

Angewandte Computer- und Biowissenschaften

Professur Medieninformatik

# Bachelorarbeit

Entwicklung und Analyse eines Workflows zur realitätsnahen  
Modellierung animierter Personen in virtuellen Welten

Micky Tuan An Ngyuen

Mittweida, den 22. August 2019

**Erstprüfer:** Prof. Dr. rer. nat. Marc Ritter

**Zweitprüfer:** Dipl.-Inf. Richard Vogel

**Nguyen, Micky Tuan An**

Entwicklung und Analyse eines Workflows zur realitätsnahen Modellierung animierter Personen in virtuellen Welten

Bachelorarbeit, Angewandte Computer- und Biowissenschaften

Hochschule Mittweida– University of Applied Sciences, August 2019

## **Abstract**

Die Erstellung fotorealistischer Modelle kann viel Zeit und Aufwand beanspruchen, insbesondere wenn es darum geht, reale Menschen in virtuellen Welten darzustellen. Für solche Zwecke wird häufig die Photogrammetrie eingesetzt, ein Verfahren, das 3D-Modelle aus 2D-Bilddaten erzeugt. Normalerweise erfordert die Aufnahme der entsprechenden Bilder eine bestimmte Ausrüstung, über die der Durchschnittsmensch nicht verfügt.

Um das gewünschte Modell trotzdem erstellen und nutzen zu können, müssen mögliche Alternativen gefunden werden. Diese sollten natürlich das bestmögliche Ergebnis liefern. Zu diesem Zweck sind empirisch verschiedene Möglichkeiten zu untersuchen, um die erforderlichen Daten optimal zu erfassen und zu verarbeiten.

**Name:** Ngyuen, Micky Tuan An

**Studiengang:** Medieninformatik und interaktives Entertainment

**Seminargruppe:** MI15w2-B

**English Title:** Development and analysis of a workflow for realistic modeling of animated people in virtual reality environments.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung und Motivation</b>	<b>1</b>
1.1	Aufgabenbeschreibung . . . . .	2
1.2	Zielstellung und Aufbau der Arbeit . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Anforderungen und Spezifikation</b>	<b>9</b>
3.1	Szenario . . . . .	9
3.2	Funktionale Anforderungen . . . . .	10
3.3	Nicht-funktionale Anforderungen . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Analyse verschiedener Anwendungen und Vorgehensweisen</b>	<b>13</b>
4.1	Performancevergleich anhand von Beispieldaten . . . . .	14
4.1.1	Modell: Cherub Statue . . . . .	16
4.1.2	Modell: Napoleon Kopf . . . . .	18
4.1.3	Modell: Richard . . . . .	20
4.1.4	Auswertung der Modelle . . . . .	22
4.2	Bilddatenerfassung und Meshgenerierung . . . . .	23
4.2.1	Einzelbilder . . . . .	24
4.2.2	Extraktion aus Videos . . . . .	27
4.2.3	Auswertung . . . . .	33
4.3	Retopologisierung und UV-Mapping . . . . .	34
4.3.1	Manuelle Retopologisierung . . . . .	35
4.3.2	Automatische Retopologisierung . . . . .	37
4.3.3	UV-Mapping . . . . .	39
4.4	Animation . . . . .	42

<b>5</b>	<b>Implementierung</b>	<b>45</b>
5.1	Equipment und Software . . . . .	45
5.2	Aufnahme . . . . .	47
5.2.1	Vorbereitung . . . . .	47
5.2.2	Ausführung . . . . .	49
5.3	Ordner Strukturierung . . . . .	50
5.4	Reality Capture . . . . .	50
5.5	ZBrush . . . . .	52
5.6	Maya . . . . .	55
5.7	Mixamo . . . . .	55
<b>6</b>	<b>Evaluation</b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>63</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>IX</b>

# 1 Einführung und Motivation

Im digitalen Zeitalter spielt der Fotorealismus in den Medien eine immer größere Rolle. Filme und Videos-Spiele erscheinen immer echter und sind von ihren realen Pendanten kaum noch zu unterscheiden. Um diesen realitätsnahen Detaillierungsgrad zu erreichen, muss jedoch viel Zeit und Aufwand in die Erstellung der jeweiligen Modelle investiert werden. Für authentische Resultate werden erfahrene Künstler mit verschiedenen Fähigkeiten benötigt. Zu diesen zählen neben der 3D-Modellierung sowohl digitales Sculpting als auch Texture Mapping. Dabei ist unter digital Sculpting eine spezielle Form der 3D-Modellierung zu verstehen, welche es erlaubt, Modelle zu bearbeiten, als würden diese aus beispielsweise Knete bestehen und unter Texture Mapping das Vergabe von Oberflächendetails und Farbinformationen. Studios greifen aus diesem Grund zunehmend auf die Photogrammetrie zurück, ein Verfahren, das die dreidimensionale Form und Position eines Objekts auf der Grundlage von Bilddaten rekonstruiert [Luh06]. Medien, die diese Technik verwendet haben, um beispielsweise Terrains zu visualisieren, sind "The Matrix" [Deb99] und "Star Wars Battlefront" [DIC15].

Mit Photogrammetrie lassen sich aber nicht nur Terrains erstellen, sondern auch realistische Modelle von Menschen. Im Vergleich zum digitalen Sculpting kann dieses Verfahren potenziell Zeit und Arbeit sparen, da die entsprechende Software sowohl topologische Strukturen als auch Farbinformationen des Modells aus Bilddaten generieren kann. Der Vorteil dabei ist die Qualität der Textur, denn diese stellt die Farbinformation der erfassten Bilder mittels einer Projektion auf dem Modell dar und sieht folglich realistisch aus. Allerdings bringt die Generierung aus Bilddaten auch den Nachteil mit sich, dass die Qualität der Textur stark von der Qualität der Aufnahmen abhängt und die Topologie für Echtzeitanwendungen zu hoch aufgelöst ist. Im Gegensatz zu Terrains und leblosen Objekten ist es bei der Aufnahme von Menschen umso schwieriger verwertbare Bilder aufzunehmen, da sie üblicherweise nicht über einen längeren Zeitraum in einem völlig bewegungslosen Zustand verweilen können. Bereits geringfügige Bewegungen bei der Aufnahme können zu sichtbaren Ungenau-

igkeiten führen, die sich entsprechend negativ auf die Qualität des Modells auswirken. Für solche Fälle existieren Unternehmen wie "Human-Engine" [HE] oder "Pixel Light Effects" [Eff], die sich auf diesem Bereich spezialisiert haben. Diese verwenden Gerüste mit Kameras, die alle notwendigen Bilder in regelmäßigen Abständen und Winkeln gleichzeitig erfassen. Mit Hilfe einer großen Anzahl von Kameras wird so die Aufnahmedauer auf den Bruchteil einer Sekunde verkürzt und die Wahrscheinlichkeit von Fehlern minimiert. Für individuelle Studenten oder Artisten, die sich gerne selbst einmal als 3D-Modell verewigen wollen, wären die Anschaffungskosten jedoch zu hoch. Eine einzelne Kamera kann bereits mehrere Hundert Euro kosten und selbst ein Raspberry pi Setup wie das von pi3dscan [pi319] bewegt sich preislich in einem fünfstelligen Bereich. Obwohl es theoretisch möglich ist, den gleichen Effekt mit einer einzigen Kamera zu erzielen, indem eine zweite Person die zu erfassende Person mehrmals mit der Kamera umkreist und die erforderlichen Bilddaten erfasst, gibt es in der Praxis aus Zeitgründen leider Schwierigkeiten für die stillstehende Person.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung eines Workflows, der es einzelnen Personen mit begrenztem Budget ermöglichen soll, in kurzer Zeit realistische und echtzeitfähige Modelle von Menschen zu erstellen, die eine zum Animieren passende Topologie besitzen. Dabei werden verschiedene Möglichkeiten zur Bilderfassung und Optimierung betrachtet und analysiert, um ein einfaches Animieren und die uneingeschränkte Verwendung in einer Echtzeitanwendung zu gewährleisten.

### 1.1 Aufgabenbeschreibung

In dieser Arbeit soll ein Workflow entwickelt werden, der es ermöglicht, realistische und optimierte 3D-Modelle von Personen kostengünstig zu erstellen, die für Animationen und den Einsatz in Echtzeitanwendungen geeignet sind. Im Vordergrund steht die Optimierung der Arbeitsschritte bis hin zur Animation, sodass das entstehende Modell am Ende des Workflows verwendbar ist. Hierbei dient die Photogrammetrie als Grundlage für die Mesh-Generierung. Die Stärken und Schwächen des Workflows sind experimentell durch eine Vielzahl von Vergleichen zu ermittelt. Für ein bestmögliches Ergebnis sind außerdem andere Faktoren wie Hardware, Einstellungen und Umgebung zu berücksichtigen und vergleichen.

## 1.2 Zielstellung und Aufbau der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es, einen Workflow zu realisieren, der es einzelnen Personen ermöglicht, realistische, wiedererkennbare Modelle von Menschen zu erstellen. Das Resultat des Workflows soll eine geringe Anzahl von Polygonen aufweisen, um ohne Einschränkungen in Echtzeit nutzbar zu sein, und eine für die Animation geeignete Topologie besitzen. Der Workflow sollte einfach und verständlich sein, damit er ohne Schwierigkeiten angewendet werden kann.

Beginnend mit den Grundlagen erhält der Leser erste Einblicke zum Thema Photogrammetrie, ihre Anwendungsgebiete und Anforderung in dieser Arbeit. Nachdem alle nötigen Schritte für die erfolgreiche Generierung eines 3D-Modells behandelt wurden, folgt ein kurzer Abschnitt über die Anforderungen, welche sich aus einem angemessenem Szenario ableiten. Diese dienen bei der Entwicklung lediglich als Orientierung.

Im nächste Kapitel fängt der wesentliche Teil der Arbeit beginnend mit dem Auswahlverfahren der Photogrammetrie-Softwares an. Mit einer Reihe von zur Verfügung gestellten Bilddaten sind zunächst ausgewählte Softwares auf Effizienz und Qualität zu prüfen.

Daraufhin erfolgt eine weitere Reihe an Tests und Vergleichen. Dieses Mal für die Bilddatenerfassung und welchen Einfluss sie auf das Endergebnis hat. Zu diesem Zweck werden verschiedene Aufnahmemethoden, Geräte und Einstellungen getestet und die optimale Kombination empirisch ermittelt.

Der Abschnitt Retopologisierung und UV-Mapping befasst sich mit der Optimierung für den Einsatz in einer Echtzeitanwendung. Hier werden neben den verschiedene Möglichkeiten zur Optimierung die Vor- und Nachteile unterschiedlicher Softwares behandelt und verglichen.

Unter Animation werden die Grundlagen und einige Möglichkeiten zur manuellen und automatischen Umsetzung angesprochen.

Im Kapitel Implementierung sind alle Erkenntnisse der vorhergehenden Vergleiche zu einem vollständigen Workflow zusammengefasst. Ob dieser von einem Studenten verwendet werden kann, wird im darauf folgenden Kapitel getestet.





## 2 Grundlagen

Photogrammetrie bezeichnet die Rekonstruktion der Position, Farbe und Form von Objekten auf der Grundlage von Bilddaten [Kra04]. Sie wird in zahlreichen Gebieten eingesetzt und reicht von der Erfassung von Informationen über die Erdoberfläche für die Erstellung von topographischen Karten [fPS] bis hin zur Dokumentation von Denkmälern oder archäologischen Funden [Ram12]. Aufgrund des fotorealistischen Erscheinungsbildes wird sie zunehmend auch in digitalen Unterhaltungsmedien wie Filmen und Video-Spielen eingesetzt [HB16].

### Datenakquisition

Für den üblichen Ablauf der Photogrammetrie sind als Erstes Bilder vom zu rekonstruierenden Objekt aufzunehmen. Dabei ist es notwendig so viele scharfe Bilder wie möglich von der Oberfläche zu erfassen, um im späteren Verlauf diese Informationen wieder auf dem Modell darstellen zu können. Das Licht sollte bei der Aufnahme möglichst neutral und stark gestreut sein, damit das zu rekonstruierende Objekt gleichmäßig beleuchtet ist und gleichzeitig keine Schatten auf den Bildern abgebildet werden. Das ist besonders wichtig, da diese Bilddaten als Grundlage für die Erstellung des Meshes und der Textur dienen und die Qualität des Endergebnisses direkt beeinflussen.

Eine verbreitete Methode, um die nötigen Bilddaten zu erfassen, ist das Objekt mit einer Kamera auf einem Stativ zu umkreisen und dabei in regelmäßigen Abständen und Höhen Bilder aufzunehmen. Eine weitere Möglichkeit ist das Objekt auf einer Drehbühne zu drehen und mit einer fixierten Kamera die Bilder zu erfassen. Letzteres wird aus finanziellen Gründen nicht behandelt, da in dieser Arbeit keine teuren Gerätschaften vorgesehen sind.

### Ausrichtung

Im nächsten Schritt werden diese in eine Photogrammetrie-Software importiert, wo sie ausgerichtet bzw. die ursprüngliche Position der Kamera zum Aufnahmezeit-

punkt wiederhergestellt wird. Anhand von überlappenden Bildpunkten, die auf den verschiedenen Bildern gefunden wurden, kann die Software dann eine Punktwolke erzeugen, welche die Überlappungen darstellt [RD19] und bei der Meshgenerierung als Referenzpunkt fungiert.

### **Meshgenerierung**

Bei der Meshgenerierung wird ein Mesh mit einem in der Regel hohen Polycount (Anzahl der Polygone) erzeugt. Abhängig von der Software kann dieser stark schwanken, da einige eine Dezimierung durchführen, ein Prozess bei dem der Polycount des Modells unter geringem Qualitätsverlust drastisch reduziert wird. Am entstandenen Modell wird dann ein UV-Unwrap durchgeführt. Dabei wird die Oberfläche des Modells entlang der Kanten aufgeschnitten, sodass sie als zweidimensionale Fläche abgebildet werden kann. Die Punkte der zweidimensionalen Fläche nennen sich UV-Koordinaten (UVs) und teilen sich mit den Vertices des Modells die gleiche Position. Einzelne UVs Fetzen eines Modells werden UV Shell oder auch UV Island genannt und bilden zusammen die UV-Map.

### **Texture Mapping**

Beim Texture Mapping werden die Farbinformationen der Bilder extrahiert und auf das Modell projiziert. Diese werden dann auf der zuvor erstellten UV-Map abgebildet, welche die Oberfläche des Modells darstellt. Das Ergebnis der Photogrammetrie ist ein hoch aufgelöstes, texturiertes Mesh mit relativ zufällig positionierten UVs Shells.

### **Workflow in dieser Arbeit**

Um die Zielstellung dieser Arbeit zu erfüllen, müssen verschiedene Maßnahmen getroffen und Arbeitsschritte entsprechend angepasst werden. Dabei ist zu beachten, dass das Modell folgende Bedingungen erfüllt :

- es ist wiedererkennbar
- es ist in einer Echtzeitanwendung verwendbar
- es besitzt eine zum animieren geeignete Topologie

Für die Wiedererkennbarkeit des Modells ist vor allem die Bildqualität ausschlaggebend. Beginnend mit der Erfassung der Bilder kommt, wie bereits in der Einleitung erwähnt, die Anschaffung eines professionellen Setups aufgrund der Kosten nicht in

---

Frage. Demzufolge sind zuerst Alternativen für die Bilddatenerfassung zu finden, denn die Bilder und ihre Qualität stellen die Grundlage der Photogrammetrie dar und haben direkten Einfluss auf alle nachfolgenden Arbeitsschritte.

Um das Modell ohne Einschränkungen in einer Echtzeitanwendung verwenden zu können, sind Optimierungen am Modell unverzichtbar. Als Orientierung wird ein Artikel [Mic19] von Microsoft verwendet, welcher sich mit solchen Optimierungen befasst. In erster Linie sind der Polycount und die Textur zu reduzieren. Gleichzeitig ist darauf zu achten, dass die Topologie sich nach der Reduktion immer noch zum animieren eignet.



## 3 Anforderungen und Spezifikation

Die funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen des Workflows sind nachfolgend aufgeführt und basieren auf dem Beispiel des vorliegenden Szenarios.

### 3.1 Szenario

Ein unerfahrener 3D-Künstler/Student/Hobbyist möchte seine Freunde/Familie als 3D-Modell für ein Spiel oder eine Animation rekonstruieren. Aufgrund vieler verschiedener Faktoren, wie mangelndem Wissen über die menschliche Anatomie, Proportionen und Texturierung, erfordert die Modellierung viel Zeit und Aufwand. Es steht noch nicht einmal fest, ob es ihm überhaupt gelingen wird, nach einer langen Einarbeitungszeit ein wiedererkennbares Modell zu erstellen. Angesichts der überwältigenden Komplexität und der Tatsache, dass brauchbare Ergebnisse in naher Zukunft nicht garantiert sind, bräuchte er einen anderen Weg, um das Ganze schneller und einfacher zu realisieren. Nach ein wenig Recherche entdeckt er das Thema Photogrammetrie. Die meisten Suchergebnisse befassen sich jedoch hauptsächlich mit der Abbildung von leblosen oder bewegungslosen Objekten. Für die Abbildung von Menschen findet er nur Studios, die ein größeres System mit vielen Kameras haben. Allerdings will er kein Geld für einen 3D-Scan in einem professionellen Studio ausgeben, da diese teuer sind und jedes Modell separat bezahlt werden muss. Es ist jedoch beabsichtigt, nicht nur eine einzige Person und eventuell sich selbst in verschiedenen Klamotten als 3D-Modelle zu erstellen, möglicherweise auch noch in zukünftigen Projekten.

## 3.2 Funktionale Anforderungen

**/ FA1 / - Der Workflow muss dem Anwender Möglichkeiten bieten Bilder von Personen für die Photogrammetrie zu erfassen.**

Da die Berechnung des Meshes auf der Überlappung der Bilder basiert, muss der Workflow schnelle Verfahren zur Erfassung der Bilder bereitstellen. Durch die Minimierung der Zeit, in der sich die Person bewegen kann, bleiben mehr Überlappungen erhalten.

**/ FA2 / - Der Workflow muss den Anwender unterstützen ein wiedererkennbares Modell zu rekonstruieren.**

Bei einer erstmaligen Ausführung ohne jegliche Vorkenntnisse können viele Fehler auftreten, die eine korrekte Rekonstruktion behindern. Zu diesem Zweck muss der Workflow dem Nutzer genügend Lösungsvorschläge bieten, sollte dieser bei der Ausführung auf Schwierigkeiten treffen.

**/ FA3 / - Der Workflow muss dem Anwender Möglichkeiten bieten das Modell zu optimieren.**

Um den Einsatz in einer Echtzeitanwendung zu gewährleisten, muss der Workflow dem Anwender die Möglichkeit bieten, verschiedene Optimierungen am Modell vorzunehmen. Dazu gehören vor allem die Retopologisierung zur Reduzierung des Polycounts und die Erstellung neuer UVs zur effizienteren Nutzung des UV-Raums.

**/ FA4 / - Der Workflow muss dem Anwender Möglichkeiten bieten das Modell zu animieren.**

Dem Nutzer müssen verschiedene Möglichkeiten zur manuellen und automatischen Animation des Modells zur Auswahl gestellt werden.

**/ FA5 / - Das resultierende Modell muss in einer Echtzeitanwendung verwendbar sein.**

Das Modell muss die Nutzung in Echtzeit gewährleisten. Es darf nicht zu viele Ressourcen beanspruchen, um einen Abfall der Frames pro Sekunde zu vermeiden.

### 3.3 Nicht-funktionale Anforderungen

**/ NFA1 / - Der Workflow soll übersichtlich sein.**

Kurze Erklärungen und möglichst wenige komplexe Arbeitsschritte sollen dem Anwender dabei helfen, den Workflow mit möglichst wenig Schwierigkeiten anzuwenden.

**/ NFA2 / - Der Workflow soll erweiterbar sein.**

Es sollte möglich sein, den Workflow um zusätzliche Schritte zu erweitern, um die Qualität der Zwischen- und Endergebnisse anzuheben.

**/ NFA3 / - Die verwendeten Softwares sollen austauschbar sein.**

Für die jeweiligen Schritte im Workflow sollen auch andere als die dort angegebene Anwendungen eingesetzt werden können, sofern diese den gleichen Zweck erfüllen.





## 4 Analyse verschiedener Anwendungen und Vorgehensweisen

Im folgenden Kapitel werden mit dem Ausschlussverfahren verschiedene Möglichkeiten zur Optimierung der Aufnahmen analysiert, indem eine Reihe von Tests mit verschiedenen Nebenfaktoren durchgeführt wird.

Dafür ist zunächst die Photogrammetrie-Software auszuwählen, welche in dieser Arbeit für die Entwicklung des Workflows zum Einsatz kommt. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Softwares ausgewählt, die ohne große Änderung an ihren Einstellungen hinsichtlich Rechenzeit und Genauigkeit miteinander verglichen werden. Als Eingabe dienen bestehende Foto-Samples aus verschiedenen Quellen, welche von den entsprechenden Herausgebern bereits einmal erfolgreich zu einem fertigen Modell verarbeitet wurden.

Die technischen Daten des verwendeten Computers sind nachfolgend aufgeführt und erfüllen die Systemanforderungen der jeweiligen Anwendungen:

- CPU: Intel Core i7-4770 3.4GHz
- RAM: 16GB DDR3
- GPU: NVIDIA GeForce GTX 1060 OC
- Speicher: 2TB 7200 RPM SATA + 128GB SSD

Im nächsten Schritt sind verschiedene Optionen zur Erfassung der Bilddaten zu testen. Die ausgewählte Software berechnet aus den resultierenden Bildern jeder getesteten Aufnahmemethode ein Mesh. Dadurch lassen sich die Stärken und Schwächen der verschiedenen Methoden identifizieren. Für diesen Workflow ist dann die Aufnahmemethode zu verwenden, die das den Eingabedaten am nächsten liegende Mesh erzeugt.

Sobald das Mesh generiert ist, erfolgen Maßnahmen zur Optimierung von Textur und Topologie. Dazu muss der Polycount und die Größe der Textur beachtlich reduziert werden. Für die Retopologisierung und die Bearbeitung der UVs bieten ZBrush 2019 [Pix19] und Maya 2019 [Aut19] verschiedene Lösungswege, um den gewünschten Polycount und Edgeflow (Struktur der Kanten) zu erreichen.

Der letzte Schritt ist die Animation. Dieser Abschnitt behandelt die Grundlagen der Animation eines Modells mit menschlicher Anatomie. Im Rahmen der Arbeit wird in diesem Kapitel keine umfassende Ausführung behandelt und stattdessen auf weitere Referenzen verwiesen.

## 4.1 Performancevergleich anhand von Beispieldaten

Im Folgenden werden die ausgewählten Anwendungen und Eingabedaten kurz vorgestellt und die Ergebnisse aufgelistet. Da nach der Eingabe der Bilddaten bis zum fertigen Modell mehrere Schritte erforderlich sind, findet die Verarbeitung der Bilder in jeder Software mittels einem automatisierten Prozess statt. Auf diese Weise ist es möglich den Zeitbedarf für jede Berechnung ohne vom Anwender verursachte Verzögerungen zu ermitteln. Zu den genannten Schritten zählt hier die Ausrichtung der Bilder, Erzeugung der Punktwolke, des Meshes und der Textur. Die Angabe des Polycounts erfolgt gerundet in Tris, da er zu diesem Zeitpunkt noch keine wesentliche Rolle spielt und vorerst nur zum groben Vergleich der Oberflächen dient.

Meshroom [Ali19] ist eine Open-Source-Software, die von AliceVision veröffentlicht wurde. Sie bietet einen vollautomatischen Prozess zur Verarbeitung von Bilddaten bis zum fertigen Modell. Die Einstellungen sind anpassbar und der Prozess erfordert nur einen manuellen Import der zu verarbeitenden Bilder. Für den Test wurde die zweite Veröffentlichung Meshroom 2019.1.0 verwendet.

RealityCapture (RC) [Rea19] ist eine Software von Capturing Reality und bietet neben einer schrittweisen Verarbeitung der Bilddaten ebenfalls eine vollautomatische Lösung. Sie unterstützt außerdem die Eingabe von Videos als Bildmaterial und stellt verschiedene Werkzeuge zur Bearbeitung und Optimierung des Modells zur Verfügung. Als Abonnement ist sie für 99€/3Monate oder mit einer unbefristeter Lizenz ab 4000€ erhältlich. Für den Test wurde die Version 1.0.3.6310 Demo RC verwendet.

Metashape [Agi19] ist eine Software von Agisoft, die zuvor unter dem Namen Photoscan bekannt war. Anders als Meshroom und RC besitzt sie keine direkte 1-Klick-Lösung zur vollautomatischen Verarbeitung der Bilddaten zu einem fertigen Modell. Stattdessen erlaubt eines ihrer Features mehrere Arbeitsschritte zusammenzufügen und auszuführen (Batch processing). Für den Vergleich wurde das Benutzerhandbuch als Orientierung verwendet, um die notwendigen Schritte zur Erstellung eines fertigen Modells einzugrenzen. Sie unterstützt gleichermaßen den Import von Videos und verfügt außerdem über eine Funktion zur Einschätzung der Bildqualität. Alle Einstellungen wurden von High auf Medium geändert, um diese an die Grundeinstellungen der anderen Anwendungen anzupassen. Metashape ist mit unbefristeter Lizenz ab 179 € erhältlich. Für den Test wurde die Version 1.5.2 verwendet.

3DF Zephyr Lite (Zephyr) [3Df19] ist eine Software von 3Dflow und ermöglicht, ähnlich wie Metashape auch, durch Batch processing mehrere Schritte zusammenzufügen und auszuführen. Sie verfügt neben dem Import von Bildern aus Videos außerdem über eine Option zur automatischen Erkennung der Kamerakalibrierung, welche den ganzen Arbeitsablauf beschleunigen kann, wenn diese vorhanden sind. Sie ist mit unbefristeter Lizenz ab 149 € erhältlich. Für den Test wurde 3DF Zephyr Lite Version 4.501 verwendet.

Zu den Photogrammetrie-Samples gehören:

- *Cherub Statue* von 3D Zephyr, bestehend aus 65 Bildern mit einer Auflösung von 3744x5616 Pixel
- *Napoleon Kopf* von Micky Tuan An Nguyen, bestehend aus 104 Bildern mit einer Auflösung von 3840x2160 Pixel
- *Richard* von pi3dscan, bestehend aus 120 Bildern mit einer Auflösung von 2592x1944 Pixel

Die im nächsten Abschnitt zusammengeführten Bilder stammen jeweils von oben links nach unten rechts aus Meshroom, RC, Metashape und Zephyr. Dabei ist der Fokus auf das Gesicht beabsichtigt, da dieser der bedeutsamste Faktor für die Wiedererkennbarkeit von Personen ist.

### 4.1.1 Modell: Cherub Statue



Abbildung 4.1: Cherub Statue

Software	Polycount	Rechenzeit	sichtbare Problemstellen
Meshroom	2.100.000	1 h 35 min	einige
RC	6.900.000	11 min	keine
Metashape	800.000	20 min	wenige
Zephyr	230.000	15 min	keine

Bei diesem Sample handelt es sich um eine Reihe von Bildern, die aus verschiedenen Höhen und Winkeln aufgenommen wurden. Meshroom zeigt hier bereits Schwierigkeiten, sowohl an relevanten als auch an weniger relevanten Bereichen. In Abbildung 4.1 (oben links) sind Fehler im Gesichtsbereich besonders auffällig. Einbrüche wie die an Nase und Wange können das gesamte Mesh einer Person unbrauchbar machen, da diese Partien einen erheblichen Einfluss auf die Wiedererkennbarkeit haben. Darüber hinaus gibt es weitere weniger schwerwiegende Defekte an der Unterseite der Flügel, am Hals und an Übergängen entlang scharfer Kanten. Diese sind meist sehr verschwommen und haben eine unregelmäßige Polygondichte. Auffällig ist auch, dass die Software bei der Berechnung des ersten Samples mehrfach abgestürzt ist, obwohl sichergestellt wurde, dass der Computer außer Meshroom keine anderen Anwendungen ausführt. Mit über 1,5 Stunden Rechenzeit benötigt Meshroom die meiste Zeit für das erste Sample.

RealityCapture hingegen erzeugt in nur 11 Minuten ein Mesh (oben rechts) ohne erkennbare Beeinträchtigungen. Es gibt keine signifikanten Problemstellen und die allgemeine Oberflächenstruktur des Modells zeigt keine Unregelmäßigkeiten. Übergänge an Kanten und engen Stellen, die in Meshroom zu Fehlern führen, realisiert die Software ohne Probleme. Mit fast 7 Millionen Polygonen hat das erzeugte Mesh den höchsten Polycount und besitzt somit die größte Menge an Oberflächeninformation.

Metashape benötigt 20 Minuten, um ein Mesh (unten links) zu erstellen, das ähnliche Probleme wie Meshroom aufweist. Diese sind jedoch weniger schwerwiegend und vernachlässigbar. Der Polycount von unter einer Million deutet auf eine Dezimierung des Meshes hin, die nicht in den automatisierten Workflows von Meshroom und RC integriert ist. Diese Dezimierung verringert die Oberflächeninformation, die potenziell aus dem Mesh hätten gewonnen und in einer Textur gespeichert werden können.

Wie RC liefert auch Zephyr relativ schnell Resultate. Mit einer Rechenzeit von 15 Minuten liegt sie nur wenige Minuten hinter RC und erzeugt gleichzeitig ein hochwertigeres Mesh (unten rechts) als Meshroom und Metashape. Darüber hinaus wird das Mesh auf weniger als eine Viertelmillion dezimiert und zeigt keine optische Verschlechterung.

### 4.1.2 Modell: Napoleon Kopf



Abbildung 4.2: Napoleon\_Kopf

Software	Polycount	Rechenzeit	sichtbare Problemstellen
Meshroom	1.400.000	1 h 7 min	ja
RC	4.700.000	11 min	keine
Metashape	500.000	18 min	wenige
Zephyr	150.000	12 min	keine

In diesem Sample wurden Bilder aus einem Video extrahiert, das mit einem Smartphone auf Standardeinstellungen aufgenommen wurde. Es ist deutlich zu erkennen, dass Meshroom mit diesem Sample besonders große Schwierigkeiten hat. Bis auf die Kleidung ist die gesamte Oberflächenstruktur übermäßig rau und Farbübergänge werden ebenfalls fehlerhaft dargestellt. Darüber hinaus sind mehrere Bereiche des Meshes mit schwebenden Überresten im dreidimensionalen Raum verschmolzen und machen das gesamte Mesh auch nach einem umfangreichen Korrekturversuch unbrauchbar. Mit einer Rechenzeit von über einer Stunde ist Meshroom auch hier die langsamste Software. Ebenso ist der Polycount von fast 1,5 Millionen, der normalerweise hoch genug ist, um die Oberflächenstruktur detailliert darzustellen, in diesem Fall nicht verwertbar, da sich die ganzen Defekte an den entscheidendsten Stellen befinden.

Im Gegensatz dazu liegt die Rechenzeit von RealityCapture bei diesem Sample bei lediglich 11 Minuten. Mit fast 5 Millionen Polygonen rekonstruiert RC nicht nur die feinsten Details von Gesicht und Kleidung, sondern stellt sie auch in authentischen Farben dar. Die Oberflächenstruktur sieht makellos aus und selbst das Haar weist kaum Defekte auf. Es gibt keine nennenswerten Probleme und das Modell könnte theoretisch optimiert und für den Einsatz in einer Echtzeitanwendung retopologisiert werden, wenn die Software den Rest des Körpers ebenso einwandfrei erzeugt wie das Gesicht.

Metashape generiert in 18 Minuten ein Modell aus einer halben Millionen Polygonen mit wenigen Problemstellen. Wie bei Meshroom gibt es hier einige Bereiche an der Hinterseite des Kopfes und an der Rückseite des Modells, die mit schwebenden Überresten verschmolzen sind. Das Gesicht ist davon jedoch nicht betroffen und kann nach einem Korrekturversuch mit qualitativen Verlusten verwendet werden.

Zephyr Lite erreicht mit 150.000 Polygonen den niedrigsten Polycount. Das Modell weist keine optische Qualitätsverluste auf und sieht fast so fehlerfrei aus wie das von RC. Mit einer Rechenzeit von 12 Minuten ist Zephyr ebenfalls eines der schnelleren Softwares in diesem Vergleich. Es gibt schwebende Überreste von Polygonen im Raum, jedoch stehen diese nicht mit dem eigentlichen Modell in Kontakt.



### 4.1.3 Modell: Richard



Abbildung 4.3: richard\_source

Software	Polycount	Rechenzeit	sichtbare Problemstellen
Meshroom	1.500.000	55 min	ja
RC	4.600.000	8 min	ja
Metashape	900.000	18 min	ja
Zephyr	100.000	8 min	ja

Bei dem von pi3dscan zur Verfügung gestellten Sample *Richard* handelt es sich um einen Ganzkörper-Scan mit einem Multi-Kamera Setup, welches ursprünglich zusammen mit einer Projektion in Photoscan realisiert wurde. Die Bilder mit Projektion wurden dabei unmittelbar nach den Bildern ohne Projektion aufgenommen. Das auf die Person projizierte Muster unterstützte bei der Berechnung das Erzeugen einer präziseren Punktwolke [Kny10], welche dann für die Erstellung des Meshes verwendet wird. Allerdings werden für den Vergleich nur die Bilder ohne Projektion verwendet.

Beim Versuch das Modell mit Meshroom zu rekonstruieren, treten Deformationen und fehlerhafte Darstellungen auf. Nach einer knappen Stunde Rechenzeit sind unzählige Dellen zu sehen und die Haut ist teilweise mit dem Hemd verschmolzen. Das Modell hat zwar weniger Schäden als beim vorigen Sample, dennoch ist es für vorgesehene Zwecke unbrauchbar.

Auch RealityCapture zeigt hier eine erkennbare Deformation am Kopf. Diese ist jedoch einfach zu korrigieren. Der Rest des Modells zeigt wenige Defekte, wie z.B. eine Verschmelzung bei der Achsel. Haut und Hemd sind sichtbar getrennt und die Farben sind nicht so verschwommen, wie bei den anderen Modellen. Mit 8 Minuten Rechenzeit ist RC genauso schnell wie Zephyr und bietet mit über 4,5 Millionen Polygone reichlich Oberflächeninformation.

Metashape kann bei diesem Sample auch kein verwertbares Modell generieren. Die Oberfläche ist äußerst rau und am Kopf befinden sich mehrere unübersehbare Deformationen, die sich auch nach erneuten Berechnungen nur gering in ihrer Größe verändern. Des Weiteren sind die Farben des Kragens verschwommen und lückenhaft. Die Ohren sind größtenteils mit dem Kopf verschmolzen und nur die Textur stellt diese stark abgeflacht dar. Auch die Schuhe sind mit dem verschmolzen, der wahrscheinlich aufgrund mangelnder Oberflächeninformation außerdem uneben ist. Das einzig verwendbare bei diesem Modell ist das Gesicht, da es die wenigsten Mängel aufweist.

Mit einer Rechenzeit von 8 Minuten erzeugt Zephyr ein Modell, das nur aus ca. 100.000 Polygonen besteht und gleichzeitig optisch fast so hochwertig aussieht, wie das von RC. Es sind ähnliche Fehler am Kopf zu sehen und die Farben sind etwas verschwommener. So ist eine leichte Verzerrung der Farbe am Kragen und eine fehlerhafte Darstellung auf dem Kopf zu sehen.

#### 4.1.4 Auswertung der Modelle

Nachfolgend sind die Ergebnisse kurz als Tabelle zusammengefasst. Anhand dieser zeigt sich offensichtlich welche Softwares für die Verwendung in diesem Workflow in Frage kommt. Dabei ist mit Verwertbarkeit ein Modell gemeint, welches nur wenige Fehler besitzt und ohne großartige Aufbereitung für den nächsten Arbeitsschritt nutzbar ist.

---

	Meshroom	RC	Metashape	Zephyr
Rechenzeiten	55-95 min	8-11 min	18-20 min	8-15 min
Verwertbarkeit	0/3	3/3	2/3	3/3

---

Mit ihren kurzen Rechenzeiten sind RC, Metashape und Zephyr um ein vielfaches schneller als Meshroom und generieren gleichzeitig hochwertigere, verwertbare Resultate. Alle 3 Samples von RC und Zephyr sind bereits ohne oder mit kleinen Verbesserungen für weitere Schritte im Workflow verwendbar. Aufgrund der wenigen aufgetretenen Fehler, kommen für diesen Workflow beide Anwendungen in Frage, wobei die erste Wahl auf RC mit der geringfügig kürzeren Rechenzeit und höheren Genauigkeit fällt.

Metashape kann aufgrund der Inkonsistenz nicht überzeugen. Während das zweite Sample noch reparabel ist, zeigen sich beim dritten Sample deutliche Deformationen und erweist sich somit als unbrauchbar. Ursache dafür können durchaus die Bilder sein, jedoch zeigen die Ergebnisse, dass sowohl RC als auch Zephyr in weniger als der Hälfte der Zeit von Metashape erheblich bessere Modelle erzeugen und so eindeutig die bessere Wahl sind.

Anhand der gezeigten Bilder aus den vorhergehenden Samples ist außerdem klar zu erkennen, dass Meshroom sich nicht für den weiteren Einsatz eignet. Selbst nach einer intensiven Ausbesserung wäre bis auf das erste Modell keines der restlichen Modelle von Meshroom verwertbar. Diese Ausnahme gilt jedoch nur, da das Modell aus Stein besteht und sich durch die gleichmäßige Textur einfacher ausbessern lässt. Da Meshroom in dieser Testreihe offenbar Schwierigkeiten beim Generieren von Oberflächen hat, ist davon auszugehen, dass zukünftig generierte Modelle von Personen den gleichen Schaden tragen können und folglich unbrauchbar sind. Damit fällt Meshroom endgültig aus der Auswahl der möglichen Softwares aus.

## 4.2 Bilddatenerfassung und Meshgenerierung

Nachdem nun festgelegt ist, welche Software der Workflow verwendet, ist es notwendig, eine optimale Art der Erfassung der einzelnen Bilder zu bestimmen. Die wesentlichen Möglichkeiten sind die Aufnahme einzelner Bilder und die Extraktion von Bildern aus einer Videosequenz. In beiden Fällen ist es möglich, mehrere Aufnahmegерäte zu verwenden, um die Aufnahmezeit zu reduzieren. Darüber hinaus spielt die Auswahl der Aufnahmegерäte und die jeweilige Konfiguration eine wichtige Rolle, da diese einen direkten Einfluss auf die Qualität der Bilder haben und somit für die geometrische und farbliche Übereinstimmung der Modelle entscheidend sind. In dieser Arbeit werden die Bilddaten mit dem Smartphone Xperia XZ2 Compact (XZ2C) [Son18] und 4 GoPro HERO5 Black (HERO5) [GoP16] Action-Kameras erfasst. Letzteres mag zwar durch den fehlenden Autofokus nicht die optimale Wahl sein, jedoch reichen diese für einen Vergleich. Für die gleichzeitige Aufzeichnung mit mehreren Kameras wird eine Konstruktion verwendet, bei der die Kamerahalterungen in regelmäßigen Abständen auf Lochplatten an einer Regalschiene montiert sind. Diese sind dann über die Sprachsteuerung mit den Kommandos `GoPro take a photo` und `GoPro start/stop recording` einheitlich bedienbar und nehmen vertikal 4 Bilder bzw. Videos gleichzeitig auf. Die Aufnahme findet in einem großen Gebäude statt, welches bei sonnigem Wetter durch poröse Betonwände stark gestreutes Licht bietet und somit die Person gut beleuchtet, ohne Schatten auf ihr abzubilden. Der Einfachheit halber sind die Einstellungen für die Meshgenerierung in RealityCapture zunächst auf Medium beschränkt.

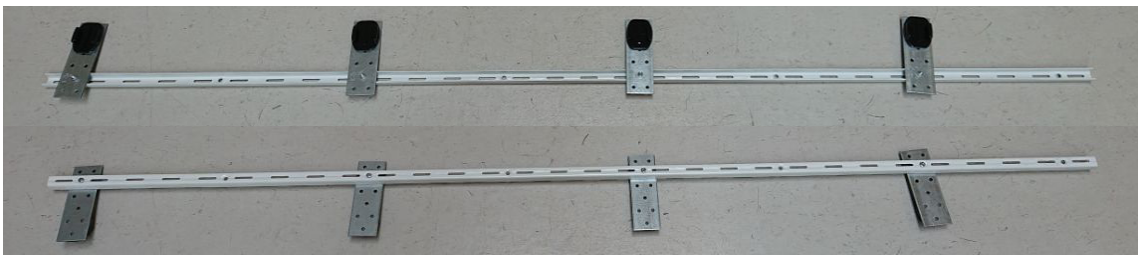


Abbildung 4.4: Konstruktion zur Befestigung mehrerer Kameras

### 4.2.1 Einzelbilder

In Einzelaufnahmen umkreist der Fotograf die Person und nimmt Bilder in gleichmäßigen Abständen und Höhen auf. Um den gleichen Abstand zwischen den einzelnen Bildern einzuhalten, wird eine beschriftete Unterlage verwendet (Abbildung 4.5).



Abbildung 4.5: Unterlage

Diese wird alle 10 Grad mit einer farbigen Markierung gekennzeichnet und bildet mit ihren 36 Markierungen einen Kreis. Die Verwendung von Zeitungen soll Fehl kalkulationen aufgrund eines möglichen Mangels an Oberflächeninformationen verhindern, die durch den monotonen Boden am Aufnahmeort verursacht werden können, welche bereits im Performancevergleich mit Metashape aufgetreten ist. Im Verlauf der Durchführungen wurde diese mit einer Unterlage aus stabilerem Material ersetzt, die den gleichen Zweck erfüllt.



Abbildung 4.6: Modell ohne Unterlage, rauher Boden und Schatten verschmolzen

Für die Aufnahme auf unterschiedlichen Höhen und mit einer einzigen Kamera können die eigenen Körperpartien wie z.B. Augen-, Bauch- und Kniehöhe als Orientierung dienen. Die Geräte werden zunächst auf ihre Werkseinstellungen zurückgesetzt. Folgende Einstellungen sind dann für die Aufnahmen aktiviert:

### **XZ2C**

- Gitterlinien: hilfreich für das Zentrieren der Person
- Objektverfolgung: behält die Person im Fokus

### **HERO5**

- FOV linear: behebt die Linsenverzerrung

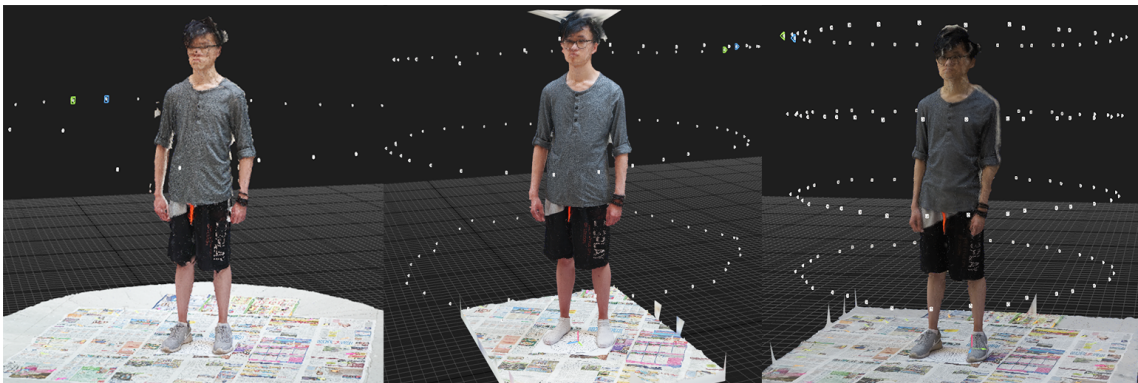


Abbildung 4.7: Modelle mit Umlaufbahnen der Kameras

Abbildung 4.7 zeigt folgende Ergebnisse:

- Links: XZ2C, eine Umkreisung, 36 Bilder, Aufnahme auf Augenhöhe
- Mitte: XZ2C, drei Umkreisungen, 107 Bilder, Aufnahme auf 3 Höhen
- Rechts: HERO5, eine Umkreisung, 144 Bilder, Aufnahme mit Rig

In Abbildung 4.7 besteht das Modell auf der linken Seite aus 36 Bildern, die mit dem Smartphone aufgenommen wurden. Die abzubildende Person wurde einmal mit dem Aufnahmegerät in Augenhöhe umkreist. Die Textur und vor allem das Gesicht sind dabei weitgehend verschwommen. Grund für diese Fehler können verschwommene Bilder oder die Geometrie und das Glas der Brille sein, da es viele enge Stellen gibt und die Software Probleme mit reflektiertem Licht hat.

Im mittleren Bild wurde die Person dreimal in verschiedenen Höhen umkreist. Das Gesicht ist klarer und erkennbarer. Bei einer größeren Menge an Bilddaten ist das gesamte Modell im Allgemeinen geometrisch genauer und die Textur klarer, vorausgesetzt die Qualität aller Bilder befinden sich auf einem ähnlichen Niveau. Es gibt einen auffälligen Fehler am Kopf, der durch den Mangel an Bilddaten und gesträubten Haaren entstanden ist.

Im rechten Bild wurden die Bilddaten mit der konstruierten Halterung und den 4 Action-Kameras erfasst. Eine einzige Umkreisung genügte für die Aufnahme von 144 Bildern. Bei dieser Aufnahme waren die Lichtverhältnisse wetterbedingt nicht mehr konstant und die Bilder sind teilweise dunkler ausgefallen. Die Qualität des Modells ist schlechter als die des mittleren Bildes, aber immer noch besser als die des ersten Bildes.

Besonders auffallend waren bei diesen 3 Modellen die Füße. Da diese sich kaum bewegt haben, ist ihre Qualität beachtlich höher als die des restlichen Körpers (Abbildung 4.8). Die Unterlage hat außerdem dazu beigetragen, dass der Boden eben und klar von den Schuhe getrennt ist. Der Schatten bildet keine Geometrie mit Schuh und Boden, wie in Abbildung 4.6.



Abbildung 4.8: Modell mit Unterlage

Zusammenfassend ist die Aufnahme von Einzelbildern zwar möglich, jedoch für diesen Workflow eher ungeeignet, da sie zu viel Zeit in Anspruch nimmt. Für die Aufnahme der Bilddaten des mittleren Modells (3 Umdrehungen) wurden über 7 Minuten und die der anderen beiden (eine Umdrehung) über 3 Minuten benötigt. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass die Person sich in diesem Zeitraum nicht bewegt hat. Wie in Abbildung 4.7 unschwer zu erkennen ist, können schon kleine Bewegungen die Textur stark beeinflussen. Um den Prozess für die aufzunehmende Person angenehmer zu gestalten und Bewegungen zu minimieren, ist die Aufnahmezeit zu reduzieren und die Bildqualität zu erhöhen.

### 4.2.2 Extraktion aus Videos

Bei der Extraktion von Bildern aus Videos gibt es zwei Möglichkeiten, das Video aufzunehmen. Bei der ersten Option bewegt sich der Fotograf um die zu erfassende Person, genau wie bei der Aufnahme von Bildern. Dabei ist zu beachten, dass dieser sich langsam und vorsichtig bewegt, um möglichst wenig Bewegungsunschärfe zu verursachen. Es ist wichtig, dass jeder Teil des Körpers der betreffenden Person auf dem Videomaterial gut sichtbar ist, da dieser sonst aufgrund mangelnder Bilddaten nicht rekonstruiert werden kann.



In der zweiten Variante dreht sich die Person selbst, sinnvollerweise auf einer elektrischen Drehbühne vor einem monochromen Hintergrund mit weicher Beleuchtung. In diesem Fall muss der Fotograf lediglich die Kameras auf den entsprechenden Höhen fixiert haben und die Aufnahme starten. Diese Möglichkeit ist für beide Seiten komfortabler, erfordert allerdings die notwendige und teure Ausrüstung, weswegen sie in dieser Arbeit nicht behandelt wird. In beiden Fällen ist es einfacher, mit mehreren Kameras statt nur mit einer aufzunehmen, da die Person sonst mehrmals umkreist oder mehrere Runden gedreht werden muss, bis alle Körperstellen erfasst sind.

Der Import von Videos in RealityCapture funktioniert über **Video Sequence** oder einfach Drag and Drop und erfordert eine kurze Rechnung, um genügend Bilder zu gewährleisten. Dabei wird von der Software abgefragt, wie viele Bilder pro Sekunde aus dem Video entnommen werden soll. Ist das Video beispielsweise 18 Sekunden lang und die Person wird einmal umkreist, so ist die Zahl auf 0,5 zu setzen, um 36 Bilder zu erhalten. Diese entsprechen bei einer einzigen Umkreisung grob 10 Grad. Die Bilder sind dann unter dem Menü **Workflow** über **Align Images** auszurichten. Nach dem Ausrichten ist es möglich den zu rekonstruierenden Bereich unter dem Menü **Reconstruction** über **Set Reconstruction Region** entweder automatisch oder, wie in dieser Arbeit, manuell zu definieren. Dazu wird mit der Maus auf dem Grid ein Würfel aufgezo-gen, welcher nachträglich anpassbar ist. Das fertige Modell erhält dann die Textur durch betätigen des Buttons **Texture** im selben Menü.

Die Einstellungen des Smartphones blieben für die Aufnahme der Videos unverändert. Folgendes wurde zusätzlich für die HERO5 aktiviert:

- Protune: aktiviert benutzerdefinierte Einstellungen
- FOV linear: behebt die Linsenverzerrung
- Protune ISO: geringster ISO-Wert (400) um Rauschen zu reduzieren
- Protune Sharpness: schärft das Bild
- Protune Color GoPro: erhöhter Kontrast

Um zu testen, wie verwendbar die aus Videomaterial entstandenen Modelle sind, wurden zunächst drei Aufnahmen mit dem Smartphone gemacht, einmal mit Full HD Auflösung und zweimal mit 4K Auflösung (Abbildung 4.9).

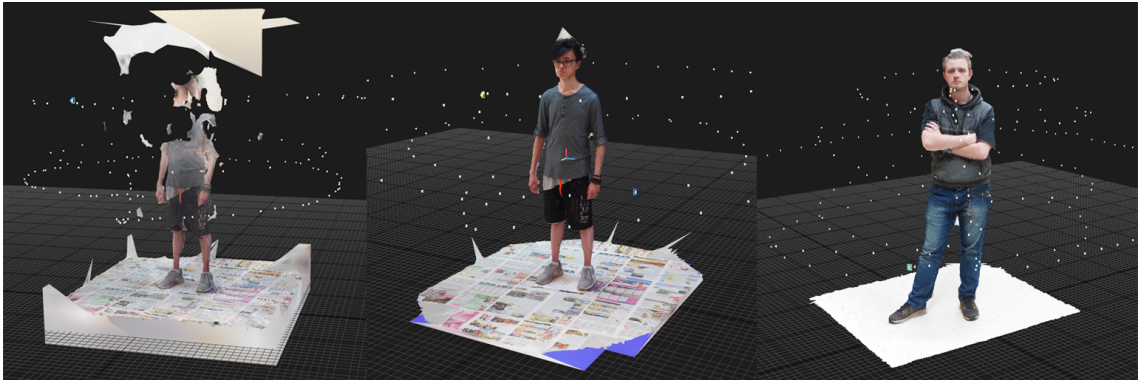


Abbildung 4.9: Full HD und 2x 4K mit Smartphone XZ2C

Mit dem Video in Full HD Auflösung (links) konnte RealityCapture auch nach mehreren Versuchen mit variierender Bildzahl kein wiedererkennbares Modell rekonstruieren. Die anderen beiden Modelle in 4K Auflösung sind zwar wiedererkennbar, haben jedoch bei der Ansicht aus unmittelbarer Nähe eine eher verschwommene Textur. Sie sind dennoch optisch und topologisch mit dem mittleren Modell aus Abbildung 4.7 auf gleicher Ebene. Bereits an dieser Stelle ist zu erkennen, dass die Aufnahmedauer im Vergleich zum vorigen Verfahren mit unter einer Minute deutlich kürzer ist. Durch eine kürzere Aufnahmedauer kann der Prozess für die aufgenommene Person erleichtert und der Zeitraum für ungewollte Bewegungen minimiert werden. Im nächsten Schritt folgt ein Vergleich der Aufnahmen mit den HERO5 Kameras.

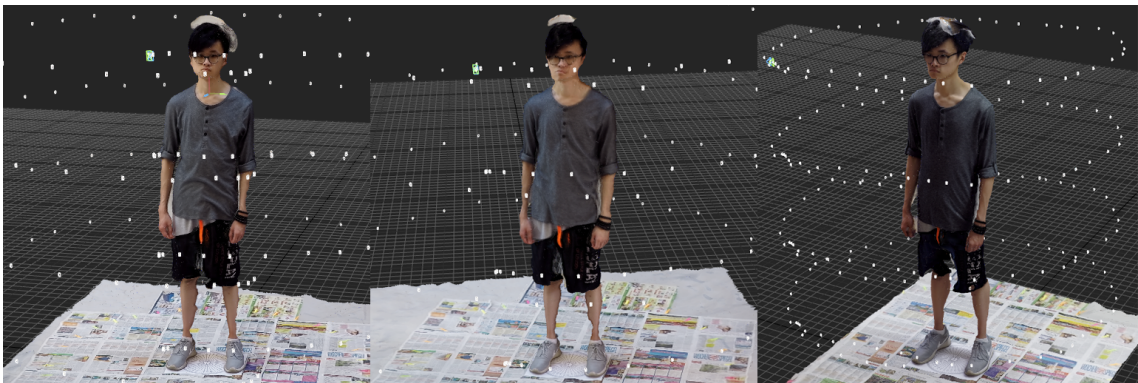


Abbildung 4.10: Standardeinstellungen, Protune, Protune und Zimmerbeleuchtung

Die Aufnahme beginnt mit dem Sprachbefehl `GoPro start recording` und wird mit `GoPro stop recording` beendet. Alle Modelle haben bei der Generierung die

gleichen Probleme. Am Kopf kommt es zu Fehlkalkulationen aufgrund mangelnder Bilddaten, die Arme sind teilweise mit dem Körper verschmolzen, da der Abstand zwischen ihnen zu gering ist, und die Beine sind auf der Rückseite zerfetzt dargestellt. Um diese fehlerhaften Darstellungen zu vermeiden, sind mehr Bilder und vor allem mehr Abstand an den verschmolzenen Stellen erforderlich.

Zur Überprüfung der Qualität wurde eine Funktion von Metashape verwendet, die die Schärfe der Bilder auswertet und in der kostenlosen Demo-Version zur Verfügung steht. Dies nennt man **Estimate Image Quality** und weist den Bildern nach einer Kantenerkennung üblicherweise Werte zwischen 0 und 1 zu. Dabei empfiehlt Metashape, Bilder mit Werten unter 0,5 zu entfernen, da sie eine hohe Unschärfe aufweisen können. Um die optimalen Einstellungen zu bestimmen, wurden kurze Videos von einer porösen Wand mit einer detailreichen Oberflächenstruktur und farbigen Aufklebern in 2,7K (höchste Auflösung ohne Linsenverzerrung) aufgenommen. Unter Protune wurde dabei **Color: Flat** ausgewählt, um die Farbinformation nicht zu verfälschen. Abhängig von der Länge des Videos werden etwa 20 Bilder extrahiert und ausgewertet. Bei 30 FPS Videos wird jedes 30. Bild extrahiert und bei 60 FPS Videos jedes 60. Bild. Die zu testenden Einstellungen sind FPS (30, 60), Sharpness (low, medium, hoch), Shutter Speed (1/60, 1/120, 1/240) und bilden 18 Videos aus all ihren möglichen Kombinationen. Die Wahl der verschiedenen Einstellungen basiert auf den folgenden Gedankengängen:

- wie wirkt sich eine erhöhte Bildrate bei der Aufnahme auf die Qualität der extrahierten Bilder aus?
- welche Folgen hat die digitale Nachbearbeitung der Kamera mit der Funktion **Sharpness**?
- wie kurz darf der Zeitraum für die Belichtung eines einzelnen Bildes (Shutter Speed) während einer Videoaufnahme sein, um Bewegungsunschärfe zu verringern und gleichzeitig keinen negativen Einfluss auf die Bilder zu haben?

Nachfolgend ist eine Tabelle mit allen Kombinationen und den jeweiligen Bewertungen aufgeführt. Es wurde außerdem festgestellt, dass bei Videos mit wenig Licht eine hohe Verschlusszeit (1/240) zu Verfärbungen (Abbildung 4.11) in der Umgebung führt, wenn kontrastreiche Farben sichtbar sind. Die Aufnahme mit einer anderen Kamera und den gleichen Einstellungen bestätigt dieses Phänomen.



Abbildung 4.11: Shutter Speed 1/120 und 1/240

Einstellung	FPS	Sharpness	Shutter Speed	Ø Bewertung
1	30	low	1/60	0,674
2	30	low	1/120	0,846
<b>3</b>	<b>30</b>	<b>low</b>	<b>1/240</b>	<b>0,871</b>
4	30	medium	1/60	0,708
5	30	medium	1/120	0,802
<b>6</b>	<b>30</b>	<b>medium</b>	<b>1/240</b>	<b>0,855</b>
7	30	high	1/60	0,789
<b>8</b>	<b>30</b>	<b>high</b>	<b>1/120</b>	<b>0,895</b>
9	30	high	1/240	0,789
10	60	low	1/60	0,679
11	60	low	1/120	0,804
<b>12</b>	<b>60</b>	<b>low</b>	<b>1/240</b>	<b>0,903</b>
13	60	medium	1/60	0,668
14	60	medium	1/120	0,834
15	60	medium	1/240	0,727
16	60	high	1/60	0,701
<b>17</b>	<b>60</b>	<b>high</b>	<b>1/120</b>	<b>0,881</b>
<b>18</b>	<b>60</b>	<b>high</b>	<b>1/240</b>	<b>0,915</b>

Die Einstellungen 3, 6, 8, 12, 17 und 18 haben sich besonders durch ihre hohen Durchschnittswerte hervorgehoben. Diese werden für die nächste Aufnahme verwendet, um die Qualitätsunterschiede erneut zu vergleichen. Um dem Problem der verschmolzenen Engstellen entgegenzuwirken, trägt die Person bei der Aufnahme

Socken unter den Armen. Die Socken heben die Arme leicht an und ermöglichen es der Person gleichzeitig die Arme locker zu lassen. Die folgenden Ergebnisse wurden mit diesen Einstellungen erzielt:



Abbildung 4.12: Einstellung 3, 6 und 8

Abbildung 4.12 zeigt alle Modelle, bei denen die Bilder mit 30FPS aufgenommen wurden. Die Textur und Geometrie sind präziser als bei Aufnahmen mit Standardeinstellungen. Auch die Anzahl der geometrischen Fehler, wie z.B. das Verschmelzen an engen Stellen oder rauen Oberflächen, ist deutlich gesunken. Dennoch sind diese in allen drei Modellen noch vorhanden, wenn auch nur seltener und weniger ausgeprägt. Im mittleren Bild ist zu sehen, dass sich die Person bewegt hat und somit ein schemenhafter Effekt auf die Textur abgebildet ist. Auch hier ist wieder zu sehen, wie wichtig es ist, während der Aufnahme ruhig zu bleiben. Das dritte Modell zeigt nur Verschmelzungen an einem Arm und zwischen den Beinen. Da diese nicht zu ausgeprägt sind, ist es möglich, das Mesh in späteren Arbeitsschritten mit geringem Qualitätsverlust zu korrigieren.

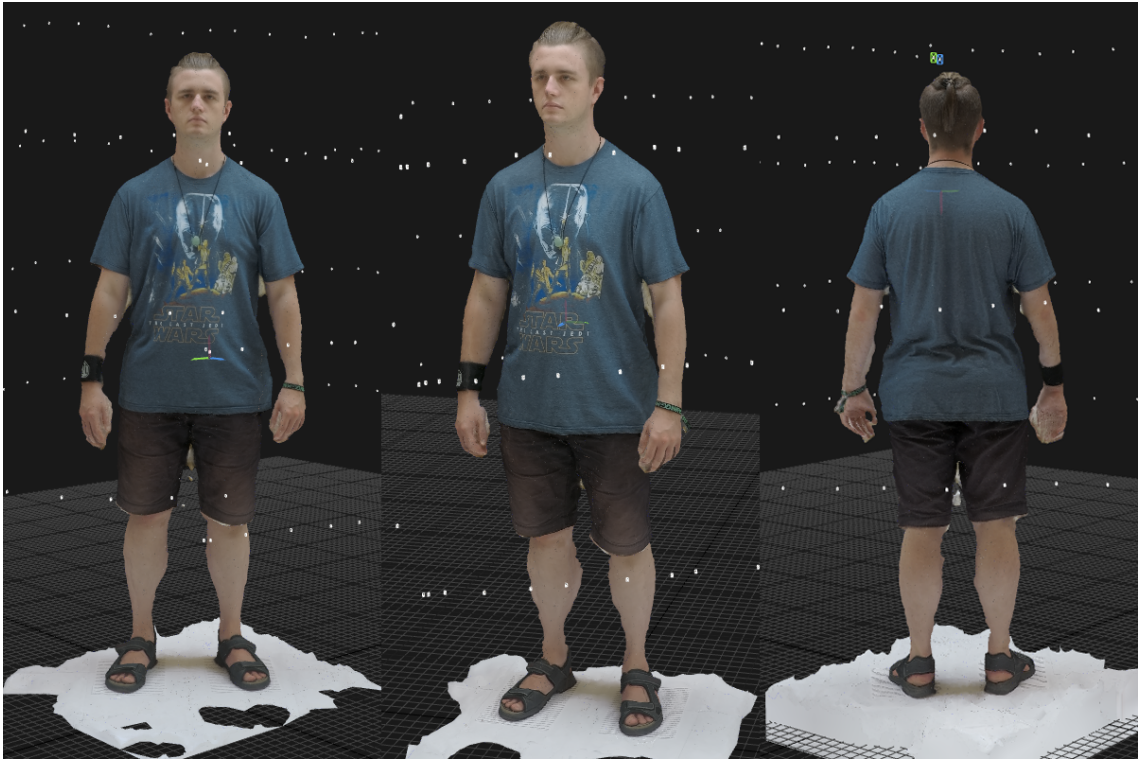


Abbildung 4.13: Einstellung 12, 17 und 18

Die 60FPS Aufnahmen zeigten geringfügige Verbesserungen. Die Textur ist bei genauer Betrachtung nur minimal klarer. Auch die fehlerhaften Verschmelzungen an den Achseln und Beinen haben an Größe verloren, was die Nachbearbeitung erleichtert. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Einstellungen 17 und 18 je nach Lichtverhältnissen für die Aufnahme eignen, da mit ihnen die klarsten Texturen erfasst und die Modelle mit den wenigsten Problemstellen entstehen.

### 4.2.3 Auswertung

Ein Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass die Meshgenerierung durch Extraktion aus Videos deutlich bessere Modelle liefert als durch die Aufnahme einzelner Bilder. Der Grund dafür ist vermutlich die kürzere Aufnahmezeit von weniger als einer Minute, da auch in dieser kürzeren Zeitspanne weniger Bewegungen stattfinden konnten. Die Aufnahme von Einzelbildern dauerte jedoch weit über 7 Minuten und es ist unwahrscheinlich, dass sich die stehende Person in dieser Zeit nicht bewegt hat.

Ein weiteres Problem, das insbesondere bei der Aufnahme von Einzelbildern auftrat, waren mangelnde Bilder der Oberseite des Kopfes. Ursache dafür ist die niedrige Positionierung der Kamera zum Zeitpunkt der Aufnahme. Die Verwendung der Konstruktion (siehe Abbildung 4.4) konnte dieses Problem bei weiteren Aufnahmen weitgehend vermeiden.

Die Verwendung einer Unterlage konnte die Häufigkeit der Verschmelzung von Mesh und Boden reduzieren. Sie ist jedoch nicht zwingend erforderlich, wenn die Aufnahme auf einer anderen Oberfläche, z.B. Asphalt, stattfindet. In diesem Fall ist die Durchführung jedoch stark wetterabhängig, weshalb die Aufnahme in dieser Arbeit in einem Gebäude stattfand. Hier wurde es nur wegen des monotonen Bodens und als Orientierung verwendet, um einen gleichmäßigen Abstand zur stehenden Person zu halten.

Ein häufiger Fehler ist auch die Verschmelzung der Arme und zwischen den Beinen. Diese wird durch den fehlenden Abstand zum Körper verursacht und kann dadurch verhindert werden, indem die stehende Person ihre Beine etwas weiter auseinander positioniert und ihre Arme hebt.

Abhängig von den Lichtverhältnissen zum Zeitpunkt der Aufnahme sind die Einstellungen 17 und 18 für den Workflow zu verwendet. Es gibt sicherlich noch eine Vielzahl anderer Einstellungen, die getestet und verglichen werden können, allerdings sollten die bisherigen Vergleiche für den Umfang dieser Arbeit ausreichen.

### 4.3 Retopologisierung und UV-Mapping

Als Retopologisierung wird die Optimierung eines Meshes bezeichnet, bei dem ein hoch aufgelöstes Mesh (High Poly) verwendet wird, um ein Mesh mit einer niedrigeren Auflösung (Low Poly) zu erzeugen, das wiederum das High Poly mit einer deutlich niedrigeren Polycount darstellt. Dieser Schritt ist notwendig, um einerseits Ressourcen zu sparen und andererseits um es für die Animation vorzubereiten.

Für die Animation ist es wichtig zu beachten, dass das Modell einer Person eine spezifische Topologie besitzt, die hauptsächlich aus Quads besteht, um die Auswahl bestimmter Partien zu erleichtern und verschiedene Deformationen unterstützt. Ein ausführlich retopologisiertes Modell hat einen bestimmten Edgeflow, eine bestimmte

Anordnung und Struktur der Edges, wodurch das Animieren erleichtert wird. Andernfalls kann sich das Mesh überlappen oder überdehnen, was zu einer fehlerhaften Darstellung führt.

Für die Retopologisierung gibt es zwei Möglichkeiten, die manuelle und automatische Retopologisierung, die Vor- und Nachteile haben. Im Folgenden werden beide Verfahren behandelt und miteinander verglichen. Für die Retopologisierung dient ein zuvor mit Einstellung 18 erstelltes Modell.

### 4.3.1 Manuelle Retopologisierung

Für die manuelle Retopologisierung wird in dieser Arbeit die 3D-Software Maya eingesetzt. In dieser Methode werden mit **Quad Draw** Polygone manuell erstellt und positioniert, indem Vertices platziert werden, bis das ursprüngliche Modell vollständig rekonstruiert ist.

Zuerst wird das High Poly Modell in Maya importiert und überflüssige Polygone, wie z.B. der Boden, auf dem die Person steht, mit dem **Lasso Tool** ausgewählt und entfernt. Dann wird das Modell selektiert und der Button **Make the selected object live** betätigt. Dies definiert die Oberfläche des Modells als räumliche Einschränkung, um Komponenten anderer Objekte auf sie zu beschränken. Unter dem Reiter **Modeling-Toolkit** ist die Schaltfläche **Quad Draw** zu aktivieren. Während **Quad Draw** aktiv ist, können Vertices auf dem High Poly platziert werden. Mit 4 gesetzten Vertices ist es dann möglich, das erste Polygon durch Halten der Shift-Taste und Klicken zu erzeugen. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis das Modell vollständig umhüllt ist.



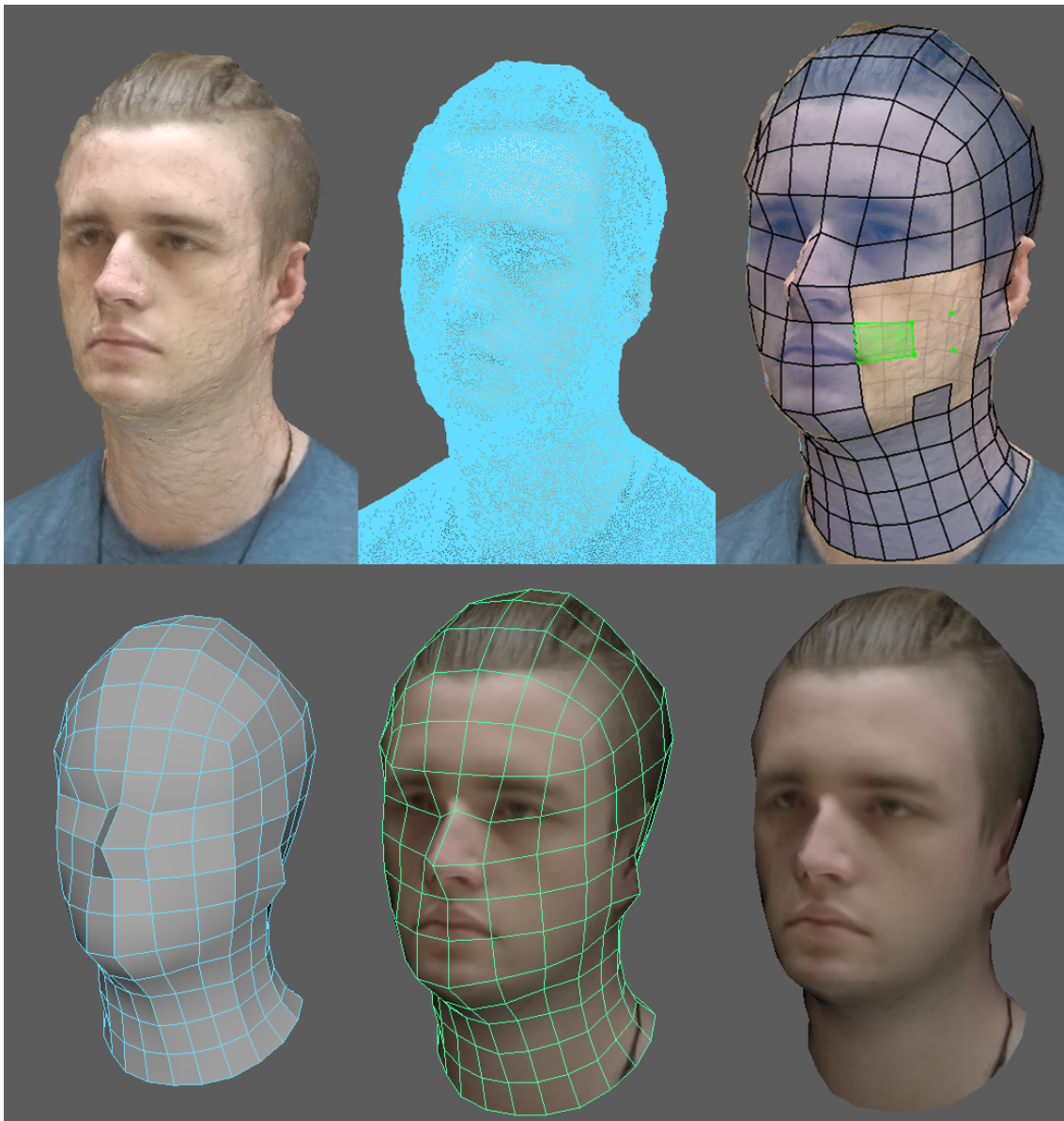


Abbildung 4.14: Ablauf von High Poly bis Low Poly

Der Vorteil dieses Verfahrens ist der kontrollierte Edgeflow. Der Benutzer kann ihn nach seinen Wünschen oder den Anforderungen des Einsatzes definieren. Zu Demonstrationszwecken zeigt Abbildung 4.14 einen retopologisierten Kopf. In diesem Modell wurde der Edgeflow für die Mimik bewusst vernachlässigt, da die Animation des Gesichts nicht beabsichtigt ist und nur der grobe Ablauf dargestellt werden soll.

Der Nachteil ist hier die Dauer und der Aufwand, da das Setzen einzelner Vertices oder das Extrudieren mehrerer Faces je nach Modell sehr mühsam und zeitaufwendig sein kann. Außerdem ist das Arbeiten mit Symmetrie nicht möglich, da das Modell nie symmetrisch ist.

Um den Rahmen dieser Arbeit nicht zu überschreiten, wird in dieser Arbeit die automatische Retopologisierung verwendet. Für eine ausführliche manuelle Retopologisierung ist es hilfreich die Arbeiten *A Guide to Building a 3D Game Character* von Elisabet Heikkilä [Hei17] und *Optimizing topology for a game Character* von Måns Mäkinen [Mä18] zurate zu ziehen.

### 4.3.2 Automatische Retopologisierung

ZBrush, ein digitales Sculpting Tool, wird für die automatische Retopologisierung eingesetzt. Die Software bietet verschiedene Werkzeuge zur Änderung der Oberflächenstruktur des Meshes an, darunter **ZRemesher**, eine automatische Funktion zur Reduzierung des Polycounts zu Quads. Dies ist besonders nützlich, da sie zudem die Möglichkeit bietet, einem benutzerdefinierten Edgeflow zu folgen und das Mesh auf einen bestimmten Polycount zu begrenzen.

Zuerst wird das High Poly in ZBrush importiert und alle überflüssigen Polygone entfernt. Hierfür eignen sich die Funktionen **SelectLasso** zur Auswahl und **Del Hidden** zum Löschen. Unter den Untermenüs **Tool > Geometry > Modify Topology** können alle offenen Positionen des Meshes mit **Close Holes** geschlossen werden. An dieser Stelle wird das Mesh mit **Subtool > Duplicate** dupliziert, um nicht am Original zu arbeiten, da es später für eine Projektion verwendet wird.



Abbildung 4.15: Aufbereitung für weitere Schritte

Um einen gewünschten Polycount festzulegen, der von der Software angestrebt werden soll, muss der Regler **Target Polygons Count** angepasst werden. Dieser ist unter **Geometry > ZRemesher** zu finden. Die dort angegebene Zahl dient nur als Richtwert und die Ergebnisse haben in der Regel einen höheren Polycount, abhängig von anderen Einstellungen. Der Standardwert 5 bedeutet 5000 Polygone. In dem hier gegebenen Beispiel wird dieser Wert auf 2 gesetzt, um einen niedrigeren Polycount zu erhalten. Die automatische Retopologisierung kann dann im gleichen Menü mit dem Button **ZRemesher** gestartet werden.

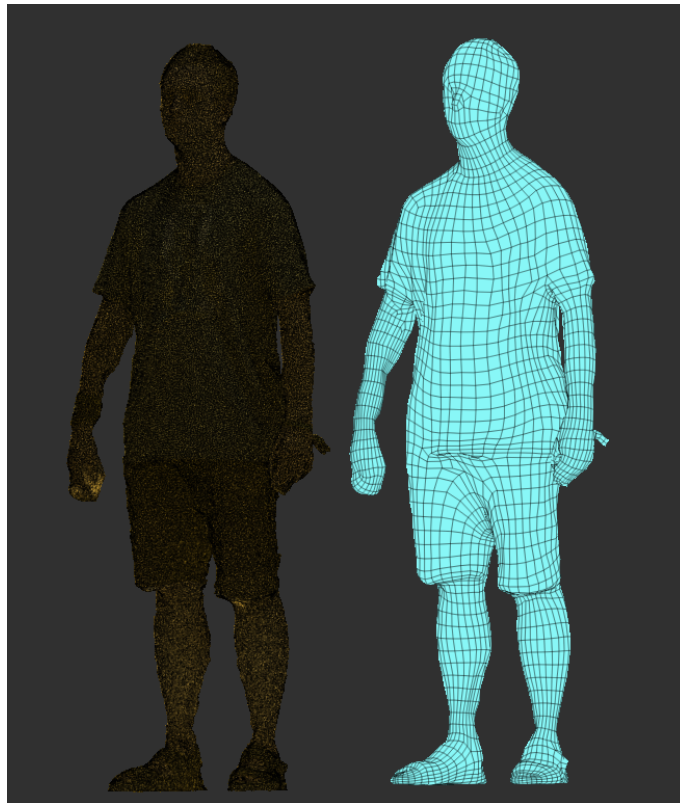


Abbildung 4.16: High Poly vor und nach ZRemesh

Das Ergebnis (Abbildung 4.16 rechts) ist ein Mesh mit ca. 5000 Polygonen. Der Vorteil dieser Methode ist, dass die Retopologisierung äußerst schnell und stressfrei durchgeführt wird. Der Anwender muss nur wenige kleine Vorkehrungen treffen. Der Nachteil ist ein gleichmäßiger Edgeflow, der auch an unbedeutenden Stellen viele Edges enthält.

### 4.3.3 UV-Mapping

Beim UV-Mapping wird das Modell entlang der Edges aufgeschnitten, um eine UV-Map zu erhalten und diese als Fläche auf einer 2D Ebene darstellen zu können. Sie trägt die Farbinformationen, die auf der Oberfläche des Modells angezeigt werden. In diesem Fall muss das Low Poly so aufgefaltet werden, dass die Farbinformationen des High Poly Modells auf die UVs des Low Poly Modells projiziert werden können, sodass es auch mit einem niedrigen Polycount aussieht wie das ursprüngliche High Poly Modell.

Da der Fokus in dieser Arbeit nicht auf der Optimierung von UVs liegt, wird ZBrush für automatisches UV-Mapping verwendet. Zunächst muss das duplizierte Modell, das zuvor mit ZRemesher retopologisiert wurde, unter Subtool ausgewählt werden. Dies sollte in etwa so aussehen wie in Abbildung 4.17, wenn es nicht verschoben wurde. Die Farbe des retopologisierten Meshes spielt keine Rolle, da sie zufällig zugewiesen wird. Der Wireframe kann mit Shift+f eingeblendet werden.

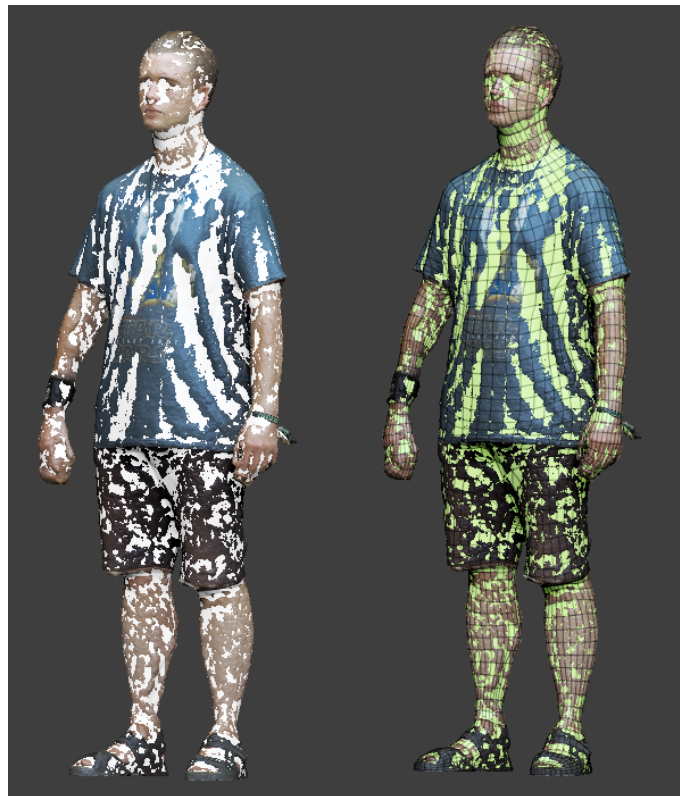


Abbildung 4.17: High Poly und retopologisiertes Mesh übereinander

Unter **ZPlugin > UV Master** muss die Symmetrie deaktiviert werden, da das Modell und damit auch die UVs nicht symmetrisch sein können. Mit **Unwrap** faltet ZBrush das Mesh automatisch auf und blendet die UV-Karte mit **Flatten/UnFlatten** als 2D-Ebene ein bzw. aus.

Der nächste Schritt ist die Projektion der Farbinformationen des High Poly Mesh auf das Low Poly Mesh. Dazu kann die Funktion **ProjectAll** unter **Subtool > Project** verwendet werden. Dabei wird nicht nur die Farbinformation projiziert, sondern auch die Vertexpositionen des Low Poly auf das High Polys abgestimmt, sodass diese eine höhere Übereinstimmung aufweisen. Um zu verhindern, dass die projizierten Farbinformationen verschwimmen, sollte der Regler **PA Blur** auf 0 gesetzt werden.

Es gibt zwei mögliche Quellen von Farbinformationen, die für die Projektion verwendet werden können: die Textur und die Vertexfarbe (Polypaint) des High-Poly-Modells. Diese unterscheiden sich vor allem in der Qualität (Abbildung 4.18) und der Anzahl der Schritte, die erforderlich sind, um die Farbinformationen zu erhalten.



Abbildung 4.18: Vergleich Textur (links) und Vertexfarbe (rechts)

Für diese Arbeit wird die kürzere, übersichtlichere Methode verwendet und die Farbinformationen der Vertices des High Poly Modells projiziert. Diese werden dann in den Vertices des Low Poly Modells gespeichert. Nach der ersten Projektion ist zu sehen, dass die ursprünglichen Farbinformationen sehr unscharf sind. Das liegt

daran, dass der Polycount des Low Poly Modells sehr niedrig ist und nur begrenzt Informationen speichern kann. Unter **Subtool** kann die Sichtbarkeit des High Poly Modells abgeschaltet werden, um nur das Low Poly Modell und dessen aktuelle Farbinformationen deutlicher sehen zu können. Um das Problem zu lösen, wird das Modell mit **Ctrl+d** unterteilt und erneut projiziert. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis das geteilte Low Poly Mesh mehr Polygone aufweist als das ursprüngliche High Poly Modell.



Abbildung 4.19: Unterteilungsebenen 1-5 und jeweilige Projektion

Unter **Tool > Texture > Create** können nun die Farbinformationen der Vertices des Low Poly Modells mit **New From Polypaint** auf die UV-Map übertragen werden. Die Unterteilungen wurden nur temporär für eine ausreichend hohe Auflösung benötigt und können mit dem Regler **sDiv** auf die Unterteilungsebene 0 unter **Geometry** zurückgesetzt werden. Das Low Poly Modell kann nun mit der neuen Textur verwendet werden.

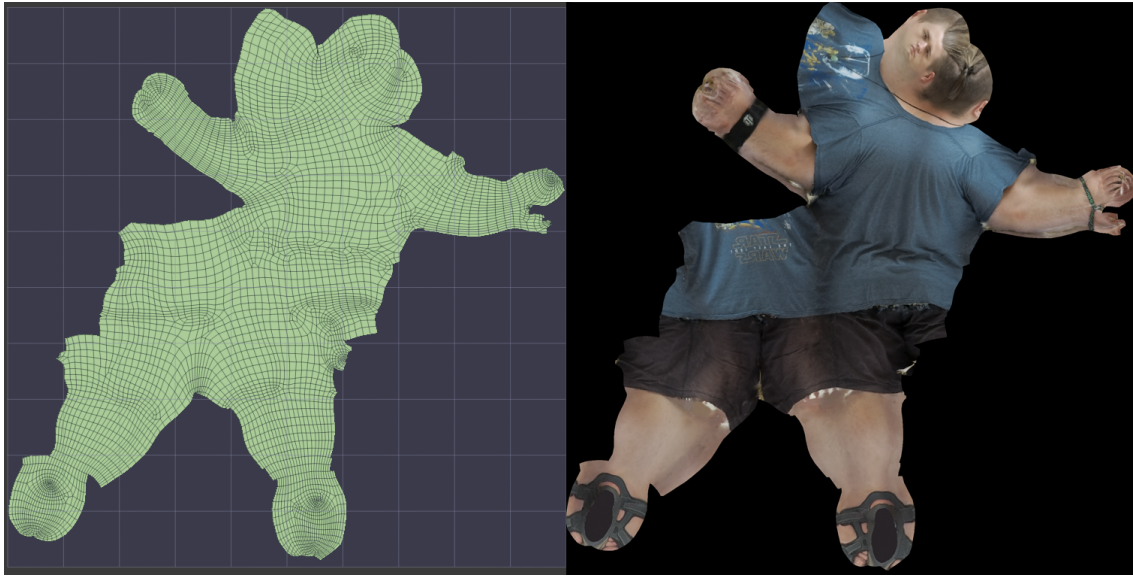


Abbildung 4.20: UV-Map ohne und mit Farbinformation

## 4.4 Animation

Um ein Modell zu animieren, müssen verschiedene Schritte wie Rigging und Weight Painting durchgeführt werden. Eine Art Skelett, das Rig, wird erstellt und in das Mesh platziert, um dieses zu steuern. Das Rig besteht aus Joints (Gelenken) und Controllern, die begrenzte Bereiche des Meshes beeinflussen und dazu dienen, das Mesh nach Wunsch zu verformen. Der Prozess der Definition und Anpassung des genannten Einflusses wird als Weight Painting bezeichnet. Um das Modell zu animieren, müssen Keyframes gesetzt werden. Diese speichern den Zustand eines Controllers, welcher einen Joint ansteuert, zu einem bestimmten Zeitpunkt ab. Mehrere Keyframes, die zu unterschiedlichen Zeiten und Positionen gesetzt wurden, können dann eine Bewegung darstellen.

Da eine manuelle Animation über den Rahmen der Arbeit hinausgeht, wird in dieser Arbeit eine automatische Lösung verwendet, um zu zeigen, dass das erstellte Mesh animierbar ist. Für eine intensive Auseinandersetzung mit dem Thema Animation ist das Buch *Rig it Right!: Maya Animation Rigging Concepts* von O’Hailey, T. [O’H13] zu empfehlen. Dieses behandelt ausführlich alle notwendigen Schritte für eine saubere Animation.

Für die automatische Animation wird der Online-Service Mixamo [Ado08] genutzt. Nachdem das Modell auf die Website hochgeladen wurde, wird es zunächst manuell so ausgerichtet, dass es dem Benutzer zugewandt ist. Dann muss der Benutzer die Position bestimmter Körperteile definieren, indem er farbige Kreise per Drag & Drop auf die entsprechenden Teile des Modells zieht (Abbildung 4.21). Die Arbeitsschritte der Animation werden dann automatisch ausgeführt. Nach kurzer Bearbeitungszeit kann der Benutzer dann eine Animation für das hochgeladene Modell auswählen, in der Vorschau ansehen und das animierte Modell neu herunterladen. Dieses kann nun beispielsweise in Unity importiert werden, um zu testen, ob das Mesh in Kombination mit der Animation in einer Echtzeitumgebung verwendbar ist.

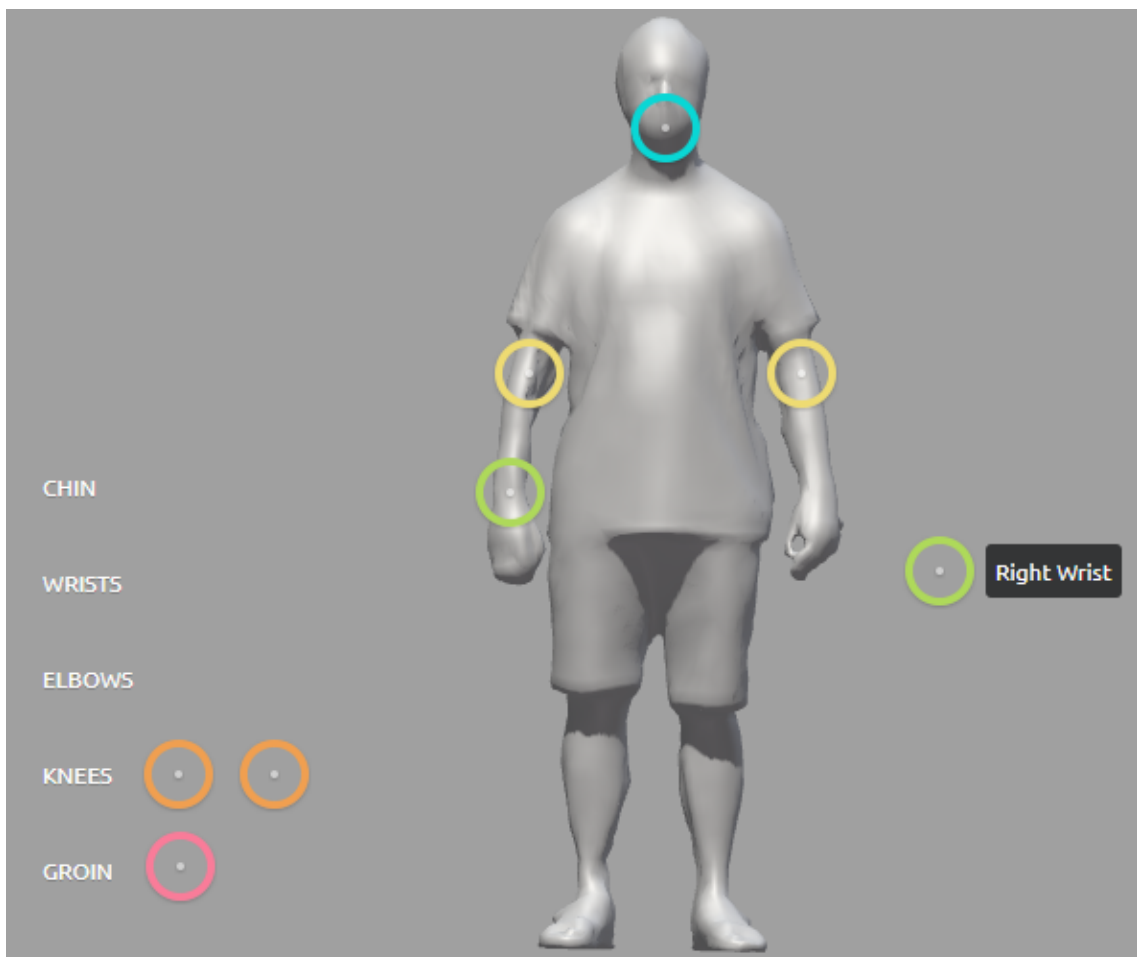


Abbildung 4.21: Auto-Rigger von Mixamo





## 5 Implementierung

In diesem Workflow werden die nötigen Schritte zur Erstellung eines realistischen Modells einer Person vermittelt. Als Grundlage wird hier die Photogrammetrie verwendet, ein Verfahren das aus zweidimensionale Bilddaten ein dreidimensionales Modell erstellt. Nachfolgend werden alle verwendeten Hilfsmittel aufgelistet und die notwendigen Schritte von der Aufnahme bis hin zum fertigen Modell behandelt.

### 5.1 Equipment und Software



Abbildung 5.1: Equipment

#### 1 - Regal-/Wandschiene

Eine Schiene zur Befestigung und gleichzeitigen Verwendung mehrerer Kameras. Diese sollte vorzugsweise mindestens 1,5m lang sein.

#### 2 - Lochplatte (4x)

Die Lochplatten werden an der Schiene befestigt und dienen als Klebefläche für die GoPro Klebe-Pads.

### **3 - Schrauben und Muttern**

Diese dienen als verstellbare Befestigung, um den Winkel der Lochplatten zu ändern.

### **4 - GoPro HERO5 Black (4x)**

Als Aufnahmegeräte werden hier 4 GoPros verwendet. Es ist theoretisch möglich auch andere Geräte zu verwenden.

### **5 - Klebe-Pads**

Die Klebe-Pads sind bei den Kameras mitgeliefert und dienen als Verbindung zwischen Kamera und Lochplatte.

### **6 - Sticky Notes**

Diese werden kreisförmig auf den Boden geklebt und dienen als Orientierung, um den Abstand zur aufzunehmenden Person einzuhalten.

### **7 - Zeitungspapier**

Diese dient als Unterlage, um dem Boden mehr Detail zu verschaffen, da das Modell unter Umständen auf einem monotonen Boden bei der Meshgenerierung mit diesem verschmilzt.

### **8 - Socken (2x)**

Die Socken werden bei der Aufnahme unter die Arme geklemmt, um diese etwas anzuheben und der aufzunehmenden Person das Lockerlassen der Arme zu ermöglichen.

### **9 - Laptop/Rechner**

Ein Laptop/Rechner wird für das Speichern, Erstellen und Bearbeiten des Meshes genutzt.

### **Software**



Abbildung 5.2: Software

**RealityCapture** - Photogrammetrie-Software, alternativ 3D Zephyr Lite

<https://www.capturingreality.com/>

**ZBrush 2019** - Retopologisierung und Texturprojektion

<http://pixologic.com/>

**Maya 2019** - UV, alternativ 3ds Max oder Blender

<https://www.autodesk.de/products/maya/overview>

**Mixamo** - Online-Service für Animationen

<https://www.mixamo.com/>

## 5.2 Aufnahme

### 5.2.1 Vorbereitung

Bevor die Aufnahme beginnt, müssen einige Vorkehrungen getroffen werden. Als Erstes ist ein Platz zu finden, an dem die Aufnahme stattfinden kann. Dieser sollte möglichst hell und frei von direkter Lichteinstrahlung sein, um scharfe Schatten oder Glanzpunkte zu vermeiden. Ein großer Raum oder Gang mit rauen, matten Wänden wäre geeignet, da diese das Licht stark streuen.



Abbildung 5.3: Beispiel für direktes und gestreutes Licht [pro16]

Mit den Sticky Notes wird ein Kreis auf den Boden geklebt, dessen Radius 1,5m beträgt. Dieser dient bei der Aufnahme als Orientierung, um den gleichen Abstand zur aufzunehmenden Person zu halten. Das Zeitungspapier wird in die Mitte des Kreises gelegt, um die Schuhe der darauf stehenden Person optisch vom Boden zu trennen.

Die Schiene, Schrauben, Lochplatten und Klebe-Pads werden nun zu einem Stativ zusammengebaut, sodass es wie in Abbildung 5.4 aussieht.

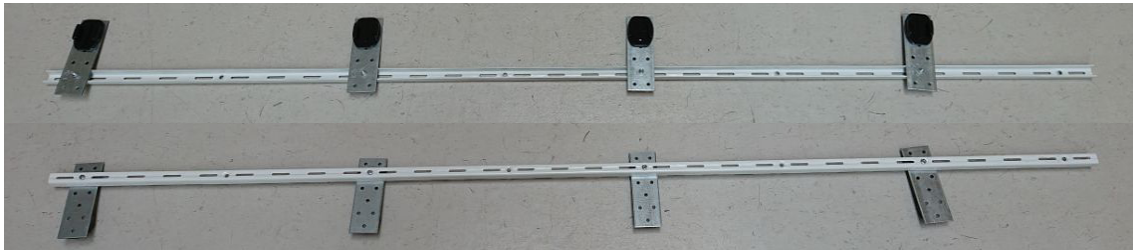


Abbildung 5.4: Konstruktion zur Befestigung mehrerer Kameras

Die Kameras werden mit der Taste `mode` auf der rechten Seite angeschaltet. Folgende Änderungen werden an den Einstellungen übernommen:

- auf dem Touchscreen vom oberen Rand nach unten wischen und **PREFERENCES** auswählen, nach oben wischen bis **Camera Defaults** zu sehen ist, diesen Text antippen und den Reset bestätigen

- unter PREFERENCES nach oben wischen und Screensaver auf Never umstellen
- das Menü durch drücken der mode Taste verlassen
- auf RES tippen und 2,7K auswählen
- auf FPS tippen und 60 auswählen
- auf FOV tippen, nach oben wischen und linear auswählen
- auf dem Touchscreen vom rechten Rand nach links wischen und PT PROTUNE mit dem Icon mittig am unteren Rand aktivieren
- auf COLOR tippen und Flat auswählen
- auf ISO tippen, nach oben wischen und 400 auswählen
- auf SHUTTER tippen, nach oben wischen und 1/120 auswählen
- auf SHARP tippen und High auswählen
- (optional) auf AUDIO tippen und Off auswählen
- zum Schließen des Menüs vom oberen Rand des Touchscreens nach unten wischen
- auf dem Touchscreen vom oberen Rand nach unten wischen und die Sprachsteuerung mit dem oberen rechten Icon aktivieren

Nun sind die GoPro Kameras so daran zu befestigen, dass sie alle in die selbe Richtung zeigen. Um die Wahrscheinlichkeit von Komplikationen zu verringern, sollte die zu erfassende Person abstehende Accessoires und glänzende Kleidungsstücke vermeiden.

### 5.2.2 Ausführung

Die Person, die aufgenommen wird, klemmt sich zuerst Socken unter die Arme, um diese etwas anzuheben, und stellt sich in die Mitte des Kreises auf das Zeitungspapier. Während der Aufnahme darf die in der Mitte stehende Person nicht bewegen. Das Stativ wird senkrecht gehalten und die 4 Kameras werden vor der Aufnahme auf die zu erfassende Person gerichtet, sodass die Videos sich überlappen und in gleichen Abständen von der Oberseite des Kopfes bis zu den Füßen hin

alles erfassen. Die Aufnahme wird mit dem Sprachbefehl **GoPro Start Recording** gestartet. Die Person mit dem Stativ umkreist dann ein Mal langsam und vorsichtig die stehende Person, um keine Bewegungsunschärfe zu verursachen. Die Aufnahme sollte nicht länger als eine Minute dauern und wird mit dem Sprachbefehl **GoPro Stop Recording** beendet.

## 5.3 Ordner Strukturierung

Folgende Ordnerstruktur wird empfohlen, da im Laufe des Workflows eine Vielzahl an Dateien entstehen. Die Videos jeder Kamera werden in unterschiedlichen Ordnern (1,2,3 und 4) gespeichert, um sie auseinander zu halten. Die USB-C Schnittstellen der Kameras sind über das Fach auf der linken Seite erreichbar. Für die Übertragung muss die Kamera über eine USB-Verbindung mit einem Laptop oder Computer verbunden und mit der Taste **mode** angeschaltet sein.

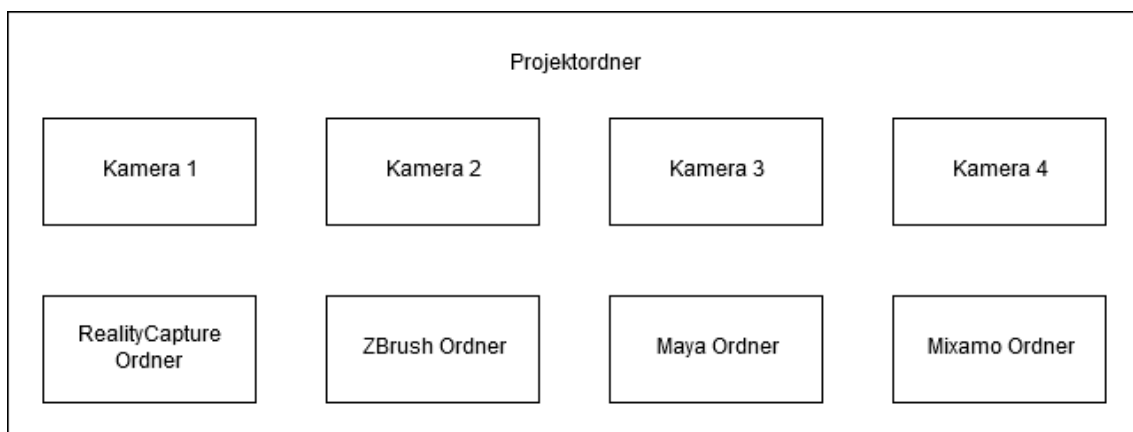


Abbildung 5.5: Empfohlene Ordnerstruktur

## 5.4 Reality Capture

Als erstes wird die Ansicht für diesen Workflow mit einem Klick auf das dritte Icon (rot) auf zwei Fenster geändert. Das Fenster links sollte auf **1Ds** (gelb) und rechts auf **3D** eingestellt sein. Falls nicht, können diese über das Drop-down-Menü durch das Klicken und Halten des entsprechenden **Ds**-Buttons geändert werden. Um aus

dem Video ein 3D-Modell zu erhalten, sind zuerst die Bilder zu extrahieren. Dazu wird der Button **Video Sequence** (grün) gedrückt und das Video ausgewählt.

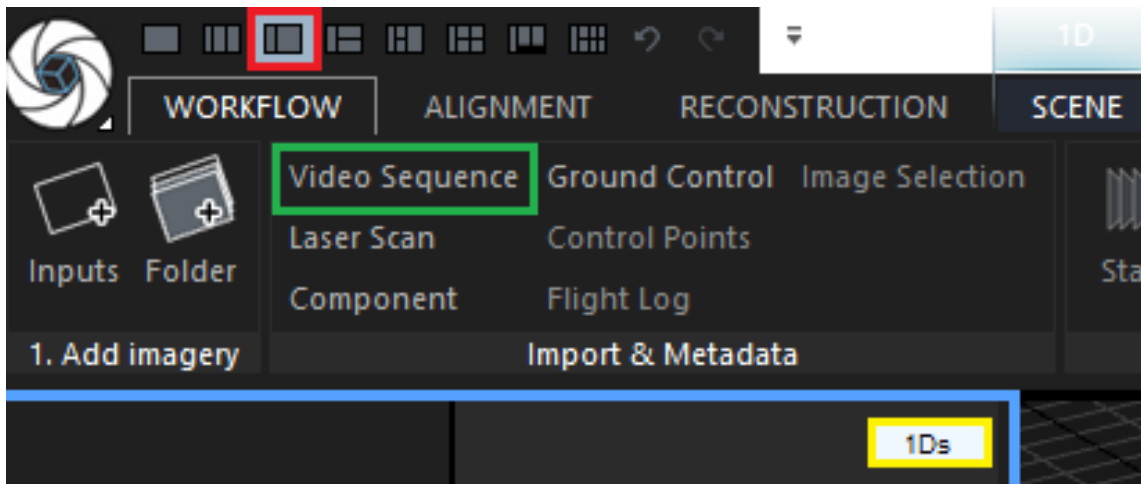


Abbildung 5.6: RealityCapture Einstellungen

Wenn das Video länger als 36 Sekunden dauert, reicht es den Wert **Jumps length(s)** auf 1 zu lassen. Dieser stellt den zeitlichen Abstand bis zur nächsten Extraktion in Sekunden dar. Dieser Vorgang wird für alle anderen Aufnahmen wiederholt. Als nächstes werden mit **Align Images** die Bilder automatisch von der Software ausgerichtet. Das Ergebnis ist eine Punktwolke, die eine Person darstellt und unter Umständen schief positioniert sein kann (Abbildung 5.7 links). Sollte das nicht der Fall sein, ist dieser Schritt mit einem kleineren **Jumps length(s)**-Wert zu wiederholen. Unter dem Menü **RECONSTRUCTION** lässt sich die schiefe Lage des Meshes mit **Define Ground Plane** durch das Rotieren beheben. Mit einem Linksdoppelklick auf eine beliebige Stelle wird der Pivot gesetzt, um den sich die Punktwolke rotiert. Sollte diese nicht zu sehen sein oder wurde versehentlich mit dem Mausrad zu weit gezoomt, so kann die Szene mit der Taste **a** neu zentriert werden. Als nächstes wird der Button **Set Reconstruction Region** über den kleinen Pfeil rechts davon aufgeklappt und **Set Region Automatically** ausgewählt. An dieser Stelle ist nun der zu rekonstruierende Bereich zu definieren, indem durch das ziehen der roten, grünen und blauen Punkten die Größe der Box angepasst wird. Falls nötig, kann die Kamera mit der rechten Maustaste um den Pivot rotiert werden. Der Bereich muss dabei die als Punktwolke dargestellte Person vollständig umhüllen (Abbildung 5.7 rechts).



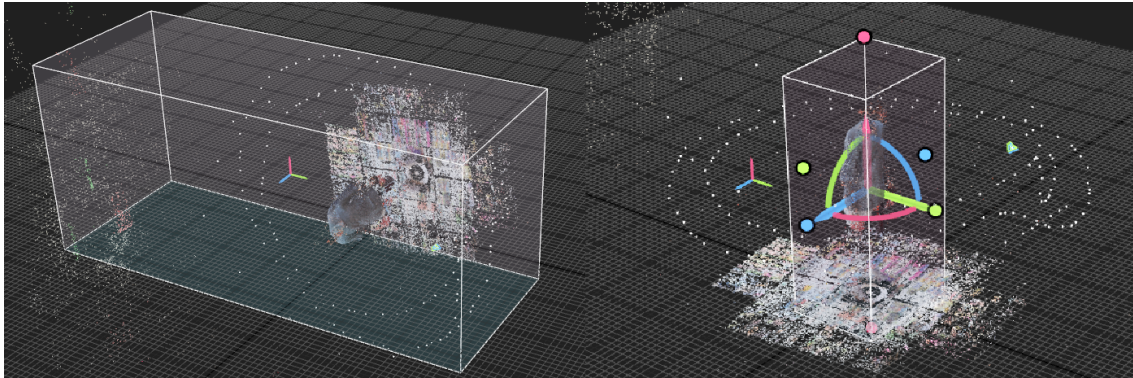


Abbildung 5.7: Schiefe Punktwolke und definierter Bereich

Das Mesh kann unter dem Menü **Workflow** mit **Calculate Model** erstellt und mit **Texture** texturiert werden. Der Export als **.obj**-Datei in den entsprechenden Ordner (RealityCapture) erfolgt unter dem Menü **RECONSTRUCTION** mit dem Button **Mesh**. Das ganze Projekt kann jetzt im Ordner RealityCapture gespeichert und das exportierte Mesh in ZBrush importiert werden.

## 5.5 ZBrush

Zuerst wird das Drop Down Menü mit der Komma-Taste geschlossen, um mehr von der Arbeitsfläche zu sehen. Es ist empfohlen unter dem Menü **Material** das große Material-Icon anzuklicken und **Flat Color** auszuwählen, um die Farben unverändert anzuzeigen.

Der Import in ZBrush erfolgt dann unter dem Menü **Tool** über den Button **Import**. Das Modell wird durch Klicken und Ziehen auf der Arbeitsfläche abgelegt. Um dieses bearbeiten zu können, muss mit der Taste **t** in den **Edit mode** gewechselt werden. Falls versehentlich mehrere Modelle auf der Arbeitsfläche aufgezo-gen wurden, können diese mit **Strg+n** entfernt und ein neues Modell aufgezo-gen werden. Es ist hilfreich unter **Tool**, **Display Properties**, **Double** zu aktivieren, um Polygone von beiden Seiten zu sehen, da diese in ZBrush grundsätzlich von der Rückseite nicht sichtbar sind.

Um den Workflow übersichtlich zu halten, werden im Folgenden die Navigation und Arbeitsschritte aufgelistet:

## Navigation

- Rechts-klick+ziehen: um den auf dem Mesh zuletzt angeklickten Punkt rotieren
- Alt+Rechts-klick: freies Bewegen der Kamera auf vertikaler und horizontaler Ebene
- Strg+Rechts-klick+ziehen: Zoom
- Scrollen in Menüs: leere Fläche anklicken und ziehen

## Arbeitsschritte

- Strg+Shift halten, SelectRect anklicken und SelectLasso auswählen
- mit Strg+Shift+Alt alle als überflüssig empfundenen Polygone isolieren



Abbildung 5.8: Isolieren überflüssiger Polygone

- diese unter Tool, Geometry, Modify Topology mit Del Hidden löschen
- offene Stellen am Mesh z.B. an den Sohlen sind mit Tool, Geometry, Modify Topology, Close Hole zu schließen
- unter Tool, Subtool das Modell mit Duplicate duplizieren, um das Original im Verlauf des Workflows bei der Projektion als Bezugsobjekt zu verwenden

- während das Duplikat unter Tool, Subtool ausgewählt ist, unter Tool, Geometry, ZRemesher den Target Polygons Count auf die gewünschte Anzahl an Polygonen setzen (hier 2-3), mit Enter bestätigen und auf den Button ZRemesher klicken
- das neue Modell liegt nun genau unter dem Original und wird mit Shift+f (Wireframe) und Transform, Solo besser sichtbar
- unter Zplugin, UV Master, Symmetry deaktivieren und auf Unwrap klicken, um das Modell automatisch zu erstellen und aufzufalten
- die UVs können im UV Master zur Überprüfung mit Flatten und UnFlatten ein- und ausgeblendet werden

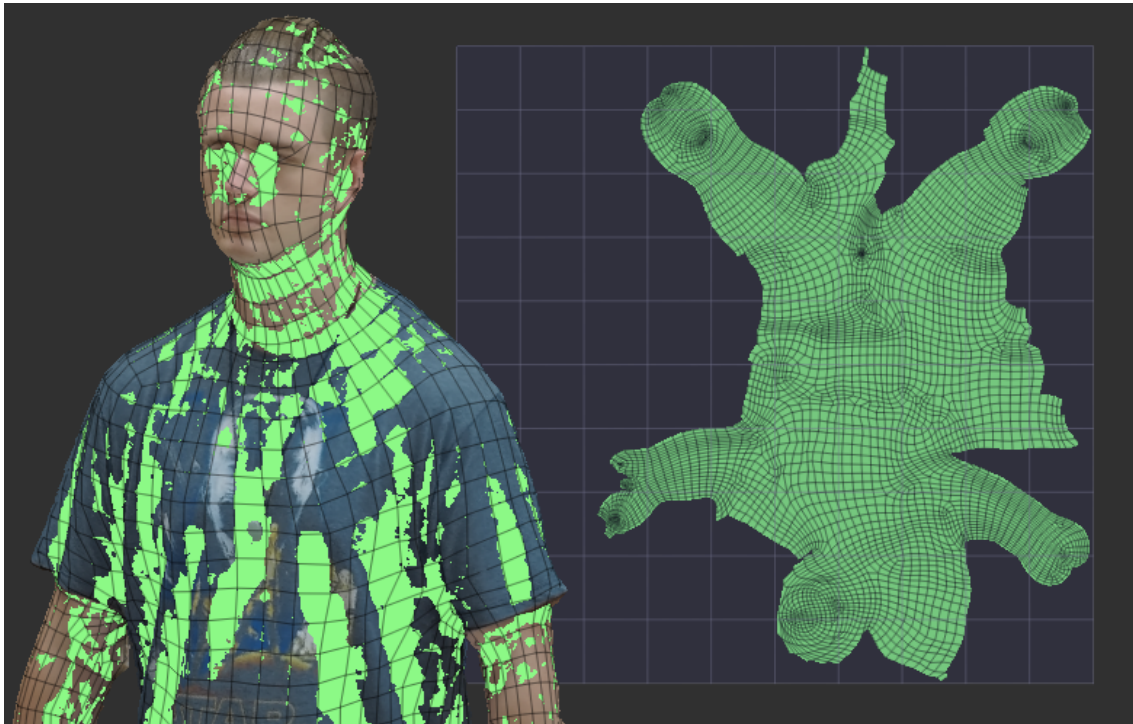


Abbildung 5.9: Wireframe und UVs

- unter Tool, Subtool, Project den Regler PA Blur auf 0 setzen, auf ProjectAll klicken und bestätigen
- Strg+d drücken, um das Mesh zu unterteilen und oberen Schritt wiederholen, bis das Duplikat mehr Polygone besitzt als das Original

- die Anzahl der Polygone des entsprechenden Modells wird unter **Subtool** eingeblendet, wenn die Maus sich darüber befinden
- unter **Tool**, **Texture Map**, **Create** mit dem Button **New From Polypaint** die neue Textur zu erstellen
- unter **Tool**, **Geometry** den Regler **sDiv** auf die niedrigste Stufe ziehen
- das Modell kann nun unter **Tool** mit **Export** als **.obj**-Datei in den Ordner ZBrush exportiert und gespeichert werden

## 5.6 Maya

Bevor das mit ZBrush reduzierte Mesh zur automatischen Animation auf Mixamo hochgeladen wird, ist es notwendig, das Modell so auszurichten, dass es gerade und nicht diagonal blickt. Dabei kann Maya oder eine andere 3D-Software verwendet werden. Zuerst wird das Mesh über **File**, **Import...** importiert und ausgewählt. Sollte dieses nicht sichtbar sein, ist mit der Taste **a** die Szene neu zu zentrieren. Die Taste **e** aktiviert das **Rotate Tool**. Das Mesh ist nun so auszurichten, dass es möglichst zentriert auf dem Grid steht und gerade in Richtung **x**, **y** oder **z** blickt. Die Kamera lässt sich mit **Alt+Linksklick+ziehen** rotieren und die Anzeige der Achsen am unteren linken Rand des Viewports kann bei der Ausrichtung helfen. Bei der Ausrichtung des Meshes ist es nicht erforderlich exakt zu arbeiten, da das Modell ohnehin nicht symmetrisch ist. Über **File**, **Export All...** kann es dann als **.obj**-Datei in den Ordner Maya exportiert werden.

## 5.7 Mixamo

Nach dem Hochladen des Meshes aus dem Ordner Maya auf mixamo.com sind zwei Schritte zu erledigen: Falls es falsch rotiert ist, wird es so ausgerichtet, dass es nach vorne zeigt und auf **Next** geklickt. Im nächsten Schritt sind die Gelenke an der entsprechenden Stelle auf dem Mesh zu platzieren (Abbildung 5.10). Dabei ist die Verwendung der Symmetrie nicht zwangsläufig erforderlich. Alle weiteren notwendigen Schritte für die Animation erfolgen nun automatisch. Nach dem betätigen des Buttons **Next** können aus einer Bibliothek verschiedene Animationen

zur Verwendung auf dem eigenen Mesh ausgewählt werden. Diese stehen dann zum Download verfügbar.

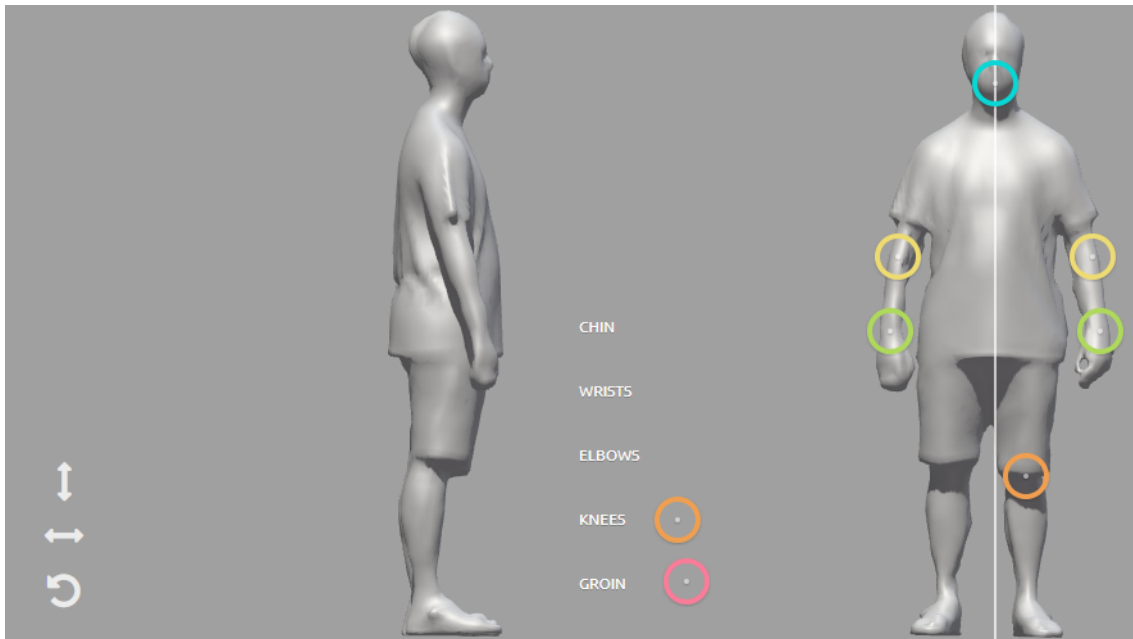


Abbildung 5.10: Ausrichtung und grobe Positionierung der Joints in Mixamo

Um die Animation mit Textur zu sehen, muss die heruntergeladene Datei in Maya importiert werden, um dort die entsprechende Textur zuweisen zu können. Dafür sind folgende Schritte in Maya auszuführen:

- Mesh mit Linksklick auswählen, Linksklick halten und über **Material Attributes...** loslassen
- das karierte Kästchen hinter **Color** anklicken und **File** auswählen
- auf das Icon hinter **Image Name** klicken, die Textur aus dem Ordner ZBrush auswählen und öffnen
- zum Anzeigen der Textur den karierten Ball (Abbildung 5.11) anklicken
- da die Textur aufgrund der Beleuchtung in Maya etwas dunkler ausfällt, kann für die Vorschau unter **Material Attributes...** der Regler **Ambient Color** auf das Maximum eingestellt werden

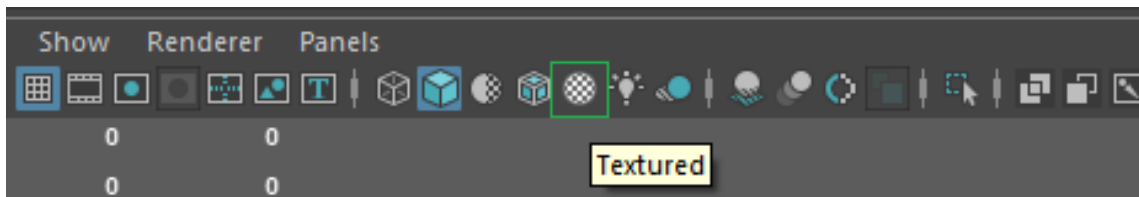


Abbildung 5.11: Textur anzeigen

Sollten die einzelnen Kanten des Meshes sichtbar sein, so ist das Mesh anzuwählen und unter dem Menü **Mesh Display** die Funktion **Soften Edge** anzuklicken. Der **Play Button** am unteren rechten Rand spielt die Animation ab. Wird diese in einer falschen Geschwindigkeit abgespielt, so ist unter **Animation preferences** die Wiedergabegeschwindigkeit anzupassen (Abbildung 5.12 rot).

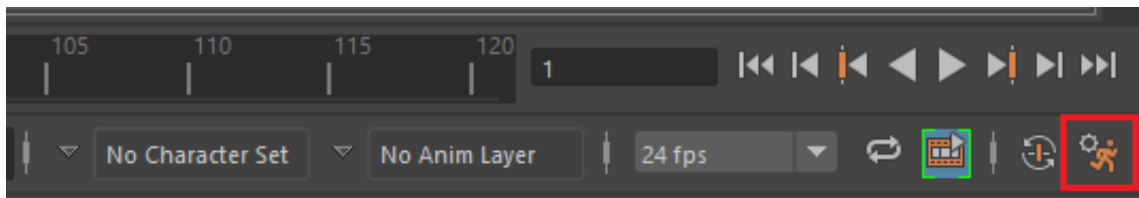


Abbildung 5.12: Wiedergabe und Einstellungen

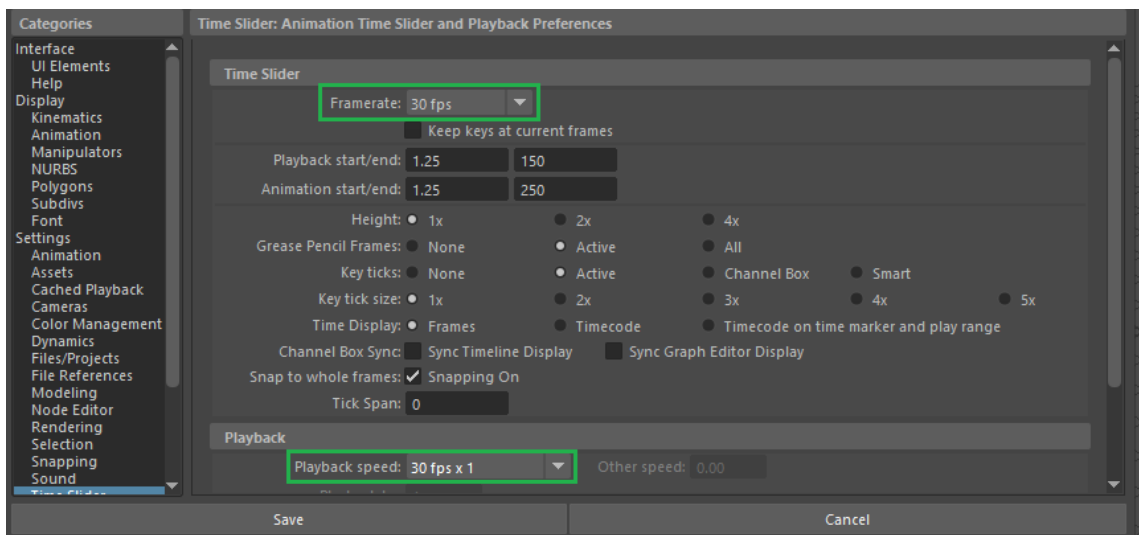


Abbildung 5.13: Animation preferences



## 6 Evaluation

Um herauszufinden, ob der Workflow verwendbar ist, wurde dieser zur Ausführung an Studenten weitergegeben, die nur 1-2 Semester Erfahrung im Bereich 3D Modellierung haben. Diese konnten den Workflow nach ca. 2-3 Stunden erfolgreich abschließen und folgendes Modell (Abbildung 6.1) erstellen.

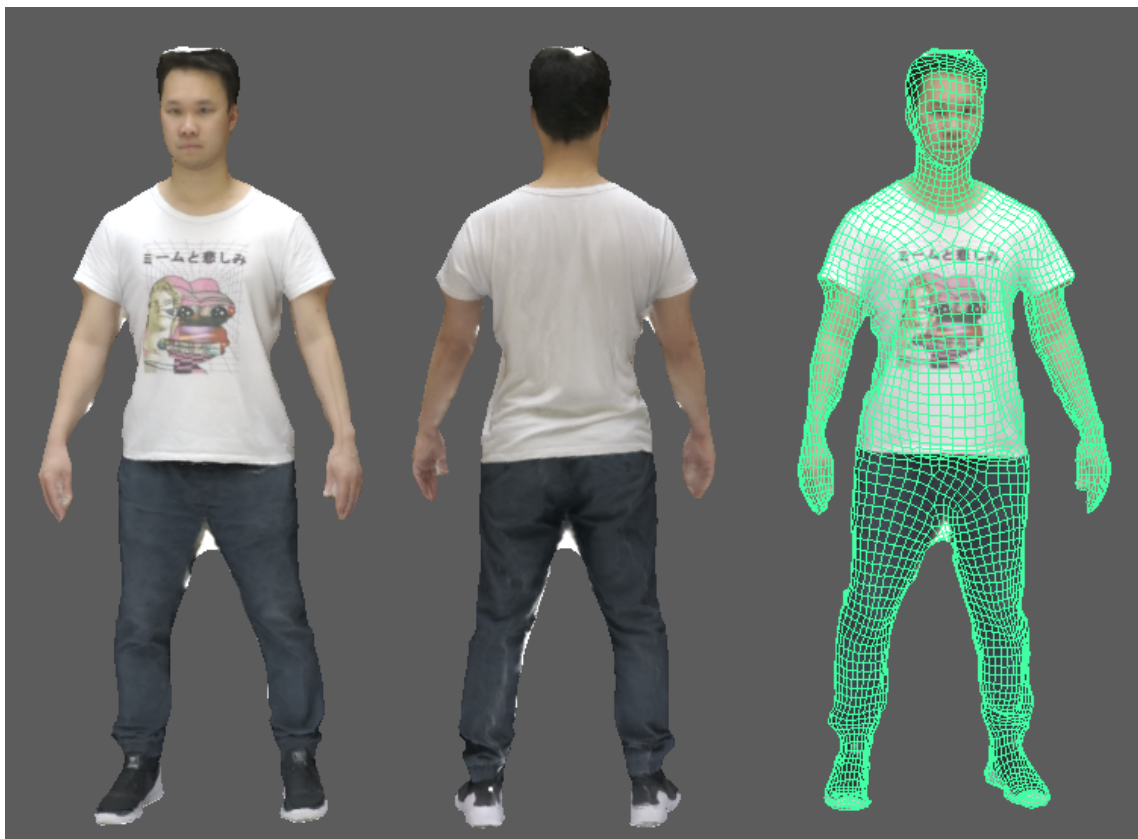


Abbildung 6.1: Ergebnis des Workflows



Folgende Probleme sind während sowohl der Ausführung als auch bei der Befragung zweier Studenten aufgetreten und wurden umgehend nach Abschluss der Durchführung im Workflow angepasst:

- Einige Beschreibungen zur Navigation im GoPro-Menü sind unpräzise
- Benennung in der Ordnerstruktur wurde nicht verstanden
- Positionierung der Kamera am Stativ und während der Aufnahme unklar
- USB-Schnittstelle an der Kamera wurde nicht gefunden
- Übertragung der Videos auf den Laptop in bestimmte Ordner nicht genannt
- Betätigen bestimmter Buttons in RealityCapture unverständlich formuliert
- fehlende Maßnahmen bei fehlgeschlagener Rekonstruktion fehlt
- Formulierung zur Rotation des Meshes unklar
- gewisse Menüs in ZBrush tauchen nur unter bestimmten Bedingungen auf
- Eingabe von Zahlen in ZBrush müssen mit Enter bestätigt werden
- Navigation von Menüs in ZBrush ist nicht erklärt
- Export-Format wurde nur ein einziges Mal bei RealityCapture definiert
- Umstellung zum Low Poly vor dem Export in ZBrush wurden nicht genannt
- Mögliche Lösungsvorschläge waren für bestimmte Probleme nicht vorhanden

Das Ergebnis ist ein erkennbares Modell, das noch sichtbare Texturfehler aufweist. Dies liegt daran, dass es keine Maßnahmen zur manuellen Korrektur im Workflow gibt und es bessere Methoden zur Erstellung der Textur gibt. Dadurch wäre der Workflow jedoch umständlicher und vor allem umfangreicher geworden. Dank der neuen UVs des retopologisierten Modells ist die Bearbeitung der Textur jedoch einfacher, da die fehlerhaften Stellen sofort erkennbar sind (Abbildung 6.2).



Abbildung 6.2: Textur aus RealityCapture und ZBrush

Aus der Nähe betrachtet, zeigt sich, dass die Textur des Gesichts verschwommen ist. Der Grund dafür ist vermutlich die stehende Person, da sie nicht komplett stillgestanden hat, und die Person, die das Video aufgenommen hat, da sie möglicherweise keine ruhige Hand bei der Aufnahme hatte. Diese menschlichen Fehler sind in diesem Workflow aufgrund der längeren Aufnahmedauer unvermeidbar.

Der Fehler am Kopf ist auf die niedrige Positionierung der Kamera zum Zeitpunkt der Aufnahme zurückzuführen. Dies kann durch einfaches Anheben des Stativs oder die Verwendung einer längeren Schiene verhindert werden.

Des Weiteren gibt es wegen der automatischen Retopologisierung überflüssige Edges, die manuell entfernt werden könnten, um den Polycount weiter zu reduzieren.

Der rechte Arm des Modells ist an den Achseln noch teilweise mit dem Körper verschmolzen, obwohl bereits Socken als Gegenmaßnahme unter die Arme geklemmt wurden, um die Distanz zwischen Arme und Körper zu erhöhen. Für zukünftige Aufnahmen muss diese noch weiter vergrößert werden.

Die Finger sind aufgrund der Positionierung zum Zeitpunkt der Aufnahme keine einzelne Finger, sondern ein verschmolzenes Mesh. Dieses Problem ist bei der Aufnahmemethode im Workflow nur schwer zu vermeiden, da die Kameras bei der Aufnahme einen festen Winkel haben und das Stillhalten der Finger schwerfallen

kann. An dieser Stelle empfiehlt es sich in ZBrush einen komplett neuen Arm zu erstellen und den alten zu ersetzen.

Die automatische Animation funktioniert größtenteils gut, stellt die animierte Person aber oft falsch dar, wenn expressive Verformungen auftreten. Dieses Problem kann durch eine manuelle Korrektur gelöst werden, indem mit Maya das Weight Painting angepasst wird.

Die Anforderungen des Workflows wurden wie folgt erfüllt:

/ **FA1** / - Durch die Extraktion aus Videos können erstens Bilder erfasst und zweitens die Aufnahmezeit minimiert werden.

/ **FA2** / - Der Workflow beinhaltet eine Reihe an Lösungsvorschlägen für verschiedene, mögliche Probleme.

/ **FA3** / - ZBrush ermöglicht mit ZRemesher und UV Master das Optimieren des Polycounts, der Topologie und der UVs.

/ **FA4** / - Für die manuelle Animation ist eine Referenz gegeben und für die automatische Animation sind Alternativen genannt.

/ **FA5** / - Die Animation wurde in einer leeren Szene in Unity ohne Probleme abgespielt. Weitere Vergleiche wurde noch nicht durchgeführt.

/ **NFA1** / - Damit der Workflow übersichtlich bleibt, sind komplizierte Prozesse als Liste dargestellt, um diese einzeln nacheinander abarbeiten zu können.

/ **NFA2** / - Mögliche Erweiterungen sind nicht direkt im Workflow genannt, jedoch werden sie in Kapitel 7 behandelt.

/ **NFA3** / - Es sind verschiedene Alternativen für die verwendeten Softwares im Workflow gegeben.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Workflow zweckmäßig funktioniert und für bessere Ergebnisse anpassbar ist. Im Vergleich zu einem teuren, professionellen Setup wird die Qualität hier nie auf dem gleichen Niveau liegen. Jedoch wurde gezeigt, dass ein solches nicht notwendig ist, um einen Menschen als 3D-Modell zu rekonstruieren, wenn auch mit Einbußen in der Qualität.

Um zukünftig bessere Ergebnisse zu erzielen, ist es allerdings möglich weitere Zwischenschritte zum Workflow hinzuzufügen oder anderes Equipment zu verwenden. Folgende Beispiele sind optional und tragen zur Qualität des Modells bei, erhöhen allerdings auch gleichzeitig die Kosten und den Aufwand:

### Equipment

- bessere Kameras mit Autofokus statt Action-Kameras
- Verwendung eines Schwebestativs statt einer von Hand gehaltenen Schiene
- menschliche Ausführung der Aufnahme durch mechanische ersetzen
- Beleuchtung und Isolation der Person mit Softboxen und Greenscreens
- Exoskelett oder Gürtel unter den Klamotten zum Anheben der Arme statt Socken

### Zwischenschritte

- manuelle Retopologisierung
- manuell UVs erstellen
- fehlerhafte Geometrie oder Textur direkt in ZBrush korrigieren
- anderes Verfahren, um Farbinformationen zu übertragen
- manuell das Rig erstellen und Weight Painting durchführen



## Literaturverzeichnis

- [3Df19] 3Dflow: *3DF Zephyr*, 2019, zuletzt besucht am 10.06.2019.  
URL <https://www.3dflow.net/>
- [Ado08] Adobe: *Mixamo*, 2008, zuletzt besucht am 15.08.2019.  
URL <https://www.mixamo.com/#/>
- [Agi19] Agisoft: *Metashape*, 2019, zuletzt besucht am 10.06.2019.  
URL <https://www.agisoft.com/>
- [Ali19] AliceVision: *Meshroom: A 3D reconstruction software.*, 2019, zuletzt besucht am 10.06.2019.  
URL <https://github.com/alicevision/meshroom>
- [Aut19] Autodesk: *Maya 2019*, 2019, zuletzt besucht am 6.08.2019.  
URL <https://www.autodesk.de/products/maya/overview>
- [Deb99] Paul Debevec: *Manex shines in "The Matrix"*, <http://www.pauldebevec.com/Items/SoftImage1999/>, Aug. 1999, zuletzt besucht am 10.06.2019.
- [DIC15] DICE: *How we used Photogrammetry to Capture Every Last Detail for Star Wars™ Battlefront™*, <http://starwars.ea.com/starwars/battlefront/news/how-we-used-photogrammetry>, Mai 2015, zuletzt besucht am 10.06.2019.
- [Eff] Pixel Light Effects: <https://pixellighteffects.com/>, zuletzt besucht am 10.06.2019.
- [fPS] American Society for Photogrammetry und Remote Sensing: <https://www.asprs.org/>, zuletzt besucht am 21.06.2019.
- [GoP16] GoPro: *HERO5 Black*, 2016, zuletzt besucht am 26.07.2019.  
URL <https://gopro.com/de/de/yourhero5/black>

- [HB16] Andrew Hamilton und Ken Brown: *Photogrammetry and Star Wars Battlefront*, <https://www.ea.com/frostbite/news/photogrammetry-and-star-wars-battlefront>, 2016, zuletzt besucht am 10.06.2019.
- [HE] Human-Engine: <https://www.human-engine.com/>, zuletzt besucht am 10.06.2019.
- [Hei17] Elisabet Heikkilä: *A Guide to Building a 3D Game Character*, 2017, zuletzt besucht am 8.08.2019.  
URL [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/133905/Heikkila\\_Elisabet.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/133905/Heikkila_Elisabet.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [Kny10] KL Knyaz: *Multi-media projector–single camera photogrammetric system for fast 3D reconstruction*, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Bd. 38(Part 5):S. 343–348, 2010.  
URL [https://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/3b\\_pdf/16.pdf](https://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/3b_pdf/16.pdf)
- [Kra04] K. Kraus: *Photogrammetrie*, Nr. Bd. 1 in De Gruyter Lehrbuch, De Gruyter, 2004, ISBN 9783110177084.  
URL <https://books.google.de/books?id=L5QcP5QkUm4C>
- [Luh06] T. Luhmann: *Close Range Photogrammetry: Principles, Techniques and Applications*, Whittles, 2006.
- [Mic19] Microsoft: *Best practices for converting and optimizing real-time 3D models*, <https://docs.microsoft.com/en-us/dynamics365/mixed-reality/import-tool/best-practices>, 2019, zuletzt besucht am 4.08.2019.
- [Mä18] Måns Mäkinen: *Optimizing topology for a game Character*, 2018, zuletzt besucht am 8.08.2019.  
URL <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1218697/FULLTEXT01.pdf>
- [O’H13] T. O’Hailey: *Rig it Right!: Maya Animation Rigging Concepts*, Focal Press, 2013, ISBN 3257227892.

- [pi319] pi3dscan: *Info*, 2019, zuletzt besucht am 20.07.2019.  
URL <http://www.pi3dscan.com/index.php/instructions>
- [Pix19] Pixologic: *ZBrush 2019*, 2019, zuletzt besucht am 6.08.2019.  
URL <http://pixologic.com/>
- [pro16] prophotostudio: *Tips to help you Through a DIY Ecommerce Photography Project*, 2016, zuletzt besucht am 16.08.2019.  
URL <https://www.prophotostudio.net/2016/10/17/tips-to-help-you-through-a-diy-ecommerce-photography-project/>
- [Ram12] AL-Ruzouq Rami: *Photogrammetry for Archaeological Documentation and Cultural Heritage Conservation*, in *Special Applications of Photogrammetry*, IntechOpen, 2012.
- [RD19] Ivan Reljic und Ivan Dunder: *Application of Photogrammetry in 3D Scanning of Physical Objects*, *TEM*, Bd. 8(1):S. 96–97, Febr. 2019, zuletzt besucht am 19.06.2019.  
URL [http://www.temjournal.com/content/81/TEMJournalFebruary2019\\_94\\_101.pdf](http://www.temjournal.com/content/81/TEMJournalFebruary2019_94_101.pdf)
- [Rea19] Capturing Reality: *RealityCapture*, 2019, zuletzt besucht am 10.06.2019.  
URL <https://www.capturingreality.com/>
- [Son18] Sony: *Xperia XZ2 Compact*, 2018, zuletzt besucht am 26.07.2019.  
URL <https://www.sonymobile.com/de/products/phones/xperia-xz2-compact/>





# Anhang



## **Vorbereitung**

*Gab es während der Vorbereitung Probleme? Wenn ja, welche genau?*

---

*Wie hätten diese vermieden werden können?*

---

## **Ausführung**

*Gab es während der Ausführung Probleme? Wenn ja, welche genau?*

---

*Wie hätten diese vermieden werden können?*

---

## **Ordnerstruktur**

*Gab es bei der Erstellung der Ordnerstruktur Probleme? Wenn ja, welche genau?*

---

*Wie hätten diese vermieden werden können?*

---

## **RealityCapture**

*Gab es während der Bedienung von RealityCapture Probleme? Wenn ja, welche genau?*

---

*Wie hätten diese vermieden werden können?*

---

## **ZBrush**

*Gab es während der Bedienung von ZBrush Probleme? Wenn ja, welche genau?*

---

*Wie hätten diese vermieden werden können?*

---

## **Maya**

*Gab es während der Bedienung von Maya Probleme? Wenn ja, welche genau?*

---

*Wie hätten diese vermieden werden können?*

---

## **Mixamo**

*Gab es während der Bedienung von Mixamo Probleme? Wenn ja, welche genau?*

---

*Wie hätten diese vermieden werden können?*

---

## **Allgemein**

*Gibt es generelle Probleme, die noch nicht genannt wurden? Wenn ja, welche genau?*

---

*Wie hätten diese vermieden werden können?*

---

---



Abbildung A1: Animation: Stand Up



Abbildung A2: Animation: Breakdance Freeze Var 3

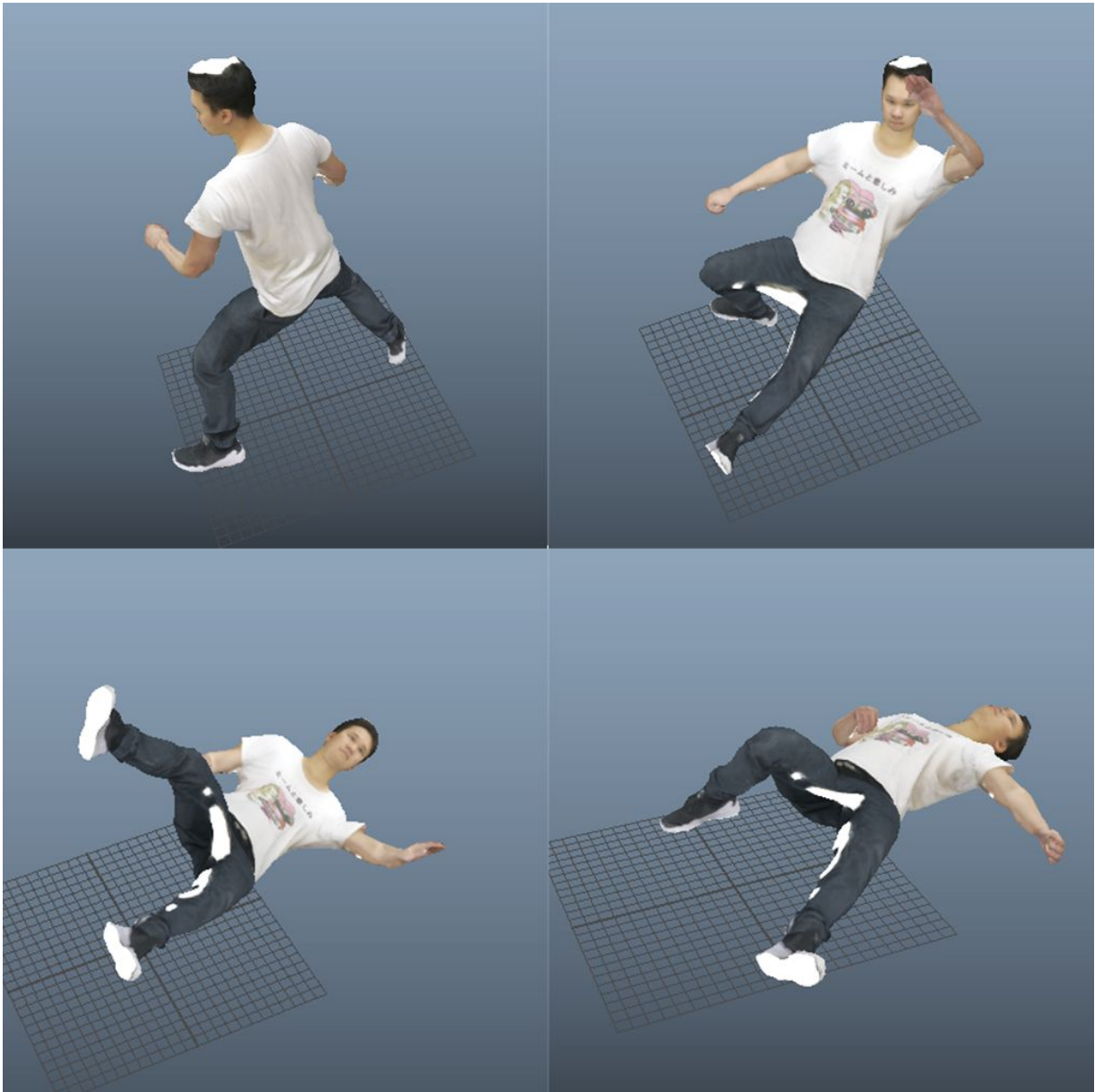


Abbildung A3: Animation: Falling Back Death





# Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt, nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Sämtliche wissentlich verwendete Textausschnitte, Zitate oder Inhalte anderer Verfasser wurden ausdrücklich als solche gekennzeichnet.

Mittweida, den 22. August 2019

---

Micky Tuan An Ngyuen