird eine Farbe zugesprochen und alle ausgewählten Punkte an diesem Modell markiert. Dafür werden über das Add Menü UV Spheren ausgewählt und mit ihrem Mittelpunkt auf die Punkte gesetzt. Nachdem für ein Modell alle Punkte markiert sind, wird das nächste Modell in dem Raum importiert und über das bereits evaluierte Modell gelegt. Damit soll sichergestellt werden, dass die Modelle dieselbe Position im Raum besitzen und somit vergleichbar sind. Wie auf der Abbildung auch zu erkennen ist lassen sich die dargestellten Modelle nicht übereinanderlegen. Dieses Problem basiert auf dem in Kapitel 3.4.4.3 beschriebenen Hineinstellen der Puppe in die Hose und anpassen der Position der Puppe an die Form der Hose. Obwohl alle Hosen in derselben Form aufgenommen wurden, musste trotzdem bei dem eben beschriebenen Vorgang die Puppe je Modell verschieden bewegt werden. Die Überlagerung sollte eigentlich auf die einzelnen Verschiebungen der Hose an der Puppe im Vergleich zwischen allen Modellen evaluieren, allerdings muss dies aufgrund der neuen Erkenntnis verworfen werden. Dennoch kann die Evaluation unter einer der Prämisse fortgesetzt werden, herauszufinden in welchem Rahmen sich die gesamte Simulation bewegt. Damit soll es sich nicht mehr um einzelne Punkte der Hose handeln, sondern nunmehr um die Form der Puppe, wie sie sich auf das Endergebnis der Simulation bezieht. Dabei sollen die definierten Punkte einen Raum markieren in dem sich die gesamte Simulation bezogen auf alle Modelle bewegt. Aus diesem Grund werden alle Modelle nacheinander markiert und beim Wechsel von Modellen nach bestem Ermessen überlagert.



Abbildung 45: Abbildung der Ergebnisse im Raum nach den Überlagerungen und Markierungen der 3D Modelle

Im Folgenden lassen sich auf Abbildung 45 die Ergebnisse nach den Überlagerungen und Markierungen der 3D Modelle betrachten. Insgesamt sind zehn Punktwolken im Blender Raum zu erkennen. Die markierten Punkte sind

- Bündchen vorne links
- Bündchen vorne rechts
- Schritt vorne
- Bündchen hinten links
- Bündchen hinten rechts
- Schritt hinten
- Knie links
- Knie rechts
- Hosenbein vorne rechts
- Hosenbein vorne links

Wie zu erkennen ist haben sich sehr gleichmäßige Punktwolken gebildet. Innerhalb dieser Wolken liegen alle Punkte sehr nah beieinander was stark für die Simulationen spricht. Alle bunten Punkte stehen hierbei für die Modelle der Überprüfungssimulationen. Die weißen Punkte sind die Ergebnisse des Modells der eigentlichen Simulation. Mittels der schwarzen Punkte wurde der Mittelpunkt jeder Punktwolke bestimmt. Interessant ist auch, dass je nach Markierung die eigentliche Simulation ähnliche oder weniger ähnliche Ergebnisse liefert. Dazu ist allerdings auch anzumerken, dass die Puppe der eigentlichen Simulation am meisten in der Vorbereitung vor der Simulation bewegt wurde, da die benutzte Hose frei aufgenommen wurde. Des Weiteren ist anzumerken, dass bei jeder Simulation die Bewegung der Puppe vertikal zunimmt. So unterliegt das Becken keiner Bewegung, wohingegen die Unterschenkel und Knöchel am meisten bewegt wurden. Dadurch lässt sich auch das in Abbildung 45 erkennbare Phänomen erklären, dass je weiter man an den Punktwolken nach unten geht, die Punktwolken weiter gefächert sind.

3.6.3 Vermessungen

Bevor auf die eigentlichen Ergebnisse der Vermessungen eingegangen wird, wird für ein besseres Verständnis über die Hose und Begrifflichkeiten in Abbildung 46 und Abbildung 47 die Hose markiert und nachfolgend erläutert. Erkennbar sind die markierten Messstrecken. Um sie zu den jeweiligen Maßen zuordnen zu können wurden sie nach demselben Namen benannt. Die Messstrecken sind „oberes Bündchen vorne“, „oberes Bündchen hinten“, „unteres Bündchen hinten“, „Schritt vorne“ sowie „Schritt hinten“, „Schritt-Knie“, „Knie-Knöchel“ und „Knöchel“. Alle sich überschneidenden Maße sind mit einem schwarzen X markiert. Alle Maße fangen zusätzlich an schwarzen X an, die zuvor auf das Malerkrep gemalt wurden. Das obere Bündchen besteht aus zwei gemessenen Strecken. Eine linke und eine rechte Strecke, die zusammen die Länge des oberen Bündchens vorne ergeben. Nach dem gleichen Vorgehen wurde auch das obere Bündchen hinten vermessen, was zusammen mit oberem Bündchen vorne die gesamte Bündchenlänge ergibt. Die Innenbeinlänge ergibt sich aus Schritt-Knie und Knie-Knöchel. Auch dieses Maß wurde auf zwei Strecken

aufgeteilt um nachfolgend zu ermitteln ob sich die Platzierung des auf der Messstrecke befindlichen X verschoben hat.



Abbildung 46: Abbildung der markierten Messstrecken mit Benennungen auf der Vorderseite der Hose, für die Vermessungen



Abbildung 47: Abbildung der markierten Messstrecken mit Benennungen auf der Hinterseite der Hose, für die Vermessungen

Um die bisherigen Erkenntnisse aus Kapitel 3.6.1 und 3.6.2 zu stützen, wurden außerdem

an allen Modellen Vermessungen sowohl vor und nach den Simulationen durchgeführt. Mittels der Vermessungen nach der Simulation sollen die Ähnlichkeiten zwischen den Modellen nochmals näher untersucht werden und somit einen genaueren Einblick als die Überlagerungen liefern. Zusätzlich mit den Vermessungen vor den Simulationen soll nochmal die Überprüfungssimulation evaluiert werden. Statt nur äußerlich über die Ähnlichkeit zu urteilen sollen die Maße die These unterstützen, dass sich die Modelle durch die Simulation nicht verändert haben. Dafür sind nachfolgend zwei Abbildungen angeführt.

Tabelle über Vermessungen der 3D Modelle vor ihren Simulationen (in cm)				
			Bündchenlänge	komplett
Stoffsimulation	Überprüfungssimulation	Länge Schritt vorne	Länge Schritt hinten	Länge oberes Bündchen vorne Länge oberes Bündchen hinten
Scanner-Scanner2		5,81786	13,3434	20,8897+20,6523 22,9124+19,8595
Scanner-Scanner3		6,04358	12,9301	21,0911+20,7188 22,3679+20,3253
Scanner-Scanner4		5,97129	12,9794	21,1+20,8385 22,2039+20,1288
Scanner-Scanner5		5,88876	13,022	21,0808+20,7697 22,4472+20,2524
Scanner-Scanner6		6,00593	13,0894	21,1294+20,7788 22,3494+20,0653
Stoffsimulation_eigentlicheSimulation				
Scanner-Scanner		5,969	12,9723	20,735+20,2096 21,9096+19,1093

(a)

	Länge des	Innenbeines (L)	Länge des	Innenbeines (R)		
Länge unteres Bündchen hinten	Schritt-Knie	Knie-Knöchel	Schritt-Knie	Knie-Knöchel	Länge Knöchel (L)	Länge Knöchel (R)
20,4631+22,6254	38,7462	30,5896	35,6166	34,097	6,09378	7,09313
20,7196+22,7302	35,4683	31,2728	31,991	33,959	6,15781	7,13686
20,6673+22,8841	41,1063	31,1187	38,2764	34,3057	6,50377	7,42781
20,5977+22,895	36,1838	31,1753	31,2918	33,4518	6,15771	7,70895
20,6351+22,8003	35,1354	30,5155	31,9491	33,6956	6,46343	7,36876
20,0937+21,4379	38,6987	30,8622	35,68	34,4518		7,10103

(b)

Abbildung 48: Tabelle der Maße zwischen ausgewählten Punkten in allen Modellen vor Durchführung der Simulation

Auf der oberen Tabelle 48 lassen sich alle Maße der Überprüfungssimulationen sowie der eigentlichen Simulation erkennen. Die Überprüfungssimulationen wurden nach dem Muster „Scanner-Scanner(Nummer)“ benannt. Bezogen auf das Experiment bedeutet dies, dass Scanner jeweils die Aufnahmemethode des benutzten Modells darstellt und die erste Position das Modell für die Puppe, sowie die zweite Position das Modell für die Hose. Da für die Puppe nur ein Modell aus den Scanner Aufnahmen besteht ist hier mit „Scanner“ jeweils dasselbe Modell gemeint. Die Messstrecken werden an Abbildung 46 und Abbildung 47 erläutert. Dort sind die Strecken an einem Modell markiert und benannt. Zu erwähnen ist dennoch, dass die Bündchen jeweils auf zwei Messstrecken aufgeteilt wurden und von außen zur Mitte hin vermessen wurden. Dadurch bestehen jeweils zwei Maße für eine Messstrecke, welche bei der Addition das gesamte Bündchenmaß ergeben, aber als alleinige Maße besser zur Evaluation geeignet sind. So können bei Unterschieden in den Maßen genauer der ausschlaggebende Punkt bestimmt werden. Zusätzlich erwähnenswert ist, dass die Hose auf der Rückseite zwei Bündchen besitzt. Das obere Bündchen geht einher mit dem Bündchen der Vorderseite wodurch ein insgesamt Umfang der Hose bestimmt werden kann. Zusätzlich wurde das untere Bündchen vermessen, da an dieser Stelle ausschlaggebende Veränderungen vor allem im Erscheinungsbild der Hosen-Modelle aufgetreten sind. Auch die hinteren Bündchen wurden mittels zwei getrennter Messstrecken vermessen.

Zu den Maßen ist zu sagen, dass sie sich alle in einem engen Rahmen umeinander bewegen. Vergleichbar mit den bereits vorher getroffenen Erkenntnissen. Auch übertragbar ist die Erkenntnis, dass sich die Maße vertikal von oben nach unten an der Hose weiter unterscheiden. Betrachtet man die erste Hälfte der Tabelle über die Maße der Schritt- und Bündchenlängen ist ein maximaler Unterschied von einem halben Zentimeter zu vermerken. Dazu zählen sowohl die Maße der Überprüfungssimulationen als auch die der eigentlichen Simulation. Dieser Unterschied tritt regulär zwischen den Maßen der Modelle auf. In der zweiten Hälfte der Tabelle, welche sich speziell auf die Maße der Beine und Knöchel bezieht, ist ein maximaler Unterschied von sechs Zentimetern zu bemerken. Dieser besteht im Schritt-Knie Maß zwischen den Modellen vier und sechs. Modell sechs weist in diesem Maß die kleinste Länge mit ungefähr 35,13 Zentimetern auf, wohingegen Modell vier ungefähr 41,1 Zentimeter aufweist. Im Vergleich mit dem Rest der Tabelle scheint dieser Unterschied allerdings ein Ausreißer zu sein, wobei der durchschnittliche Unterschied eher bei drei Zentimetern liegt. Allerdings ist dieser Unterschied auch vor allem nur bei den Maßen die sich direkt auf die Länge des Beines beziehen statt auf die Länge zu einem gewählten Punkt auf der Breite der Hose wie es beispielsweise bei den Knöcheln der Fall ist. Dort verhalten sich die Maße wieder sehr ähnlich.

Allgemein lässt sich allerdings sagen, dass sich alle Modelle sehr ähneln. Dazu zählt auch das Modell, welches später für die eigentliche Simulation benutzt wurde. Dies ist jedoch eher verwunderlicher, da es wesentlich freier aufgenommen wurde als alle anderen. Dies zeigt jedoch auch, dass die gewählte Methode zur Aufnahme erfolgreich war.

Tabelle über Vermessungen der 3D Modelle in ihren Simulationen (in cm)

Stoffsimulation_Überprüfungssimulation			Bündchenlänge	komplett
	Länge Schritt vorne	Länge Schritt hinten	Länge oberes Bündchen vorne	Länge oberes Bündchen hinten
Scanner-Scanner2	6,05123	13,3273	21,274+21,193	23,2154+20,2356
Scanner-Scanner3	6,1415	13,2058	21,9524+20,8791	22,661+20,3038
Scanner-Scanner4	6,16696	13,3318	21,6342+21,1721	22,5822+20,3165
Scanner-Scanner5	6,04257	13,5537	22,3677+20,9659	22,793+20,5351
Scanner-Scanner6	6,03364	13,0492	22,1261+20,8225	22,7275+20,5629
Stoffsimulation_eigentlicheSimulation				
Scanner-Scanner	5,9637	13,5587	21,5873+20,8154	23,2211+19,9052

(a)

	Länge des	Innenbeines (L)	Länge des	Innenbeines (R)		
Länge unteres Bündchen hinten	Schritt-Knie	Knie-Knöchel	Schritt-Knie	Knie-Knöchel	Länge Knöchel (L)	Länge Knöchel (R)
20,9596+23,248	40,1899	30,0881	37,1893	33,6893	6,45508	7,60518
20,7422+23,0926	35,8438	31,4633	32,6869	33,8511	6,27479	6,96071
20,8183+22,9204	40,2339	30,8702	37,3135	33,782	6,20378	7,55921
20,7521+23,0209	37,0853	31,2247	32,7428	32,7132	6,35838	8,11796
20,7948+23,2539	35,5835	30,078	32,2676	33,3081	6,76309	7,62424
21,8016+22,4815	39,7578	30,7618	37,1871	33,8698	%	6,96818

(b)

Abbildung 49: Tabelle der Maße zwischen ausgewählten Punkten in allen Modellen nach Durchführung der Simulation

Auch die der Tabelle 49 entnommenen Maße wurden nach demselben Schema wie bereits oben vermessen.

Außerdem wurden alle Modelle, welche für die Überlagerungssimulation verwendet wurden, zusätzlich auch nach der Simulation vermessen um eine genauere Aussage über die

Veränderungen durch die Simulation zu treffen. Die eigentliche Simulation wurde ebenfalls vermessen um eine Aussage über den Erfolg und die Ähnlichkeit zu den anderen Simulationen zu treffen. Wieder lässt sich erkennen, dass selbst nach der Simulation alle Maße der Modelle sehr nahe beieinander liegen. Während in der ersten Tabelle alle Maße vergleichbar mit denen vor der Simulation sind, haben sich die Maße an den Beinen etwas vergrößert. Ein allgemeiner Unterschied von einem Zentimeter lässt sich generell über die Maße feststellen. Zusätzlich hat sich auch der Ausreißer über die Simulation fortgesetzt. Da allerdings wie bereits erwähnt die Werte etwas gestiegen sind, sind auch hier die Maße höher als zuvor.

4 Auswertung

Die bereits in Kapitel 3.6 erklärten Ergebnisse werden nun nochmals aufgegriffen und hinsichtlich der Forschungsfrage gewertet. Zum besseren Vergleich wird nochmals die Forschungsfrage aufgegriffen.

Kann man mittels Photogrammetrie sowie etablierter Mittel und Methoden aus der Film- und Spieleindustrie annähernd zu den realen Objekten identische digitale Zwillinge in Form einer Stoffsimulation eines Digitalisates erzeugen. Speziell handelt es sich bei den Digitalisaten um eine Hose und eine Schaufensterpuppe. Können diese nachfolgend die tatsächliche Relation zwischen den originalen Gegenständen widerspiegeln? Zu den genannten Relationen werden vor allem die individuellen Faltenlegungen nach Anziehen der Hose an einen Körper. Der Körper wird in diesem Experiment zur Vereinfachung mit einer Puppe ersetzt. Welche Aussagen können zur analogen Fallarbeit in Bezug auf enthaltenen Wahrheitsgehalt und Nutzen getroffen werden?

4.1 Auswertung zum Vergleich der Techniken der Modellerstellung

In diesem Absatz wird sich speziell dem Vergleich zwischen den verschiedenen Arten der Erstellung der Aufnahmen gewidmet. Schon bei dem Ablauf während der Erstellung lassen sich Unterschiede erkennen. So sind die Aufnahmen mittels Photogrammetrie wesentlich aufwendiger. Nicht nur wird ein komplettes Aufnahmesystem mit Kameras und Belichtung benötigt, sondern auch ein PC zur Steuerung. Für die Aufnahmen mittels Scanner wird lediglich der Scanner benötigt. Dies macht die Aufnahme mittels Scanner wesentlich effizienter, da es keine Zeit zum Aufbau benötigt sowie portabel ist und somit alles überall aufnehmen kann. Auch die Zeiteinsparung ist mittels Scanner wesentlich höher. Trotz dessen, dass das man keine Einweisung in die Benutzung des Scanners braucht und alles sehr selbsterklärend gestaltet ist kommen bei jeder Aufnahme gute Scan Ergebnisse heraus. Diese kann man im Vergleich zur Photogrammetrie auch bereits vorab in einer Rohfassung betrachten. Außerdem lassen sich schon während des Scans die Aufnahmen mittels des interaktiven Displays evaluieren und gegebenenfalls nachbessern. Bei der Photogrammetrie muss entweder eine gute Evaluierung im Vorhinein mittels Feature Extraktion durchgeführt werden oder auf den Durchlauf der Pipeline nach der Durchführung der Aufnahmen gewartet werden. Allerdings ist anzumerken, dass diese Pipeline wesentlich selbsterklärender als die des Scanners ist. Nicht nur, dass sie direkt beim Start des Programms eingerichtet und direkt benutzt werden kann, sondern auch nach Start automatisch alle Funktionen durchläuft.

Dahingegen muss man sich mit einer Dokumentation erst in das Artec Studio Programm einlesen und selbst dann alle Funktionen zusammensuchen und einzeln ausführen. Zwar gibt es einen Modus „Autopilot“ allerdings löst dieser auch nicht alle Probleme und kann gegebenenfalls nicht das aller Beste aus den Scans rausholen. Negativ auf beiden Seiten anzumerken ist allerdings, dass beide Pipelines eine lange Zeit zum Durchlaufen brauchen. Zwar braucht die Photogrammetrie-Pipeline eigentlich wesentlich länger allerdings gleicht sich das durch die verbrauchte Zeit für die Einfindung und die manuelle Durchführung der Funktionen wieder aus.

Als Ergebnis bekommt man bei beiden Pipelines die Texture Maps, obj. Dateien und mtl Dateien, wie diese auch in Abschnitt 3.4.2 aufgezeigt wurden. Die eigentlichen Modelle in den obj Dateien sind bis auf ein paar Fragmente äußerlich dieselben. Allerdings ist auffallend, dass die Scans aus wesentlich weniger Faces als die der Photogrammetrie bestehen. Dies führt wie beschrieben zu Problemen bei der Simulation durch starke Beanspruchung der Rechentechnik. Obwohl das Photogrammetrie-Modell wesentlich feiner unterteilt ist, als das Scan Modell, was impliziert, dass es eine höhere Qualität hat, ist die Qualität der Texture Map des Scan Modells wesentlich hochauflösender. Zum Vergleich ist sind Abbildung 50a und 50b beide Texture Maps aufgeführt.

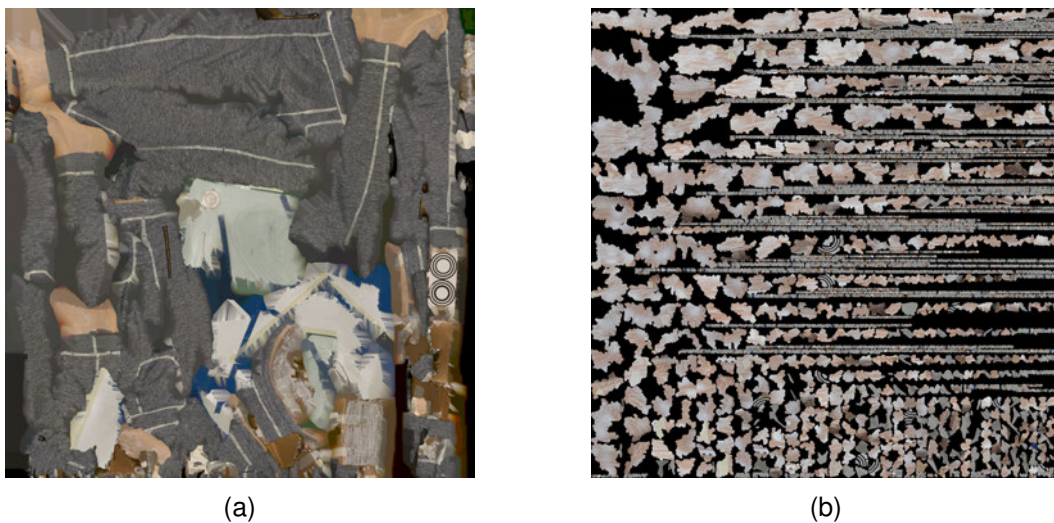


Abbildung 50: Abbildung über die verschiedenen erzeugten Texture Maps, die obere Abbildung zeigt die des Scanners und die untere die der Photogrammetrie

Auf den Bildern ist dabei auch zu erkennen, dass die Texture Maps unterschiedlich aufgebaut sind. Durch die unterschiedliche Einteilung der Modelle in Abschnitte kann beispielsweise bei dem Scanner Modelle Fragmente durch die Verringerung der Faces verhindert werden, wodurch eine gute Qualität der Simulation bestehen bleibt.

Durch alle erwähnten Unterschiede kommt es dazu, dass nur die Modelle des Scanners für die Simulationen benutzt werden können. Auch wenn die Photogrammetrie gute Modelle erzeugt hat sind diese rechentechnisch nicht verwendbar.

Bezogen auf die Forschungsfrage lässt sich sagen, es lassen sich zwar mit beiden Methoden nahezu identische Digitalisate des realen Objektes erzeugen allerdings nur für die Modelle des Scanners auch in Form der Stoffsimulation.

4.2 Auswertung der Simulation

Nun geht es darum zu evaluieren ob die Relationen der realen Objekte auch in der digitalen Welt übertragbar sind. Wie bereits bei dem Vergleich des Erscheinungsbildes sind die Ergebnisse sehr ähnlich und vergleichbar. Dies lässt sich auch eingehend auf die Überlagerungen und Vermessungen bestätigen. Allerdings ist anzumerken, dass der Ansatz die Puppe für eine einfache und nachzubildende Position zu nehmen nicht funktioniert hat. Somit ließ sich vor allem durch die Überlagerungen erschließen, dass diese Position durch das digitale Einpassen der Puppe in die Hose die Position je nach Simulation verändert hat. Dies ist vor allem laut Messungen bei den Beinen zu erkennen. Dahingegen hat der Erhalt der Position am Becken nahezu perfekt funktioniert. Erwähnenswert ist, dass sich die Maße der eigentlichen Simulation auch nicht über die Simulation verändert haben. Dies würde prinzipiell gegen die Simulation sprechen, da bei diesem Aufbau die Veränderung gewünscht war. Da die Maße durch die Anzieh-Simulation unverändert geblieben sind, müsst von einem nicht erfolgreichem Anzieh-Versuch ausgegangen werden. Betrachtet man allerdings die Erscheinungsbilder der Hose und vergleicht diese mit denen der bereits angezogenen Hosen, kann diese Behauptung definitiv ausgehoben werden. Ein Erklärungsversuch für die unveränderten Maße könnte die Auswahl der Messstrecken und Messpunkte darstellen. So wurden nur Strecken und Punkte gewählt die am Rand der Simulation und des Modells liegen, wodurch diese gar nicht durch die Simulation betroffen sind und auch nicht sollten. Dies ist also positiv anzumerken. Allerdings wäre ein besserer Ansatz gewesen Punkte mitten auf dem Modell zu wählen, damit beispielsweise Faltenlegung und damit eine Verschiebung der Hose einen Einfluss auf die Maße hätten nehmen können.

Mit Bezug auf die Forschungsfrage kann somit bestätigt werden, dass die Simulation zwar die realen Relationen abbilden kann, was ein großer Fortschritt für die Forensik und die Forschung in diese Richtung ist, allerdings kann die Position der Puppe nicht beibehalten werden.

4.3 Diskussion

Als erstes wird die Arbeit in Bezug auf die benutzten Quellen evaluiert. Vor allem ist mit Bezug auf das Paper „Realities and Myths “[23] anzumerken, dass damit für die Fallarbeit bestätigt werden kann, dass die Simulation eine gute Weise darstellt ein Verständnis für den Zusammenhang für Asservate und die darauf zu findenden Spuren bringen kann. Außerdem lässt sich mit den Ergebnissen auch bestätigen, dass sich genaue Modelle zu den realen Darstellungen erzeugen lassen mit denen man sich in der Simulation frei bewegen kann. Damit ermöglicht es nicht nur die Asservate aus allen möglichen Blickwinkeln zu betrachten und neue Perspektiven zu eröffnen, sondern auch die Bewegung und Veränderung zu ermöglichen ohne die real-weltliche Spur zu verlieren. So wäre es auch denkbar, dass viel mehr Leute in die Fallarbeit involviert sein können ohne mit dem eigentlichen Asservat in Verbindung zu kommen. Was stark durch die Simulationen deutlich wurde ist, dass sie Was-wäre-wenn Szenarien zulässt wodurch auch neue Ideen und Denkweisen zu den Asservaten geschaffen werden.

Anhand der verschiedenen Ergebnisse und Collagen lässt sich erkennen, dass es eine gute Möglichkeit ist Ergebnisse zu präsentieren.

Allerdings ist mit Bezug auf [45] anzumerken, dass mittels der gelieferten Ergebnisse es eine Schwierigkeit darstellt die Hürden und Probleme des Experimentes darzustellen. Damit wird vor allem auf die Erkenntnisse aus Kapitel 4.3 verwiesen. Darauf geht Damian Schofield ein indem er beschreibt, dass Betrachter fälschlicherweise durch die guten Ergebnisse von einer geringen Fehlerrate ausgehen. Außerdem es auch durch die Flexibilität einer computergenerierten Anzeige bedeutet [...], dass sie von Natur aus das Potenzial für Manipulationen enthält. Dies wurde in dieser Arbeit auch sehr deutlich.

Außerdem soll es in diesem Kapitel um weitere Erkenntnisse handeln. Denn es konnte erkannt werden, dass bei dieser Arbeit Arten von Manipulation in das Experiment mit eingeflossen sind, welche gegebenenfalls die Ergebnisse beeinflussen können. Zu unterscheiden sind dabei manuell erzeugt und durch Programme, als Begleiterscheinung, erzeugt, sowie gewollte und ungewollte Manipulationen. Zu denen der durch ein Programm erzeugten Manipulationen gehören beispielsweise erzeugter Glanz bei den Modellen des Scanners oder erzeugte Fragmente durch den Decimate Modifier. Zu den manuell erzeugten Manipulationen gehören, wie bereits erwähnt die verschiedenen Aufnahmemethoden der Einzelaufnahme der Hose je nach gewähltem Mechanismus (Föhn, Draht, etc.). Beispielsweise in die Gruppe der ungewollten manuellen Manipulationen kann der Prozess des Anziehens der Hose an die Puppe eingeordnet werden. Dabei sind mehrere Manipulationen aufgetreten. Unter anderem erwies sich der Ständer als Nachteil, da dieser keinen zufälligen Fall der Hose an einem Hosenbein ermöglicht. Denn nach dem ersten Anziehen der Hose an die Puppe musst, um die Hose an ihrem Ständer zu befestigen, die Hose hochgezogen werden. Nach Befestigung der Puppe am Ständer musst die Hose im nachfolgenden wieder runtergezogen werden, damit sie realistisch am Körper sitzt und möglichst zufällig aussieht. Somit bestehen alleine in diesem Prozess zwei Manipulationsvorgänge. Außerdem wäre eine Markierung am Becken der Puppe von Vorteil gewesen, um einen Anhaltspunkt über die Position des Bündchens an der Puppe zu erhalten. Somit konnte nie derselbe Sitz der Hose an der Puppe rekonstruiert werden. Fraglich ist ob eine Hose in der Realität immer an derselben Stelle sitzt, wobei dies in einer nachfolgenden Arbeit evaluiert werden sollte. Bei dieser Evaluation wäre vor allem interessant in wieweit ein gewisses Ausgangsgefühl je nach Mensch varriert. Mit dem Ausgangsgefühl soll sich vor allem auf das Gefühl bezogen werden, welches beim realistischen Anziehen einer Hose vorherrscht und beschreibt ob sich ein Mensch im Kleidungsstück wohlfühlt oder gegebenenfalls der Sitz varriert werden muss. Dies konnte beispielsweise bei einer Kleiderpuppe nicht evaluiert werden und somit nur nach Augenmaß des Erscheinungsbildes vermutet werden.

Darüber hinaus kann zu zur Durchführung der Aufnahmen für die 3D Modelle angemerkt werden, dass bei jedem durchgeführten Anziehen ein inneres Gefühl aufkam wonach die Hose faltenfrei an dem Körper sitzen sollte. Dies ist individuell und kann das eben erwähnte Augenmaß und damit die Entscheidung wann eine Hose richtig an einem Körper sitzt stark verändern. Ein menschlicher Körper könnte so nicht nur das Gefühl über die Bequemlichkeit nach dem Anziehen äußern, sondern auch erklären wie eine Hose für Ihn individuell perfekt am Körper sitzen muss. Diese Erkenntnisse sollten bei nächsten Experimenten betrachtet werden. Vor allem sollte eine Art Stichprobe mit verschiedenen Personen und Hosenarten beziehungsweise unterschiedlichen Kleidungsstücke durchgeführt werden. Denn aufgrund eines Materials oder eines bestimmten Schnittes könnten diese individuellen Empfindungen

ebenfalls schwanken. Die oben genannten Betrachtungen sind vor allem von großer Bedeutung, wenn man sich beispielsweise auf verummte Personen und damit die vermeintliche Zugehörigkeit von Klamotten zu Körper beschäftigt.

Ein großer weiterer Punkt bei den Manipulationen ist auch, dass zwar eine Simulation ohne Bewegung des eigentlichen Asservates möglich ist, allerdings das Prozess des An- und Ausziehens in der Realität stetige Bewegung am Asservat hervorruft. Dadurch können gegebenenfalls Spuren verwischt werden oder ganz verloren gehen. Deshalb ist vor dieser Art des Experimentes abzuschätzen ob sich diese Art der Simulation lohnt.

Neben den Manipulationen sind außerdem Erkenntnisse bei der Vorverarbeitung zu erwähnen. Bei der Löschung der nicht benötigten Vertices ist aufgefallen, dass die Betrachtung sehr individuell ist. Da allerdings eben diese Kanten später ausschlaggebend für die Vertex Gruppen sind können unter Umständen bereits leichte Veränderungen auf die Simulationen auftreten. Obwohl diese Veränderungen nur klein sind sollten dieses dennoch von Wichtigkeit sein, da es das Ziel sein sollte möglichst alle Veränderungen auszuschließen.

5 Fazit

In dieser Arbeit wurden verschiedene 3D Modelle von Asservaten erzeugt. Dabei wurden die Techniken der Photogrammetrie und eines Handscanners benutzt. Die Asservate stellten dabei eine Hose und eine Kleiderpuppe dar. Außerdem wurde eine digitale Simulation des Anziehens einer Hose an einen Körper vergleichbar zum real-weltlichen Prozess erzeugt. Die Umwandlung der 3D Modelle bei beiden Techniken funktioniert, wobei bei den Modellen des Scanners kleine Probleme aufgetreten sind. Hingegen ist anzumerken, dass dafür die photogrammetrischen 3D Modelle große Probleme bei der Simulation erzeugt haben. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass große Teile der Forschungsfrage bestätigt werden können. So konnte die Simulation mittels 3D Modelle aus den Scanner Ergebnissen und Techniken der Film- und Spieleindustrie erzeugt werden. Alleiniger die Modelle der Photogrammetrie konnten nicht benutzt werden, wobei dies auch wie in der Forschungsfrage formuliert evaluiert werden sollte. Somit gilt es in späteren Arbeiten vor allem auf die Verbesserung der Photogrammetrie einzugehen. Selbst wenn die photogrammetrischen Aufnahmen nicht für diese Simulation benutzbar waren, könnte jedoch evaluiert werden in welchem Rahmen photogrammetrische Aufnahmen sinnvoll sind und auch Ergebnisse liefern können. Damit wäre auch denkbar, dass Möglichkeiten und Grenzen für photogrammetrische Modelle evaluiert werden und möglicherweise dabei Lösungen für die hier aufgetretenen Probleme gefunden werden. Auch die Relationen ließen sich von den realen Objekten in die digitale Welt übertragen. Die Ergebnisse durch die Modelle des Scanner liefern sehr gute Ergebnisse, welche alle nah aneinander liegen und gut mit einander vergleichbar sind. Die Ergebnisse stützten, dass das Erscheinungsbild der bereits angezogenen Hose sehr ähnlich zu den Ergebnissen nach der Hose nach der eigentlichen Simulation und alle auffälligen Falten und Gruppen an Falten wiedererkannt werden konnten. Zudem zeigt die Evaluation mit der Überprüfungssimulation, dass das digitale Anziehen eine bereits angezogene Hose nicht verändert, aber dennoch eine noch nicht angezogene Hose digital anziehen kann. Damit ist die Funktion und Qualität der Simulation bewiesen. Auch die Überlagerungen und Vermessungen die Funktion bestärken. Anzumerken ist allerdings, dass die alle Ergebnis-

se auch auf ein Problem aufmerksam machen. So kann mittels der Überlagerung und der an der Hose angebrachten Kreuze nicht evaluiert werden inwieweit sich die Hose an dem Körper durch die Simulation bewegt, sondern nur in welchem Rahmen sich die Simulation insgesamt im 3D Raum bewegt. Dies liegt daran, dass die Ausgangsposition der Puppe nicht über die gesamte Simulation wie erhofft erhalten werden konnte. Dies liegt an dem Vorschritt des Einfassens der Puppe in die Hose.

Auch wenn mit dieser Arbeit gute Ergebnisse erzielt werden konnten und ein Großteil der Forschungsfragen erfüllt ist kann keine genaue Aussage über den Wert für die Fallarbeit getroffen werden. Natürlich bietet diese Arbeit eine gut Grundlage für weitere Forschung und Entwicklung eigener Methoden in der Forensik. Wie aber im Kapitel der Diskussion schon beschrieben ist auch eine Menge an verschiedenen Manipulationen in das Experiment mitgeflossen. Für den Wahrheitsgehalt bedeutet dies, dass es viele Tatsachen verzerrt darstellen könnte und damit das in dieser Arbeit dargestellte Experiment und die zugehörigen Ergebnisse von Experten evaluiert werden sollten. Dennoch sollte angemerkt werden, dass die Arbeit im Vergleich zu vielen anderen geringerer Manipulation unterliegt.

6 Ausblick

Zum Abschluss werden noch mögliche weitere Ansatzpunkte mit denen diese Arbeit erweitert werden kann erläutert. In Bezug auf diese Arbeit kommen Veränderungen beispielsweise in Bezug auf Variation der Position der Puppe. So könnten zum Beispiel auf eine Sitz-Animation oder Lauf-Animation in Frage kommen. Um dies realistisch zu gestalten müsste allerdings bei Animation welche in Bewegung erfolgen zuerst eine Datenbank für die Evaluation des Experimentes erstellt werden. Dabei sollte eine möglichst hohe Stichprobe an Wiederholungen einer Geste erfolgen um die Zufälligkeit der Faltenlegung mit in den Versuch einfließen zu lassen. Des Weiteren was vor allem bei Animationen in Bewegung sinnvoll wäre ist einen echten Menschen in den Versuch mit aufzunehmen. Denkbar wäre im Anschluss bei einer sicheren Animation bei einem ausgewählten Menschen mehrere neue Menschen mit in die Datenbank auszunehmen und sich so der echten Fallarbeit zu nähern. Diese Variation des Versuches könnte zum Beispiel Grundlagen für Fragestellungen über die mögliche Zugehörigkeit von Klamotten zu Personen bei Informationsmangel ermöglichen. Darüber hinaus wären alle diese Versionen des Experimentes auch mit anderen Kleidungsstücken und Körperteilen denkbar. Das Ziel sollte am Ende sein möglichst einen komplett eingekleideten Körper sich im digitalen Raum nachzubauen. Mittels dieser Ergebnisse könnten beispielsweise Aufnahmen einer vermummten Person im Nachhinein mittels 3D Animation erklärt werden.

Im Hinblick auf den Vorversuch wären auch noch weitere Experimente in Bezug auf einen Teil der Hose möglich. Folgendermaßen könnte man zur Evaluation der Ergebnisse und um die getroffenen Aussagen zu überprüfen die angenommene Entstehung der Spuren im echten Leben simulieren. Dabei soll das Ziel sein die Spuren nachzuziehen und sowohl zu bestimmen ob ein Informationsverlust bei der Übertragung der Spuren von analog in digital erfolgt und ob die getroffenen Aussagen bestätigt oder entkräftet werden können. Bei diesem Experiment müssen allerdings viele Faktoren beachtet werden um realistische Ergebnisse zu erhalten. Zu diesen Faktoren gehören die Variation der Materialien. Damit ist

in dieser Hinsicht gemeint, dass möglichst jedes Szenario durchexerziert werden muss. Wie in der Arbeit beschrieben wurde bei den vorhandenen Abdrücken von Klammerspuren ausgegangen. Um dies zu evaluieren sollte eine Hose in echt über eine Wäscheleine gehangen werden und die entstehenden Spuren mit denen der eigentlichen Untersuchung verglichen werden. Dabei muss zum Beispiel zwischen verschiedenen Klammern, Zustände der Hose bei Aufhängung beispielsweise nass, trocken oder ähnliche sowie Position der Hose auf der Wäscheleine mit dem Bündchen auf gehangen oder mit gefaltetem Bündchen auf gehangen variiert werden.

Manuell dazu kann man dieses Ergebnis nochmals digital nachbauen um die Ergebnisse zu vergleichen.

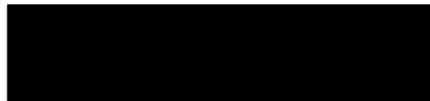
Zusätzlich können bei allen ausgewählten Experimenten mehrere Programme evaluiert werden. Dies ist immer zu empfehlen. Auf dem Markt gibt es eine Vielzahl an verschiedensten Programmen, mit einer Großzahl an verschiedenen Methoden und Grundlagen. Besitzen mehrere Programme dieselben Methoden wäre es angebracht diese gegenüberzustellen, da diese zwar vermutlich dasselbe Ziel verfolgen aber mit einer unterschiedlichen Pipeline arbeiten. Treten dabei auch nur kleinste Unterschiede im Ergebnis auf kann das im Bereich der Forensik und bei den Ergebnissen einen großen Einfluss auswirken. Da das Fach der Forensik ein Bereich der Wahrheitsforschung ist, ist es wichtig solche Einzelheiten im vorab zu klären, da diese sonst beispielsweise ein ganzes Urteil fälschlich auslegen können. Anzumerken ist auch, dass alle erwähnten Programme auf einer Basis von individuellen Auswahlkriterien ausgewählt wurden. In anderen Zusammenhängen können diese Auswahlkriterien ganz anders aussehen, weshalb es wichtig ist diese auch tiefer zu erörtern und gegebenenfalls zu ersetzen beziehungsweise zu ändern. Die Variierung an Programmen könnte für diese Arbeit beispielsweise bedeuten, die anderen erwähnten Programme aus 3.2 näher zu betrachten. Außerdem wurde bei der Recherche ein Add On in Blender namens „Simple Cloth Pro“ gefunden. Dies könnte auf die gelieferten Funktionen evaluiert werden. Möglicherweise könnte mit dem Add On die Simulation vereinfacht werden oder auf eine andere Weise gelöst werden.

7 Selbständigkeitserklärung

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 30.08.2022



8 Literaturverzeichnis

Literatur

- [1] Alicevision | meshroom - 3d reconstruction software, 01.06.2022. 35
- [2] Photogrammetrie, 04.12.2014. 32
- [3] Photogrammetry pipeline — meshroom v2021.0.1 documentation, 06.02.2022. 37
- [4] Creating meta-rigs — blender manual, 15.08.2022. 49
- [5] Introduction — blender manual, 15.08.2022. 48
- [6] Introduction — blender manual, 15.08.2022. 48
- [7] Introduction — blender manual, 15.08.2022. 49
- [8] Structure — blender manual, 16.08.2022. 5, 45
- [9] Rigify — blender manual, 22.11.2019. 49, 50
- [10] Collision — blender manual, 23.08.2022. 49
- [11] Introduction — blender manual, 23.08.2022. 48
- [12] Introduction to nodes — blender manual, 23.09.2018. 45
- [13] Cache — blender manual, 26.08.2022. 49
- [14] 3ds max software | preise abrufen und 3ds max 2023 kaufen, 27.08.2022. 22
- [15] Collision modifier — blender manual, 27.08.2022. 48
- [16] Houdini | 3d procedural software for film, tv & gamedev | sidefx, 27.08.2022. 22
- [17] Physical properties — blender manual, 27.08.2022. 49
- [18] 3d scanning at a glance — artec studio 16 documentation, 30.06.2022. 4, 33, 41, 42
- [19] Data processing — artec studio 16 documentation, 30.06.2022. 4, 40, 41
- [20] Glossary — artec studio 16 documentation, 30.06.2022. 37
- [21] Scanning — artec studio 16 documentation, 30.06.2022. 28, 33
- [22] Settings — artec studio 16 documentation, 30.06.2022. 46
- [23] Ikpe Justice Akpan and Murali Shanker. The confirmed realities and myths about the benefits and costs of 3d visualization and virtual reality in discrete event modeling and simulation: A descriptive meta-analysis of evidence from research and practice. *Computers & Industrial Engineering*, 112:197–211, 2017. 14, 15, 76

- [24] Janine Bachmann. Manipulation von digitalisierten spurenträgern: Am beispiel einer digital asservierten hose. 9
- [25] Stephan A. Bolliger, Michael J. Thali, Steffen Ross, Ursula Buck, Silvio Naether, and Peter Vock. Virtual autopsy using imaging: bridging radiologic and forensic sciences. a review of the virtopsy and similar projects. *European radiology*, 18(2):273–282, 2008. 4, 8, 12, 13
- [26] Nico Bruns. Blender : Universelle 3d-bearbeitungs- und animationssoftware. *Der Unfallchirurg*, 123(9):747–750, 2020. 16
- [27] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) bmbf.de. Computerbasierte forensische bewegungsanalyse zur identifizierung von personen (combi). 9, 13
- [28] Duden. Wahrheitsgehalt, 15.08.2022. 20
- [29] Duden. Digitalisat, 16.08.2022. 20
- [30] DWDS. Dws – digitales wörterbuch der deutschen sprache, 12.08.2022. 19
- [31] DWDS. Dws – digitales wörterbuch der deutschen sprache, 13.08.2022. 20
- [32] DWDS. Dws – digitales wörterbuch der deutschen sprache, 15.08.2022. 19
- [33] DWDS. Dws – digitales wörterbuch der deutschen sprache, 15.08.2022. 20
- [34] Blender Foundation. blender.org - home of the blender project - free and open 3d creation software, 18.08.2022. 22, 50
- [35] Bernd Herrmann, editor. *Biologische Spurenkunde*. Springer, Berlin and Heidelberg, 20XX-. 8, 18
- [36] Shuxian Huang and Li Huang. Clo3d-based 3d virtual fitting technology of down jacket and simulation research on dynamic effect of cloth. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022:1–11, 2022. 14
- [37] Dirk Labudde and Marleen Mohaupt. *Bioinformatik im Handlungsfeld der Forensik*. Springer eBook Collection. Springer Spektrum, Berlin, 2018. 17, 18, 19
- [38] Dirk Labudde and Michael Spranger, editors. *Forensik in der digitalen Welt: Moderne Methoden der forensischen Fallarbeit in der digitalen und digitalisierten realen Welt*. Springer Spektrum, Berlin and Heidelberg, 2017. 8, 11, 14, 20
- [39] Ágnes Pethő, editor. *Film in the post-media age*. Cambridge Scholars Publ, Newcastle upon Tyne, 2012. 17
- [40] Roman Povalej, Heiko Rittelmeier, Johannes Fähndrich, Silvio Berner, Wilfried Honekamp, and Dirk Labudde. Die enkel von locard. *Informatik Spektrum*, 44(5):355–363, 2021. 4, 17, 18
- [41] Professionelle Lösungen für 3D-Scanning | Artec3D. Drahtlose handgeführte 3d-scanner | artec leo | optimale 3d-scanning-lösungen, 15.08.2022. 32, 33

-
- [42] Professionelle Lösungen für 3D-Scanning | Artec3D. Solutions for forensic, 15.08.2022. 17
- [43] Professionelle Lösungen für 3D-Scanning | Artec3D. Die beste 3d-scanningsoftware | artec studio, 3d-modellierungssoftware, 18.08.2022. 35
- [44] Diana Saiki, Ty Stratton, Valerie Birk, and Morgan Sanchez. Exploring methods to make 3-d images of historic clothing using photogrammetry. 13
- [45] Damian Schofield. Virtual evidence in the courtroom. In Harrison Hao Yang and Steve Chi-Yin Yuen, editors, *Handbook of Research on Practices and Outcomes in Virtual Worlds and Environments*, pages 200–216. IGI Global, 2012. 15, 16, 77
- [46] Unity Technologies. Unity, 26.08.2022. 22