

Evaluation von 3D-Fell-Visualisierungen für fotorealistische Renderings

Studiengang Medieninformatik

Bachelorarbeit

vorgelegt von

Pascal Leinberger

geb. in Ehringshausen

Referent der Arbeit: Prof. Dr. Cornelius Malerczyk
Korreferent der Arbeit: M.Sc. Natalie Göpfert

Berlin, 2017

“Not everyone can become a great artist, but a great artist can come from anywhere.” –Ratatouille

Für meine Familie

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denen bedanken, die einen Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit geleistet haben. Leider kann ich nicht jeden namentlich nennen.

Zunächst möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir während meiner ganzen Studienzeit immer wieder Mut zugesprochen haben, und mich unterstützt haben wann immer sie konnten.

Ein besonderer Dank geht an Prof. Dr. Cornelius Malerczyk, der nicht nur diese Arbeit betreut hat, sondern auch meine Leidenschaft an der 3D-Computergrafik geweckt hat. Gleichmaßen geht dieser Dank auch an das komplette Team des GDV-Lab, insbesondere an Natalie Göpfert, dafür, dass sie mir die Möglichkeit gegeben hat, diese Arbeit als Teil ihres Forschungsprojektes zu schreiben.

Außerdem möchte ich mich bei Markus Failing bedanken, der mir für die gesamte Zeit meines Studiums ein Chef und nicht zuletzt auch ein guter Freund und Mentor war.

Zum Schluss, aber nicht zuletzt, möchte ich Jennifer Herold danken, dafür dass sie sich ohne Weiteres bereiterklärt hat, diese Arbeit Korrektur zu lesen.

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich die eingereichte Bachelorarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Berlin, Februar 2017

Pascal Leinberger

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	i
Selbstständigkeitserklärung	iii
Inhaltsverzeichnis	v
Abbildungsverzeichnis	ix
Tabellenverzeichnis	xi
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Problemstellung	5
1.3 Zielsetzung	6
1.4 Aufbau der Arbeit	7
1.5 Zusammenfassung	7
2 Stand der Technik	9
2.1 Einleitung	9
2.2 Realismus nach Ferwerda	9
2.3 Haar Illumination	10
2.3.1 Kajiya-Kay Modell	10
2.3.2 Marschner Modell	10
2.4 Polygonal Hair Model	13
2.5 Particle Hair Model	14
3 Grundlagen	17
3.1 Einleitung	17
3.2 Beschaffenheit eines Haares	17
3.3 Beschaffenheit von Fell	18
3.4 Aufbau des Muskelsystems einer Großkatze	19
3.5 Erstellen eines Fells mit xGen	21
3.5.1 Verteilen von Haaren auf der Oberfläche	21
3.5.2 Virtuelles Schneiden von Haaren	22

3.5.3	Combing	24
3.5.4	Färben der Haare	24
3.6	Erstellen eines Muskelsystems mit <i>Maya Muscle</i>	28
3.6.1	Erstellen von Joints	28
3.6.2	Erstellen von Capsules	30
3.6.3	Platzieren der Muskel	31
3.6.4	Skinning	33
4	Analyse von Still Fell-Renderings ohne Muskelsystem	37
4.1	Einleitung	37
4.2	Exemplarische Implementierung einer Großkatzen-Szene ohne Muskelsystem	37
4.2.1	Modell und Szenenaufbau	37
4.2.2	Das Fell	38
4.2.3	VRayHair3Mtl	39
4.2.4	VRay Mtl	40
4.2.5	Renderparameter	40
4.3	Ergebnis	41
5	Erstellung des Prototypen in Form einer Großkatzenszene mit Muskelsystem	45
5.1	Einleitung	45
5.2	Exemplarische Implementierung einer Großkatzen-Szene mit Muskelsystem	45
5.2.1	Modell und Szenenaufbau	45
5.2.2	Das Muskelsystem	46
5.2.3	Das Fell	47
5.3	Ergebnis	47
6	Analyse und Vergleich der messbaren Parameter der erstellten Prototypen	51
6.1	Einleitung	51
6.2	Gegenüberstellung der Prototypen	52
6.3	Renderzeiten	54
7	Evaluation	57
7.1	Einleitung	57
7.2	Ermitteln der zu evaluierenden Parameter	57
7.3	Konzept	57
7.4	Statistische Auswertung	61
7.4.1	Auswertung der Demographischen Fragen	61
7.4.2	Auswertung der Bewertungsskalen	63
7.4.3	Auswertung der Fake oder Foto-Tests	66
7.5	Zusammenfassung und Interpretation	70
8	Zusammenfassung und Ausblick	73
8.1	Zusammenfassung	73
8.2	Ausblick	74

Glossar	76
Literaturverzeichnis	77

Abbildungsverzeichnis

1.1	Star Wars: Episode IV Visual Effects	2
1.2	Fremder Planet aus dem Film Avatar	2
1.3	Shir Khan	3
1.4	Andy Serkis in seiner Rolle als Cesar im Planet der Affen	4
1.5	Ohr und Weintrauben Subsurface Scattering	5
1.6	Muskeln auf einem Oberarm	6
2.1	Darstellung der Streukomponenten des Marschner-Modells	11
2.2	Polygonal Hair model	14
2.3	Alpha-Map von Haaren	15
3.1	Haar Querschnitt	18
3.2	Aufbau von Fell	19
3.3	Aufbau Muskeln Brust, Schulter und Rücken	20
3.4	Aufbau Muskeln Unterarm	20
3.5	Aufbau Muskeln Hinterbein	21
3.6	Erstellen einer XGen-Description	22
3.7	XGen Description Einstellungen	23
3.8	XGen Length-Tool Einstellungen	24
3.9	XGen Grooming Tools	25
3.10	XGen Primitives	26
3.11	XGen Color Maps	27
3.12	Shader Template XGen Modifier	27
3.13	Shader Template V-Ray Shader	28
3.14	Erstellen von Joints	29
3.15	Gebeugter Arm ohne Muskeln	30
3.16	Capsules eines menschlichen Arms	31
3.17	Muscle Creator Fenster	32
3.18	Muskeln eines menschlichen Arms	33
3.19	Weightpainting von Joints und Muskeln	34
3.20	Gebeugter Arm mit Muskeln	35
3.21	Vergleichsbild Arm mit und ohne Muskel	35
4.1	Das Rig des Leopardmodells	38

4.2	Referenz Bilder für Leoparden Fell	39
4.3	VRay Hair Shader für die Haupthaare des Modells	40
4.4	VRayMtl Shader für die Haupthaare des Modells	41
4.5	Prototyp1 Ergebnis ohne Noise Modifier	42
4.6	Prototyp1 Ergebnis ohne Clumping Modifier	42
4.7	Prototyp1 Ergebnis mit VRayMtl	43
4.8	Prototyp1 Ergebnis mit VRayHair3Mtl	43
5.1	Muskeln des zweiten Prototypen	46
5.2	Prototyp2 Ergebnis ohne Noise Modifier	47
5.3	Prototyp2 Ergebnis ohne Clumping Modifier	48
5.4	Prototyp2 Ergebnis mit VRayMtl	48
5.5	Prototyp2 Ergebnis mit VRayHair3Mtl	49
6.1	Gegenüberstellung VRayHair3Mtl	52
6.2	Gegenüberstellung VRayMtl	52
6.3	Gegenüberstellung Ohne Noise	53
6.4	Gegenüberstellung Ohne Clumping	53
6.5	Komplettes Modell mit Fell	56
7.1	Demographische Fragen der Evaluation	58
7.2	Foto oder Computergeneriert-Test	59
7.3	Vergleichstest der Parameter	60
7.4	Realismusskala	61
7.5	Diagramm Geschlecht	62
7.6	Diagramm Alter	62
7.7	Diagramm Vorkenntnisse	62
7.8	Diagramm Bewertungsskala VRayHair3Mtl mit Muskeln	63
7.9	Diagramm Bewertungsskala VRayMtl mit Muskeln	63
7.10	Diagramm Bewertungsskala VRayHair3Mtl ohne Muskeln	64
7.11	Diagramm Bewertungsskala VRayMtl ohne Muskeln	65
7.12	Diagramm Fake oder Foto-Test 1	66
7.13	Diagramm Fake oder Foto-Test 2	67
7.14	Caesar und Fuchur im Vergleich	71

Tabellenverzeichnis

2.1	Parameter des Marschner Modells	13
6.1	Übersicht der Renderzeiten	54
7.1	Wilcoxon Vorzeichen Test zwischen den Shadern mit Muskelsystem.	64
7.2	Wilcoxon Vorzeichen Test zwischen den V-RayHair3Mt1 Bildern mit und ohne Muskelsystem.	64
7.3	Wilcoxon Vorzeichen Test zwischen den Shadern ohne Muskelsystem	65
7.4	Deskriptive Statistik	65
7.5	Chi-Quadrat-Test Einfluss von Vorkenntnisse auf Antwort in <i>Fake oder Foto</i> -Test 1.	66
7.6	Chi-Quadrat-Test Einfluss von Vorkenntnisse auf Antwort in <i>Fake oder Foto</i> -Test 2	67
7.7	Chi-Quadrat-Test Einfluss des Alters auf Antwort in <i>Fake oder Foto</i> -Test 1	67
7.8	Chi-Quadrat-Test Einfluss des Alters auf Antwort in <i>Fake oder Foto</i> -Test 2	67
7.9	Chi-Quadrat-Test Einfluss des Geschlechts auf Antwort in <i>Fake oder Foto</i> -Test 1	68
7.10	Chi-Quadrat-Test Einfluss des Geschlechts auf Antwort in <i>Fake oder Foto</i> -Test 2	68
7.11	Einfluss von <i>Fake oder Foto</i> -Test 1 Antwort auf Bewertungsskala 1	68
7.12	Einfluss von <i>Fake oder Foto</i> -Test 2 Antwort auf Bewertungsskala 1	68
7.13	Einfluss von <i>Fake oder Foto</i> -Test 1 Antwort auf Bewertungsskala 2	69
7.14	Einfluss von <i>Fake oder Foto</i> -Test 2 Antwort auf Bewertungsskala 2	69
7.15	Einfluss von <i>Fake oder Foto</i> -Test 1 Antwort auf Bewertungsskala 3	69
7.16	Einfluss von <i>Fake oder Foto</i> -Test 2 Antwort auf Bewertungsskala 3	69
7.17	Einfluss von <i>Fake oder Foto</i> -Test 1 Antwort auf Bewertungsskala 4	69
7.18	Einfluss von <i>Fake oder Foto</i> -Test 2 Antwort auf Bewertungsskala 4	70
7.19	Durchschnittswertungen der Bewertungsskalen aufgeteilt nach Antworten in den <i>Fake oder Foto</i> -Tests	70

Kapitel 1

Einleitung

In dieser Arbeit wird die Hypothese aufgestellt, dass ein Muskelsystem sich nicht nur für die Steigerung des Realismusgrades von Fell in Animationen eignet, sondern auch für die Verwendung bei fotorealistischen Still Renderings von Vorteil ist.

1.1 Motivation

Bilder, die am Computer generiert wurden, gehören längst zu unserem Alltag, auch wenn diese oft auf den ersten Blick nicht erkennbar sind. Seit Jahren werden CG-Elemente in Film und Werbung eingesetzt, aber auch in Bereichen wie der Medizin und des Maschinenbaus bedient man sich immer öfter der Nutzung von 3D-Simulationen. Diese 3D-Simulationen bieten die Möglichkeit komplizierte Vorgänge simpel darzustellen und zu Lehr- oder Vorstellungszwecken zu nutzen. Visualisierungen, wie beispielsweise ein sogenannter *Stand* in eine Vene gesetzt wird, wären ohne die Computergrafik kaum ohne extreme Abstraktion möglich. Einer der Vorreiter für die kommerzielle Nutzung von computergenerierten Inhalten in Filmen war *Star Wars: Episode IV - A New Hope*¹ aus dem Jahr 1977 (siehe Abbildung 1.1). Dieser gewann unter anderem den Oscar in der Kategorie "beste Visual Effects". Dank des rasanten Wachstums der Rechenleistung heutiger Computer, lassen sich, in angemessener Zeit, Bilder mit einem Fotorealismus generieren, welche selbst einem geschulten Auge Schwierigkeiten bereiten, das generierte Bild von einem realen Foto zu unterscheiden.

Der Vorteil von Computer generiertem Material in der Filmindustrie ist recht offensichtlich: Filmideen lassen sich so kostengünstig realisieren, die zuvor den preislichen Rahmen überschritten, zu gefährlich für Mensch und Tier oder schlichtweg unmöglich in der Umsetzung waren, wie beispielsweise die Darstellung von fremden Planeten im Film *Avatar*² aus dem Jahr 2009 (siehe Abbildung 1.2).

Dass es sich bei solchen Fantasy Darstellungen um 3D-Elemente handelt, liegt meist klar auf der Hand, jedoch ist ein Großteil der computergenerierten Bilder nicht offensichtlich erkennbar. Beispielsweise werden komplette Räume per Computer generiert, die der Realität stark ähneln, und als Hintergrund in die Filmszene implementiert werden.

¹<http://www.imdb.com/title/tt0076759/>

²<http://www.imdb.com/title/tt0499549/>

1. EINLEITUNG



Abbildung 1.1: Links: Ben Kenobie kämpft gegen Darth Vader. Die Lichtschwerter wurden nachträglich am Computer hinzugefügt. Rechts: Luke erhält das Lichtschwert seines Vaters. Die klingen der Lichtschwerter mussten Bild für Bild eingefügt werden. ©1977 Twentieth Century Fox Film Corporation

Quelle: Star Wars: Episode IV - A New Hope



Abbildung 1.2: Nahezu der komplette Planet *Pandora* aus dem Kinofilm *Avatar* von James Cameron ist am Computer entstanden ©2009 Twentieth Century Fox Film Corporation

Quelle: de.james-camerons-avatar.wikia.com (Wikia, Zuletzt abgerufen: 06.01.2017)



Abbildung 1.3: Computer generiertes Bild von Shir Khan aus dem Film *The Jungle Book*
©2016 Walt Disney Motion Pictures Group

Quelle: <https://goo.gl/8aMhAe> (CG Meetup, Zuletzt abgerufen: 01.12.2016)

Auch für die Darstellung von nicht menschlichen Lebewesen wird immer häufiger auf die 3D-Variante zurückgegriffen. Dies bietet einige Vorteile. Zunächst müssen unter dieser Voraussetzung keine lebenden Tiere für das Agieren vor der Kamera trainiert werden, da dies gerade bei Wildtieren wie beispielsweise Bären, Löwen und Gorillas ein erhebliches Sicherheitsrisiko für die menschliche Filmbesetzung darstellt. Des Weiteren können Animatoren digitalisierte Tiere Bewegungen vollziehen lassen, die mit realen Tieren nicht oder nur schwer umsetzbar sind. Ein gutes Beispiel bietet hier der Kinofilm *The Jungle Book*³ aus dem Jahr 2016 (siehe Abbildung 1.3), in dem die Tiere des Sprechens mächtig sind und sich deren Mäuler auch dementsprechend bewegen.

Auch die Filme *Rise of the Planet of the Apes* (2011)⁴ und *Dawn of the Planet of the Apes* (2014)⁵ sind hier als sehr positives Beispiel zu nennen, da hier mit dem sogenannten *Motion Capturing* Verfahren die Bewegungen eines Schauspielers direkt auf ein 3D-Modell übertragen wurden (siehe Abbildung 1.4).

Ein weiterer Vorteil der Computergrafik ist, dass sich so Lebewesen darstellen lassen, die in der realen Welt nicht existieren, wie z.B. die *Warge* aus den *The Lord of the Rings*⁶ und *The Hobbit*-Filmen⁷.

³<http://www.imdb.com/title/tt3040964/>

⁴<http://www.imdb.com/title/tt1318514/>

⁵<http://www.imdb.com/title/tt2103281/>

⁶<http://www.imdb.com/title/tt0120737/>

⁷<http://www.imdb.com/title/tt0903624/>

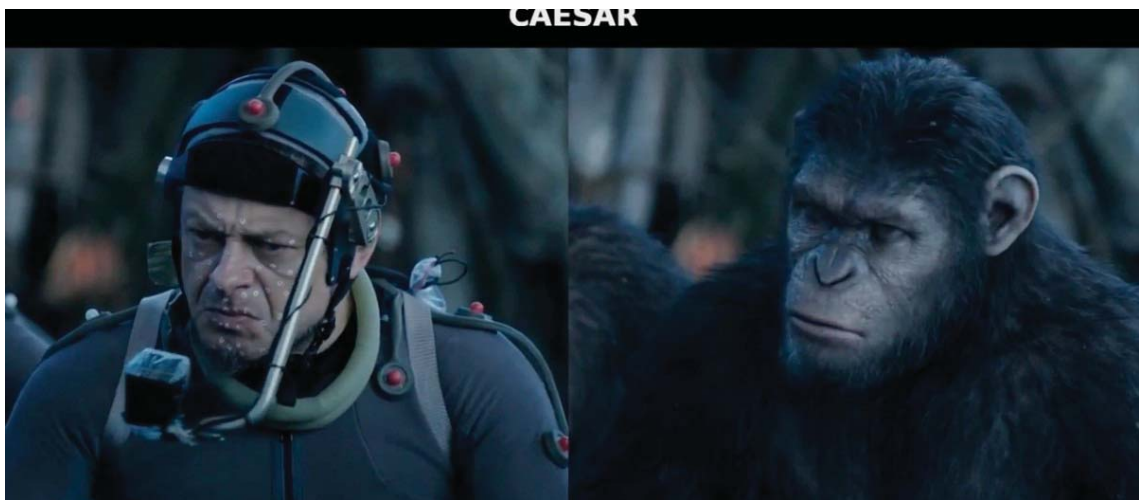


Abbildung 1.4: links: der Schauspieler Andy Serkis mit einem Motion Capture System
rechts: Der Affe Caesar, auf welchen die Bewegungen von Andy Serkis angewandt werden.

©2014 Twentieth Century Fox Film Corporation

Quelle: www.iamag.co (iamag, Zuletzt abgerufen: 21.01.2017)

Jedoch ist die Erstellung von digitalen Tieren, die dem Betrachter als plausibel erscheinen, kein trivialer Prozess. Denn um ein fotorealistisches Bild rendern zu können, bedarf es der Beachtung verschiedener Aspekte. Die Benutzung eines Fellsystems ist für die Erstellung von Tieren in den meisten Fällen nahezu unerlässlich, da es nicht unerheblich für das fotorealistische Aussehen eines gerenderten Tieres ist.

Damit ein Fell wie das eines echten Tieres aussieht, sollten nach Möglichkeit alle Eigenschaften des echten Fells übernommen oder simuliert werden. Wichtig ist es hierbei zu wissen, dass ein Haar einen Lichtstrahl nicht einfach vollkommen reflektiert, sondern der Effekt des sogenannten *Subsurface Scattering* auftritt.

Subsurface Scattering, zu deutsch Volumenstreuung, ist ein Phänomen, bei dem ein Teil der Lichtstrahlen in den beleuchteten Körper eindringen und dort gestreut werden. Nach der Streuung treten die Lichtstrahlen an unterschiedlichen Stellen aus dem Körper wieder aus. Dadurch entstehen Effekte wie das "Durchleuchten" von Ohren (siehe Abbildung 1.5) und auch die besonders weiche Reflektion wie man sie bei Haut, Marmor oder Kerzenwachs beobachten kann [JMLH01].



Abbildung 1.5: links: Durchleuchten Effekt an Katzenohr ©2014 *Digitaltutors*. rechts: Einfluss von *Subsurface Scattering* auf Weintrauben. ©2015 *Creativeshrimp*

Quelle: <https://goo.gl/XbReKV> (Digitaltutors, Zuletzt abgerufen: 01.12.2016)

Quelle: <https://goo.gl/luYEXW> (Creativeshrimp, Zuletzt abgerufen: 01.12.2016)

1.2 Problemstellung

Ein Fell am Computer zu generieren, sodass es für den Betrachter plausibel erscheint, ist kein trivialer Prozess. Große Produktionsfirmen wie *Disney Animation* geben leider kaum Auskunft über ihre Forschung und es wird der Öffentlichkeit nur selten Zugriff auf die selbst entwickelten Softwarelösungen gewährt. Daher muss zunächst eruiert werden, welche Aspekte wichtig sind, damit ein Fell realistisch wirkt. Einzugehen ist hier auf die physikalischen Werte eines Fells wie beispielsweise Dichte, Länge und Färbung, aber auch das Reflexionsverhalten, das im Kapitel 2.3 Haar Illumination näher erläutert wird.

Des Weiteren ist es für gewöhnlich nicht üblich, ein 3D-Mesh, das ausschließlich für Still-Renderings genutzt wird, mit einem Muskelsystem auszustatten. Jedoch liegt die Vermutung nahe, dass ein solches Muskelsystem auch in diesem Bereich Vorteile bietet, da sich die Haare der Oberfläche entsprechend anordnen und besonders bei stark ausgeprägten Positionen das Fell beeinflussen, auch wenn keine Bewegung vollzogen wird.

In der Filmindustrie werden Bilder so generiert, dass sie für den Betrachter möglichst gut aussehen. Auf einen physikalischen Realismus wird hier oft zu Gunsten der Renderzeiten und Kosten verzichtet. So wird in manchen Fällen beispielsweise auf kleinen, unauffälligen oder sich schnell bewegenden Körpern, auf das Subsurface Scattering verzichtet, was eine erhebliche Reduzierung der Renderzeiten bedeutet. Dies ist in dieser Branche möglich, da man viele Dinge, die ein Tier nicht real erscheinen lassen könnten, mit Animationen und Filmschnitt kaschieren kann. Jedoch hat man diese Möglichkeit nicht, wenn nur ein einzelnes Bild generiert werden soll, für beispielsweise die Darstellung in Hochglanzmagazinen. Somit ist das Erstellen von fotorealistischen Still-Bildern eine weitaus größere Herausforderung, da das Auge sehr viel mehr Zeit hat, um auf Fehler aufmerksam zu werden.

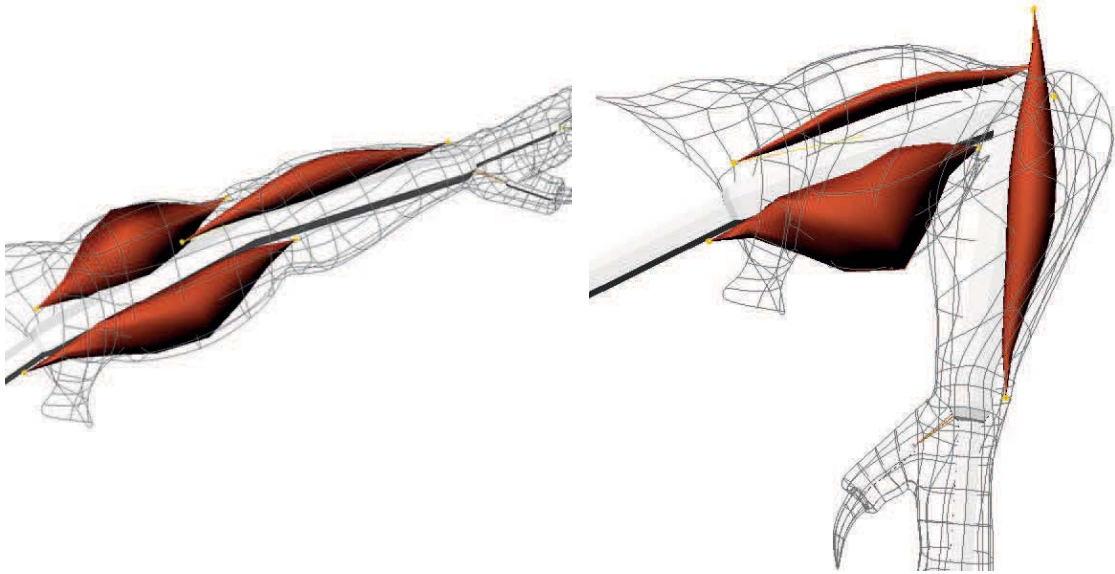


Abbildung 1.6: Muskeln auf einem Oberarm, in gestreckter und gebeugter Form.

©2014 Anders Heilmann

Quelle: <http://www.andersheilemann.com/> (Zuletzt abgerufen: 16.12.2016)

1.3 Zielsetzung

Um 3D-generierte Lebewesen dynamischer zu gestalten, wird immer häufiger auf die Benutzung eines Muskelsystems zurückgegriffen. Hierbei werden Muskeln auf einem Skelett innerhalb des virtuellen Lebewesens platziert (siehe Abbildung 1.6), die wie echte Muskeln gestreckt und gebeugt werden, wenn sich die Gelenke bewegen. Dadurch wird die Oberfläche des Körpers verformt und eine realistische Muskelbewegung simuliert.

In dieser Arbeit wird die Hypothese aufgestellt, dass sich ein Muskelsystem nicht nur positiv auf das Aussehen von Fell eines am Computer erstellten Tieres bei Animationen auswirkt, sondern auch auf das Fell bei Still Renderings, da sich durch die Muskeln die Gemoetrie des Modells selbst realistisch verformen lässt. Dazu sollen Prototypen, von Großkatzen mit und ohne Muskelsystem, erstellt und gerendert werden. Das Modell einer Großkatze wurde gewählt, da das Fell im Vergleich zu vielen anderen Tieren relativ kurz ist, und der Einfluss der darunterliegenden Muskeln besonders stark zu sehen ist. Um die Ergebnisse zu vergleichen, sollen verschiedene Posen der Großkatzen gerendert werden. Hierfür wird nur auf *Autodesk Maya* interne Plugins, wie *XGen* und *Maya Muscle* zurückgegriffen, da diese auch in der Industrie großen Anklang finden und darüber hinaus in *Maya* kostenlos zur Verfügung stehen. Als Renderer wird *VRay* von der Firma *ChaosGroup* verwendet, da *VRay* Vorteile im Bereich der physikalischen Plausibilität bietet, und einen auf dem Marschner Modell (Siehe 2.3.2) basierenden Haar Shader zu Verfügung stellt. Darüber hinaus ist *VRay* ein sehr bekannter Name in der Industrie und gewann zuletzt einen *Academy Award*. Die generierten Bilder sollen auch mit echten Fotos von Großkatzen in ähnlichen Posen verglichen werden, um den Grad des Fotorealismus zu ermitteln. Hierbei gilt es zuvor jedoch zu

ermitteln, welche Aspekte für das menschliche Auge wichtig sind, damit ein generiertes Fell auf einem Bild wirkt, als wäre es ein Foto.

1.4 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit ist in sieben Kapitel unterteilt: Im 1. Kapitel, *Einleitung*, wird auf die Hintergründe eingegangen und erklärt, warum dieses Thema von Bedeutung ist, des Weiteren wird die Problemstellung dargelegt und die gesteckten Ziele dieser Arbeit erläutert.

Kapitel 2 *Stand der Technik*, eröffnet den Blick, für den aktuellen Forschungsstand im Bereich der Darstellung von Haaren auf einem 3D-Modell und ordnet die Arbeit thematisch ein. Im 3. Kapitel *Grundlagen*, wird dem Leser notwendiges Grundwissen zum Verstehen der in Kapitel 4 und 5 gewählten Parameter vermittelt.

Die Kapitel 4 *Analyse von Still Fell-Renderings ohne Muskelsystem* und 5 *Erstellung des Prototypen in Form einer Großkatzenszene mit Muskelsystem* bilden gemeinsam die Methodik. Hier werden die beiden Prototypen entwickelt, deren Realismusgrad in Kapitel 7 *Evaluation* evaluiert und interpretiert werden, da der Einfluss eines Bildes auf einen Betrachter ein subjektiver Eindruck ist.

In Kapitel 6 *Analyse und Vergleich der messbaren Parameter der erstellten Prototypen* werden die erstellten Prototypen jedoch zunächst auf ihre objektiven und somit messbaren Werte, wie beispielsweise die Renderzeiten, untersucht. In Kapitel 8 *Zusammenfassung und Ausblick*, wird die Arbeit noch einmal zusammengefasst und ein Ausblick auf mögliche weitere Forschung in diesem Bereich gegeben.

1.5 Zusammenfassung

Diese Arbeit befasst sich mit den Eigenschaften, die ein computergeneriertes Fell in einem Still-Bild realistisch wirken lassen, und welchen Einfluss ein Muskelsystem auf diesen Realismus hat. Da es jedoch keine Aufzeichnungen darüber gibt, welche Eigenschaften für Realismus im Allgemeinen wichtig sind, müssen diese in dieser Arbeit eruiert werden.

Die Arbeit beinhaltet eine Einführung in den aktuellen Forschungsstand der Haar Illumination, und beschreibt die beiden wichtigsten Modelle der vergangenen Jahre. Des Weiteren wird der grobe Ablauf für die Erstellung eines digitalen Fells, mit Hilfe des *Maya*-Plugins, *XGen* und der Umgang mit *Maya-Muscle* erklärt.

Daraufhin werden zwei Prototypen erstellt, um diese später im direkten Vergleich analysieren zu können. Der erste Prototyp besteht aus dem linken Vorderbein eines Leoparden-Modells, und wird mit einem Fellsystem ausgestattet. Dabei soll darauf geachtet werden, dass das Fell sich möglichst nahe an die zuvor gewählten Referenzbilder hält.

Der zweite Prototyp erweitert den ersten um ein Muskelsystem, das die Oberfläche des Modells bei Positionierungen verformt, wie man es auch in der Realität beobachten kann.

Zunächst sollen die beiden Prototypen auf ihre objektiven, und somit messbaren, Parameter untersucht und verglichen werden, bevor in Kapitel 7 Probanden nach ihren subjektiven Eindrücken befragt werden. Aus den gesammelten Eindrücken der Befragten wird daraufhin

1. EINLEITUNG

eine objektive und zugleich messbare Statistik erstellt.

Die Ergebnisse der durchgeführten Evaluation beweisen, dass die Wahl eines Shaders, der nach einem geeigneten Haar Illuminations Modell arbeitet, für die Erstellung eines digitalen Fells, nahezu unerlässlich ist. Des Weiteren lässt sich ein Trend erkennen, bei dem das Zusammenspiel aus korrektem Shader und Muskelsystem sich positiv auf den Betrachter auswirkt.

Kapitel 2

Stand der Technik

2.1 Einleitung

Im folgenden Kapitel wird der aktuelle Forschungsstand im Bereich der 3D-Haarsimulation dargestellt. Zunächst werden die drei Formen des Realismus beschrieben, die *James A. Ferwerda* in seiner Arbeit beschreibt, um ein Grundlegendes Verständnis davon zu bekommen. Im nächsten Schritt werden zwei Modelle beschrieben, die für die Beleuchtung von Haaren eine große Rolle gespielt haben, und maßgeblich für die heutigen Haar-Shader verantwortlich sind.

Abschließend werden zwei Modellierungsarten für Haare vorgestellt, die beide ihre Vor- und Nachteile bieten.

2.2 Realismus nach Ferwerda

Um ein realistisches Bild rendern zu können, muss man sich zunächst darüber klar werden, was Realismus überhaupt bedeutet. *James A. Ferwerda* unterteilt diesen, in seiner Arbeit *Three varieties of realism in computer graphics* aus dem Jahr 2003, in drei verschiedene Formen. [Fer03]

Als erste Form nennt er den *physical realism* (physikalischer Realismus). Um einen *physical realism* zu erreichen, muss, laut Ferwerda, das generierte Bild die gleiche visuelle Stimulation wie das Original liefern. Das bedeutet, dass das Bild eine akkurate Repräsentation der spektralen Bestrahlung in einem bestimmten Blickpunkt der gewählten Szene sein muss. Dies bildet lediglich eine Anforderung an den Generierungsprozess des Bildes. Dafür müssen zunächst dem Modell, dem Shader und der Beleuchtung der Szene physikalisch korrekte Werte zugewiesen werden. Des Weiteren muss der Renderer in der Lage sein, die Spektral- und Intensitätseigenschaften der Lichtenergie im Blickpunkt des Betrachters zu simulieren. Außerdem benötigt man für die korrekte Darstellung ein Ausgabegerät, das in der Lage ist, diese Energie darzustellen. Leider ist dies in den meisten Fällen mit aktuellen Monitoren nicht möglich.

Als zweite Form nennt Ferwerda den *photo-realism* (Fotorealismus), bei dem das Bild die gleiche visuelle Rückmeldung produzieren muss, wie die original Szene. Hierbei soll ein Bild erstellt werden, das sich von einem Foto kaum noch unterscheiden lässt. Das Problem ist, laut Ferwerda, dass es sehr schwer ist zu erklären warum ein Foto realistisch aussieht. Psychologen haben sich über diese Frage schon seit Jahrzehnten Gedanken gemacht, aber noch keine eindeutige Antwort gefunden. Der einzige Schluss zu dem man bisher gekommen ist, ist dass ein Bild photometrisch realistisch sein muss. Unter Photometrie versteht man das Maß mit dem das Auge auf die einfallende Lichtenergie reagiert.

Die letzte Form des Realismus den Ferwerda nennt, ist der *functional realism* (Funktionaler Realismus). Das Kriterium für den funktionalen Realismus ist, dass das generierte Bild die gleichen visuellen Informationen wie Form, Größe, Position, Bewegungen und Materialien bietet, wie die original Szene.

In dieser Arbeit wird der Fotorealismus angestrebt, da ein physikalischer Realismus nahezu unmöglich ist, mit einem handelsüblichen Computer, zu erreichen und sich auch nicht auf einem Monitor darstellen lässt. Der Fotorealismus ist darüber hinaus auch die angestrebte Form, da ein Mensch mit Fotos von normalen Kameras vertraut ist, und diese für das Auge am plausibelsten wirken.

2.3 Haar Illumination

Da die korrekte Beleuchtung von Haaren ein physikalisch komplexer Vorgang ist, der bis vor wenigen Jahren noch nicht vollkommen verstanden wurde, sind in der Vergangenheit immer wieder Modelle zur Beleuchtung von Computergeneriertem Haar entwickelt worden. Zwei Modelle, die einen besonders wichtigen Beitrag zur Entwicklung immer realistischer werdender Beleuchtungsmodelle geleistet haben, werden im Folgenden genauer erläutert.

2.3.1 Kajiya-Kay Modell

Im Jahr 1989 präsentierten Kajiya und Kay [KK89] ein simples Modell für die Beleuchtung einzelner Haare. Damit wurden vorherige Modelle, die gravierende Aliasing-Probleme produzierten, abgelöst. Das Kajiya-Kay Modell ist ähnlich wie das Phong-Modell [Pho75] aus zwei Komponenten zusammengesetzt, dem diffusen und dem spekularen Anteil.

$$f_{Kajiya\&Kay} = k_d + k_s \cdot \cos^n(\theta_0 - \theta_s).$$

k_d und k_s bilden die Koeffizienten der beiden Komponenten. θ_s gibt die Richtung der spiegelnden Reflexion an. n ist der Phong-Exponent. Für lange Zeit fand dieses Modell Anwendung in der Computergrafik, jedoch entspricht diese Lösung nicht der Realität und simuliert die Lichtstreuung am Haar nur sehr ungenau.

2.3.2 Marschner Modell

Im Jahr 2009 stellte Marschner u.M. ein neues, weitaus komplexeres Modell vor [MJC⁺03]. Für die Erstellung des Modells wurden genaue Messungen der Reflektionscharakteristiken

von Haaren durchgeführt. Des Weiteren wurde auch das Verhalten von Lichtstrahlen an einem perfekten dielektrischen Zylinder gemessen.

Nach dem Bravais Gesetz, ist die Streufunktion ein Produkt aus zwei Funktionen. M modelliert die longitudinale Streuung und N beschreibt die azimutale Abhängigkeit.

Bei einem perfekten Zylinder wird parallel einfallendes Licht in einem Kegel reflektiert, in dem der Öffnungswinkel dem Einfallswinkel entspricht.

Da ein Haar aber keinem perfekten Zylinder entspricht (siehe Kapitel 3.2), modelliert Marschner die Reflexion durch eine normierte Gaußglocke.

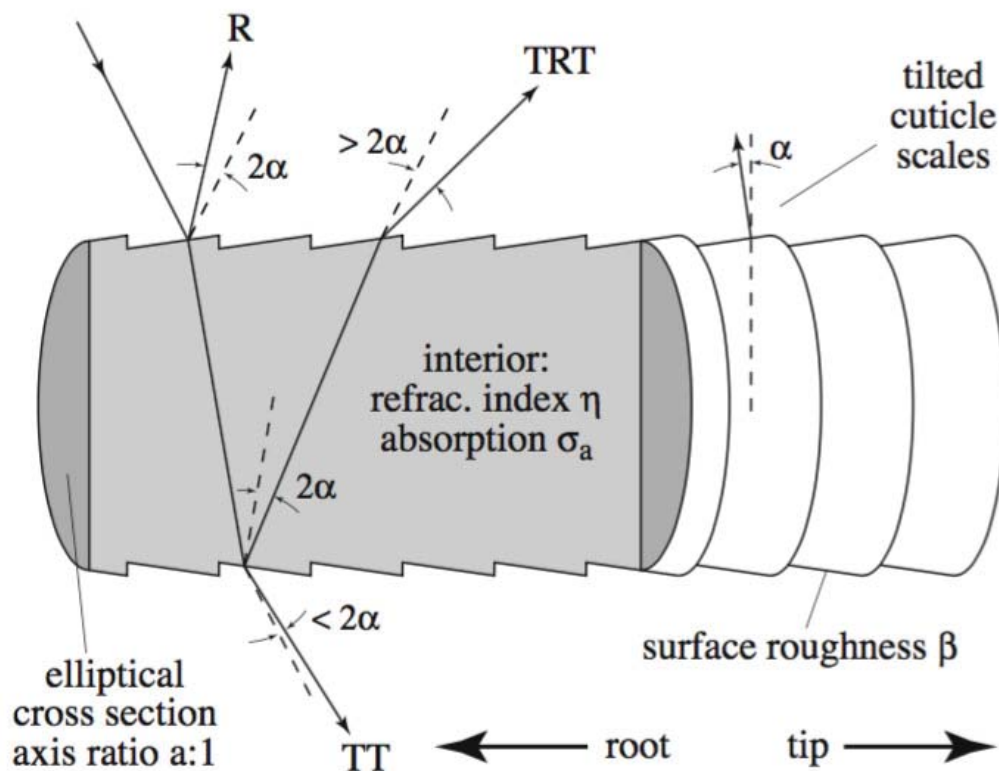


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung der Streukomponente aus dem Marschner Modell, hier gekennzeichnet durch Pfeile. ©2009 Stephen R. Marschner

Quelle: [MJC+03]

Das Marschner Modell setzt sich aus drei verschiedenen Streukomponenten zusammen (siehe Abbildung 2.1).

- R (reflection) ist die direkte Reflexion auf der Oberfläche des Haares, die, auf Grund der schuppigen Beschaffenheit des Haares, um wenige Grad in Richtung der Haarwurzel verschoben ist.
- TT (transmission - transmission) ist die sogenannte Vorwärtsstreuung, hier durchdringt der Lichtstrahl die Oberfläche, auf der er auftrifft und auch an der gegenüberliegenden Seite des Haares. Dies führt zum Durchscheinen des Lichtstrahls, was besonders bei hellen Haarfarben zu beobachten ist.
- TRT (transmission - reflection - transmission) ist die doppelt gebrochene und an der Rückseite des Haares reflektierte Komponente, welche die doppelte Strecke wie die TT-Komponente durch das Haar zurücklegt. Durch das Absorbieren bestimmter Wellenlängen des Lichtes von den Pigmenten innerhalb des Haares, erscheint der austretende Lichtstrahl farbig. Da die Streukomponente doppelt gebrochen wurde, verschiebt sich ihr Ausfallwinkel um einige Grad in Richtung Haarspitze.

Diese Streukomponente beinhaltet zwei ausgeprägte Intensitätsmaxima, die sogenannten Kaustiken. Diese Kaustiken sind sehr stark vom Azimut φ_0 abhängig, weshalb man bei sehr hellen Haaren oft eine Art Glitzern wahrnehmen kann.

Alle weiteren Streuphänomene, werden durch eine diffuse Komponente k_d approximiert. Eine Übersicht aller Parameter, die für die Streufunktion wichtig sind, sind in Tabelle 2.1 einzusehen.

Tabelle 2.1: Parameter des Marschner Modells

Parameter	Beschreibung	typische Werte für Haare
intrinsische Parameter der Faser		
σ	Absorptionskoeffizient	0,1 bis 2,5
η	Brechungsindex	1,55
α	Elliptizität	0,85 bis 1
k_d	Diffuse Komponente	$e^{-3 \cdot \sigma}$
longitudinale Oberflächenparameter		
$\Delta\theta_R$	Verschiebung der R-Komponente	-10° bis -5°
$\Delta\theta_{TT}$	Verschiebung der TT-Komponente	$\Delta\theta_R/2$
$\Delta\theta_{TRT}$	Verschiebung der TRT-Komponente	$-3\Delta\theta_R/2$
ω_R^θ	Breite der R-Komponente	5° bis 10°
ω_{TT}^θ	Breite der TT-Komponente	$\omega_R^\theta/2$
ω_{TRT}^θ	Breite der TRT-Komponente	$2 \cdot \omega_R^\theta$
azimutale Steuerung der Kaustiken		
k_G	Skalierung der Kaustiken	0,5 bis 5
w_c	Azimutale Breite der Kaustiken	10° bis 25°
$\Delta\eta'$	Bereich zum Ausblenden der Kaustiken	0,2 bis 0,4
Δh_M	Maximalwert der Kaustikenintensität	0,5

Die endgültige Streufunktion lässt sich vereinfacht so formulieren:

$$f^{Marschner} = 2k_d + \frac{1}{\cos^2 \theta_d} \sum_G M_G N_G,$$

2.4 Polygonal Hair Model

Um dem komplexen Vorgang, jedes Haar als einzelne Geometrie darzustellen, zu vermeiden, bedient man sich in manchen Fällen dem sogenannten Polygonal Hair Model. Bei dieser Art Haare darzustellen, werden mehrere Strähnen zusammengefasst und als einfache Geometrie modelliert (siehe Abbildung 2.2). Dieser relativ simplen Geometrie wird nun eine Textur im diffusen Kanal des Shaders zugewiesen, die für die Farbe der Haare zuständig ist. Hier bietet sich ein eine in die Länge gezogene *Noise-Textur* an. In den Transparenz-Kanal des Shaders wird eine Alpha-Map geladen, die die Geometrie wie einzelne Haare wirken lässt (siehe Abbildung 2.3). Dafür benötigt die Alpha-Map jedoch Regionen, welche völlig weiß und Regionen, welche völlig schwarz sind. Des Weiteren wird eine Textur für die spekulare Reflexion an den Shader übergeben.



Abbildung 2.2: rechts: Verteilung der Geometrie Auf dem Kopf einer Frau, links: Ergebnis mit angewandeter Alpha-Map. ©2016 Coss Mousikides

Quelle: www.thundercloud-studio.com (Zuletzt abgerufen: 25.12.2016)

Dieses Modell bietet sich immer dann an, wenn die Bilder besonders schnell berechnet werden müssen, wie beispielsweise beim Echtzeit-Rendern für Videospiele. [Sch04]

2.5 Particle Hair Model

Das Particle Hair Model ist das Gegenstück zum Polygonal Hair Model (siehe: 2.4). Partikel sind simple Punkte in einem dreidimensionalen Raum, die in ihrer Gesamtheit dazu genutzt werden können, Feuer-, Wasser- und Haar-Simulationen zu erzeugen. Generell lassen sich mit Partikeln Entitäten darstellen, die in ihrer Grundstruktur aus vielen einzelnen Objekten (Partikeln) bestehen. Ein Partikelsystem erlaubt es, auch Bewegungen, Deformierungen und Bewegungsunschärfe auf simple Art und Weise simulieren.

Ein Haar wird durch mehrere Partikel dargestellt, die als sogenannte *Strands* modelliert werden. Dies bedeutet, dass die einzelnen Partikel miteinander verbunden sind und sie so als Gesamtheit das Haar bilden.

Dank dieser Partikel lässt sich jedes einzelne Haar auf einem Kopf oder in einem Fell modellieren. Des Weiteren können Shader angewandt werden, die auf dem Marschner Modell basieren, um eine realistische Illumination zu erlangen.[ACAN10]



Abbildung 2.3: Alpha Map für die Transparenz der Haar Geometrie. Schwarze Bereiche sind zu 100% durchsichtig. ©2005 *3dmd*

Quelle: www.turbosquid.com (Zuletzt abgerufen: 25.12.2016)

Kapitel 3

Grundlagen

3.1 Einleitung

Für das Verstehen der nachfolgenden Kapitel wird ein Grundwissen vorausgesetzt, das dem Leser an dieser Stelle übermittelt werden soll. Eingegangen wird auf den grundlegenden Aufbau von Haaren, Fell und dem Muskelsystem einer Großkatze, um für den Prototypen im Methodikteil möglichst realistische Werte zu benutzen. Des Weiteren wird der generelle Aufbau eines 3D Fellsystems und eines 3D Muskelsystems innerhalb von *Autodesk Maya* erläutert. Es wird jedoch nicht auf die grundlegenden Kenntnisse der 3D Computergrafik eingegangen.

3.2 Beschaffenheit eines Haares

Um zu verstehen, warum ein Haar Lichtstrahlen so reflektiert sodass das natürliche Aussehen von Haaren erlangt wird, muss man sich den Aufbau eines einzelnen Haares genauer anschauen. Ein Haar wird in drei Schichten aufgeteilt, Cuticula, Cortex und Medulla (siehe Abbildung 3.1).

Die äußerste Schicht ist die sogenannte Cuticula. Sie besteht aus vielen Schuppen, die ähnlich wie Dachziegel angeordnet und Richtung Haarwurzel gerichtet sind. Bei einem gesunden Haar liegen diese sehr flach an. Während die einzelnen Schuppen bei einem menschlichen Haar sehr runde und geordnete Formen haben, sind sie bei Fellen von Tieren sehr viel rauher. Durch die Anordnung dieser Schuppen ist die Reflexion der Lichtstrahlen um einige Grad verschoben, was zu den charakteristischen Glanzlichtern führt.

Unterhalb der Cuticula liegt der Cortex. Diese Schicht beinhaltet den größten Teil der Farbpigmente, die für das diffuse Aussehen des Haares verantwortlich sind. Den Kern des Haares bildet die sogenannte Medulla, diese weist eine komplexe Struktur auf, welche die einfallenden Lichtstrahlen bricht und so streut. Bei manchen Tieren, wie beispielsweise dem Eisbären, ist dieser Kern vollkommen hohl. [YTJR15]

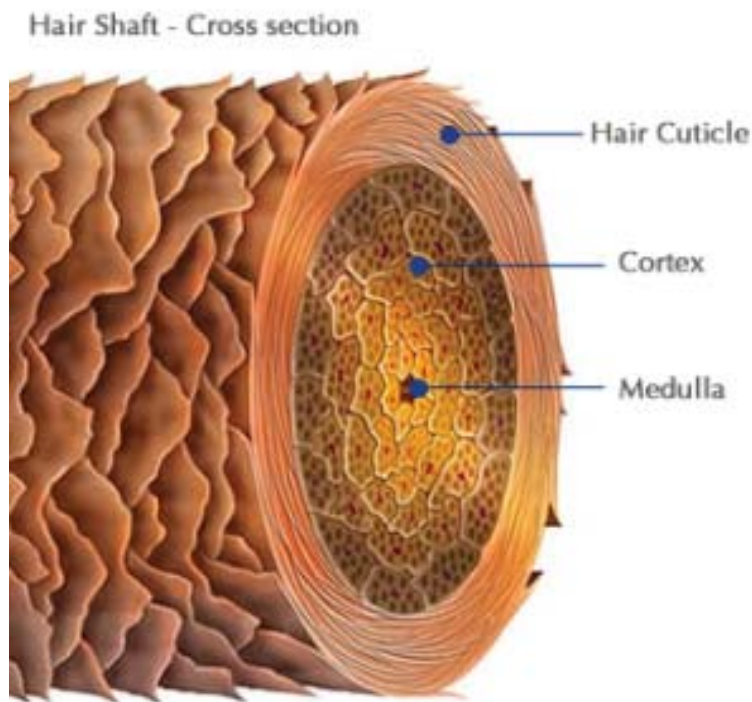


Abbildung 3.1: Schematische Darstellung vom Aufbau eines Haares

©2016 Carbon Sphere Innovations Inc.

Quelle: <https://www.microcarbonation.com> (Zuletzt abgerufen: 22.12.2016)

3.3 Beschaffenheit von Fell

Alle Haare auf der Haut eines Tieres zusammen genommen, bilden das Haarkleid (Fell). Die einzelnen Haare des Fells werden in verschiedene Typen unterteilt und haben unterschiedliche Eigenschaften (siehe Abbildung 3.2).

Das sogenannte *Deck- oder Fellhaar*, Capilli, ist für das charakteristische Aussehen des Fells verantwortlich. Es bestimmt unter anderem auch die Farbe. Diese Haare werden wiederum in zwei Formen unterteilt. *Die Leithaare* sind relativ große Haare, die von kleineren Nebenhaaren umgeben werden. *Die Grannenhaare* sind ebenfalls kräftige Haare mit einer Verdickung an der Haarspitze.

Die Borstenhaare, Setae, sind steife Deckhaare mit einer gespaltenen Spitze. Sie kommen häufig als Schutzhaare an den Öffnungen des Kopfes vor und werden je nach ihrer Position Wimper, Schutzhaar des Außenohres oder Haare des Naseneinganges genannt.

Die Wollhaare, Pili Lanai, sind dünne, mehr oder weniger stark gekräuselte Haare, die dicht beieinander stehen und für die Wärmeisolation des Tieres zuständig sind. *Die Langhaare* kommen an einigen ausgewählten Stellen des Körpers vor, wie der Mähne, der Stirn und der Schwanzspitze bei manchen Tieren. Sie sind besonders lang und weisen eine geringe

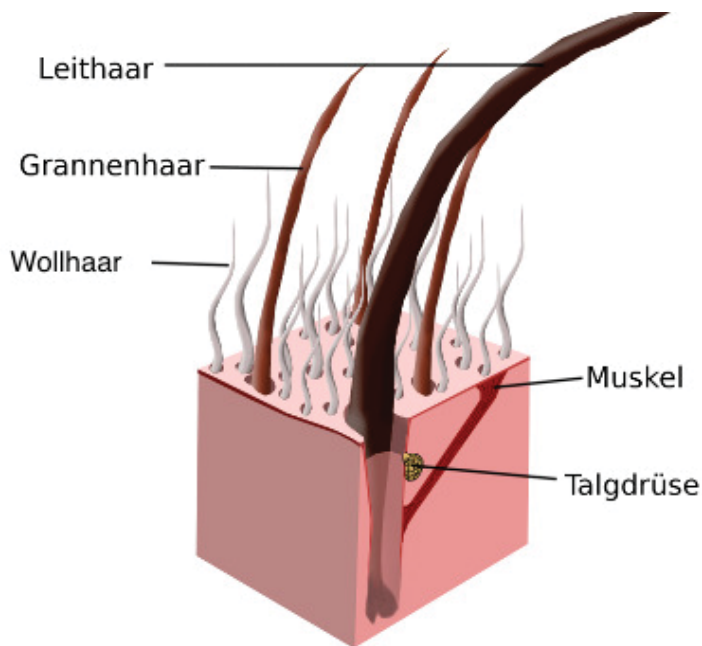


Abbildung 3.2: Schematische Darstellung vom allgemeinen Aufbau eines Fells

©2016 www.hauskaninchen.com

Quelle: <https://www.hauskaninchen.com> (Zuletzt abgerufen: 23.12.2016)

Verformbarkeit auf. [SGG15]

3.4 Aufbau des Muskelsystems einer Großkatze

Für die Erklärung der Muskeln einer Großkatze wird im Weiteren auf den Aufbau des Muskelsystems einer gewöhnlichen Hauskatze zurückgegriffen, da sich diese aufgrund der Artverwandtschaft sehr ähneln.

Des Weiteren wird nur auf die Muskeln eingegangen, die für die Verwendung eines Muskelsystems in der 3D-Branche notwendig sind.

Die Brustmuskeln einer Katze bestehen im Groben aus vier einzelnen Muskeln. Der *Pectoantibrachialis* zieht eine Linie quer über den Brustkorb der Katze, direkt unterhalb der Nacken- und Halsmuskeln. Der *Pectoralis major*, der *Pectoralis minor* und der *Xiphohumeralis* bilden jeweils ein Dreieck unterhalb des *Pectoantibrachialis* (siehe Abbildung 3.3).

Die Schulter und der Rücken einer Katze bestehen aus mehreren einzelnen Muskeln, die zusammen den typische Bewegungsablauf ermöglichen.

Am oberen Teil des Arms liegen, wie auch beim Menschen, die zwei Triceps Muskeln *Triceps brachii*, der sich beim Beugen und Strecken des Arms ebenso beugen und strecken und die Haut des Tieres beeinflussen. Von der Schulter zum Rücken verlaufen die beiden Muskeln *Latissimus dorsi* und *Spinotrapezius*. An der Seite des Bauches liegt außerdem noch der *External oblique*. Zuletzt verläuft zwischen Nacken und Oberarm der *Clavotrapezius*, der

3. GRUNDLAGEN

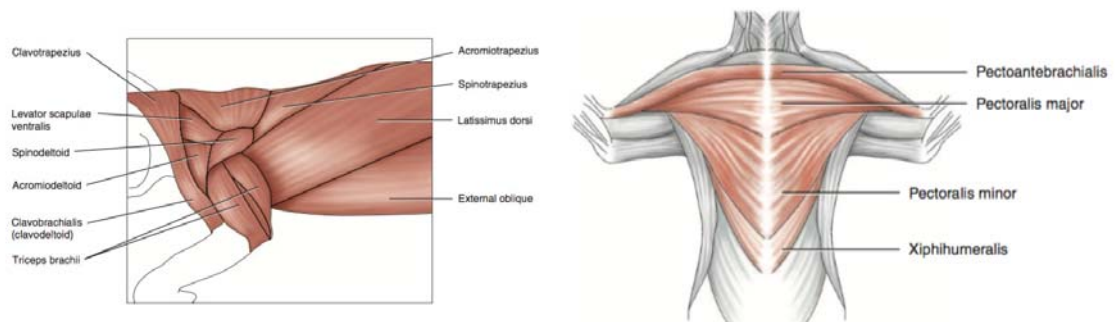


Abbildung 3.3: Schematische Darstellung vom allgemeinen Aufbau der Brust-, Schulter- und Rückenmuskeln einer Hauskatze. ©2012 by John Wiley and Sons, Inc.
Quelle: [AH12]

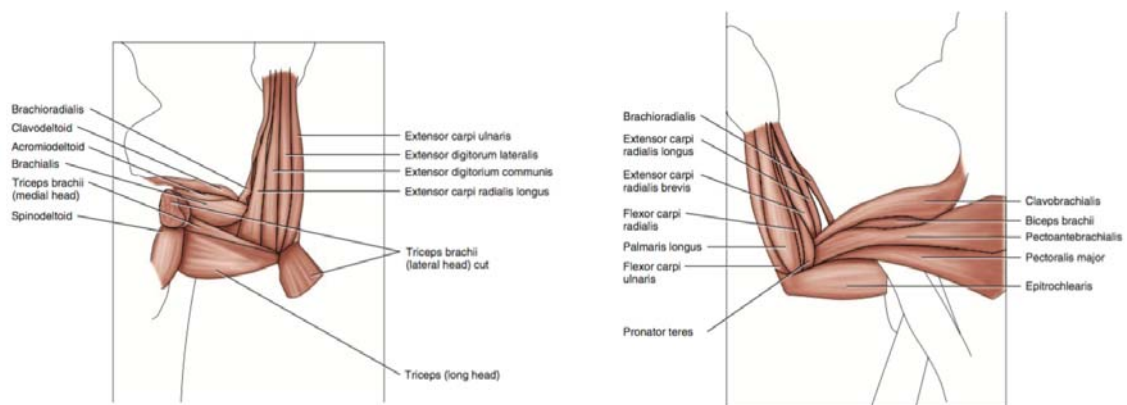


Abbildung 3.4: Schematische Darstellung vom allgemeinen Aufbau der Unterarmmuskeln einer Hauskatze. ©2012 by John Wiley and Sons, Inc.
Quelle: [AH12]

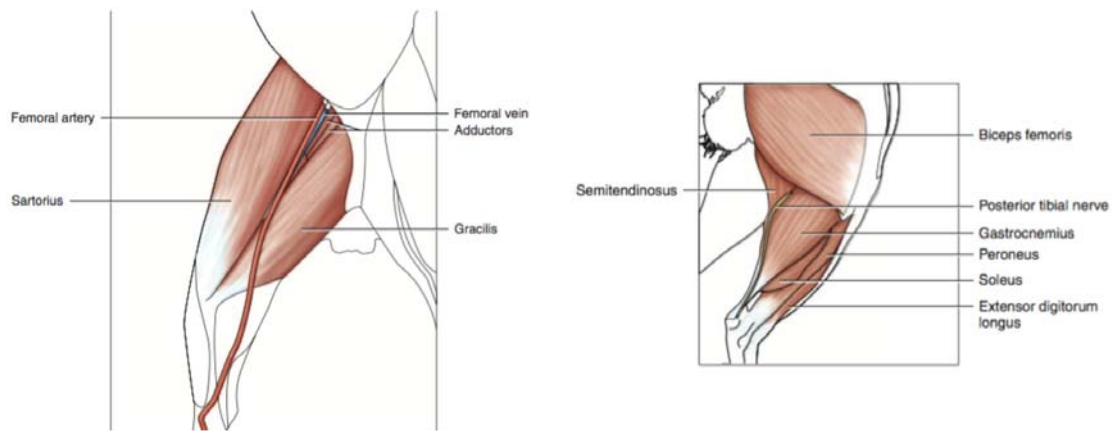


Abbildung 3.5: Schematische Darstellung vom allgemeinen Aufbau der Hinterbeinmuskeln einer Hauskatze. ©2012 by John Wiley and Sons, Inc.

Quelle: [AH12]

wichtig für die Bewegung des Nackenbereiches beim Laufen der Katze ist.

Auf der Oberseite des Vorderarms befinden sich vier Muskeln die dem Vorderarm sein Volumen verleihen. *Extensor carpi ulnaris*, *Extensor digitorum lateralis*, *Extensor digitorum communis* und *Extensor carpi radialis longus*.

Auf der Unterseite befinden sich drei Muskeln, der *Extensor carpi radialis brevis*, der *Palmaris longus* und der *Flexor carpi ulnaris*. Von der Innenseite des Unterarmes zur Achselhöhle laufen drei wichtige Muskeln, der *Clavobrachialis*, der *Biceps brachii* und der *Epitrochlearis*. Des Weiteren verlaufen hier auch die weiter oben genannten Brustmuskeln (siehe Abbildung 3.4).

Die letzten Muskeln, die für das Erstellen eines Muskelsystems wichtig sind, sind die Muskeln der Hinterbeine. Hier wird die Innenseite aus den beiden großen Muskeln *Sartorius* und *Gracilis* gebildet. Für die Außenseite sind der *Biceps femoris* und der *Gastrocnemius* besonders wichtig (siehe Abbildung 3.5). [AH12]

3.5 Erstellen eines Fells mit xGen

Für die Erstellung eines Fells mit Hilfe des *Maya* Plugins *XGen*, muss zunächst ein Objekt erstellt werden, auf dem das Fell "wachsen" soll. In diesem Beispiel wird, der Einfachheit halber, eine primitive Kugel als Basisobjekt verwendet. Durch das Klicken auf den *Create New Description...* Button, wird der Geometrie eine *XGen-Node* hinzugefügt (Siehe Abbildung 3.6).

3.5.1 Verteilen von Haaren auf der Oberfläche

Im folgenden Fenster wählt man nun zunächst eine *Description*, diese beschreibt den Bereich auf dem im Folgenden das Fell erstellt werden soll, beispielsweise: Körper, Wimpern, Unter-

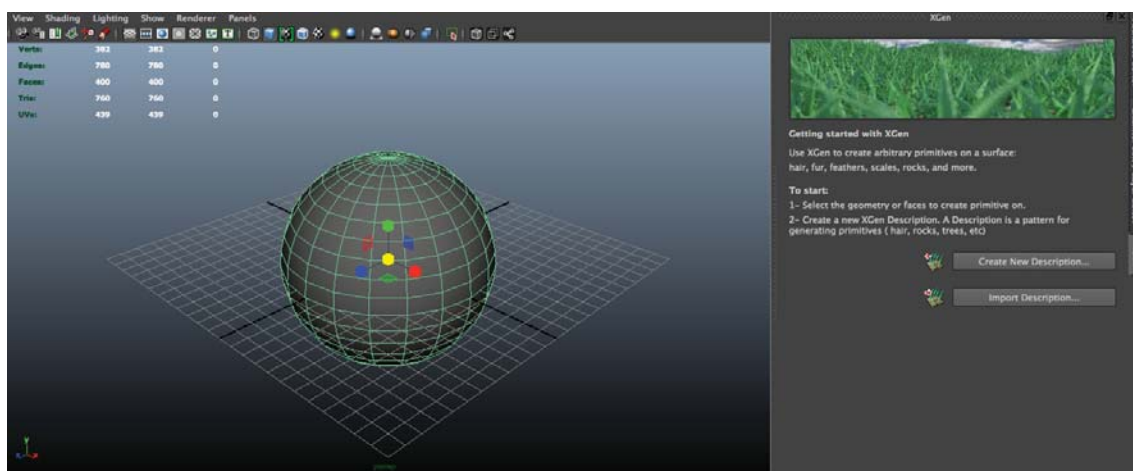


Abbildung 3.6: Durch Klicken auf *Create New Description*, wird dem Objekt eine XGen-Description hinzugefügt.

fell. Als nächstes wird diese *Description* einer *Collection* hinzugefügt, in der alle *Descriptions* dieses Modells zusammengefasst werden.

XGen bietet nun mehrere Auswahlmöglichkeiten für das Verteilen von Objekten auf einer Oberfläche. Für das Erstellen von Fell ist die zweite Option, die sogenannten *Groomabel splines*, geeignet. Die letzten beiden Optionen sind durch das Wählen der *Groomabel splines* fixiert auf *Randomly across the surface*, was dafür sorgt, dass die einzelnen Haare durch eine Zufallsfunktion auf der Oberfläche verteilt werden, und *Using Grooming Tools*, was dem Benutzer erlaubt, das Fell mit Hilfe von Werkzeugen zu kontrollieren und ihm spezielle Eigenschaften zu verleihen, wie Locken und Verklumpen. Durch das Klicken auf den Button *Create* wird das Fell auf der Oberfläche verteilt (siehe Abbildung 3.7).

Sobald die Haare erstellt wurden, sollte man der *Density* zunächst einen Wert übergeben, der nicht zu hoch ist, da dieser für die Anzahl der einzelnen Haare verantwortlich ist. Für das Bearbeiten des Fells eignet sich hier ein Wert zwischen 10 und 100, je nach Leistungsfähigkeit des Computers und Komplexität des Modells.

3.5.2 Virtuelles Schneiden von Haaren

Nachdem das Fell erstellt wurde, werden im Viewport zwei verschiedene Dinge angezeigt: Zum einen die eigentlichen Haare, die durch Zylinder dargestellt werden, und die so genannten *Guides*. Im ersten Schritt werden nur die *Guides* benötigt, weshalb die eigentlichen Haare aus Performance-Gründen ausgeblendet werden.

Ein Fell besitzt nicht am kompletten Körper die gleiche Länge, also sollte diese zunächst angepasst werden. Hierfür gibt es unter dem Reiter *Grooming* eine *Length*-Einstellung, die über einen Regler gesteuert werden kann. Hier sollte in etwa die durchschnittliche Länge des Fells eingestellt werden. Die gelb gefärbten *Guides* geben einen Eindruck über die eingestell-

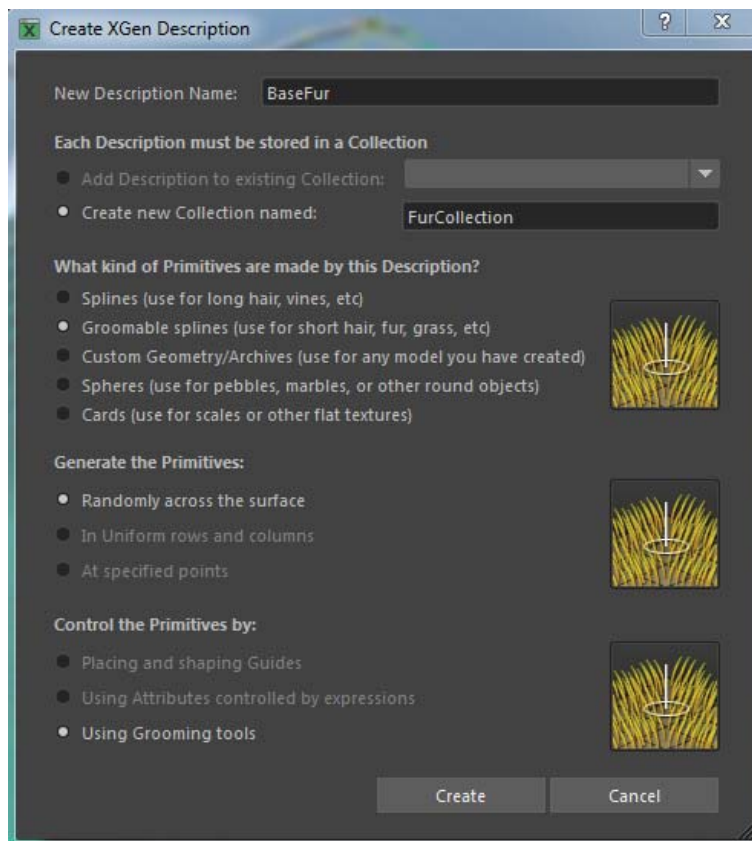


Abbildung 3.7: In diesem Fenster werden die Einstellungen für die *Description* vorgenommen. Unter anderem wählt man hier die Art der *Primitives*, die auf der Geometrie verteilt werden sollen.

te Länge.

Als nächsten Schritt wird das Fell an ausgewählten Stellen gekürzt, beziehungsweise verlängert. Zu diesem Zweck wird das *Length*-Tool verwendet. In den Einstellungen des Tools lässt sich eine *Goal-Length*, die die gewünschte Maximallänge angibt und ein *Increment*-Wert, der die Schritte zur gewünschten Veränderung beschreibt, einstellen. Um das Fell zu kürzen, muss die *Goal-Length* einen kleineren Wert, als die zuvor gewählte Durchschnittslänge bekommen. Dem *Increment*-Wert muss außerdem ein negativer Wert zugewiesen werden (siehe Abbildung 3.8).

Neben diesem manuellen Weg, das Fell zu kürzen beziehungsweise zu verlängern, gibt es auch noch die Möglichkeit, eine Textur als *Ptex*-Map in das *Length-Attribut* der *Primitives* zu laden.

Hierzu muss zunächst ein Graustufenbild erstellt werden, in dem Stellen, die kürzere Haare bekommen sollen, eine dunklere Farbe zugeordnet wird. Als nächsten Schritt wird eine *Ptex*-Map durch das Klicken auf *Create Map* im *Length-Attribut* erstellt. Dies erzeugt einen

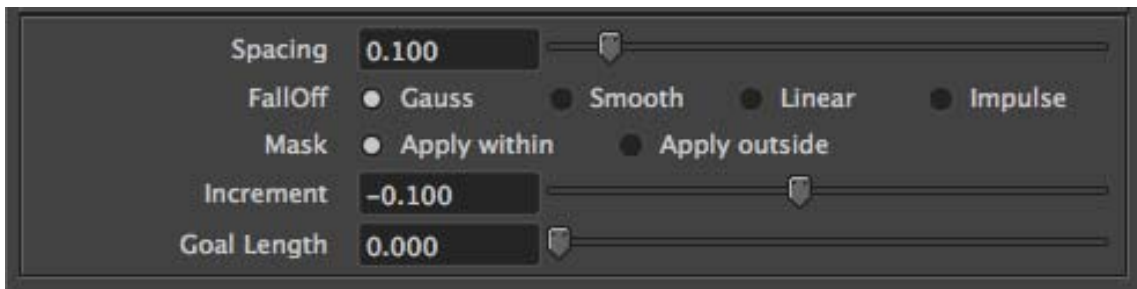


Abbildung 3.8: Unterhalb der Grooming-Tools lassen sich die Einstellungen des Tools manipulieren.

neuen File-Node, in dem nun das zuvor erstellte Graustufenbild geladen wird. Um die Map nun auf die Festplatte zu schreiben, ist es wichtig, dass im gewählten Attribut auf den *Speichern*-Button geklickt wird. Zu beachten ist, dass diese Map nur die Primitives selbst und nicht die Guides beeinflusst.

3.5.3 Combing

Nachdem die Haare nun überall die richtige Länge haben, ist es wichtig, dem Fell seine Struktur zu verleihen. Hierfür stehen, ähnlich wie für das Schneiden der Haare, unter dem Reiter *Grooming* verschiedene Werkzeuge für das manuelle Bearbeiten des Fells zur Verfügung, mit denen sich die Ausrichtung und Biegung der einzelnen Haare, sowie die "Verklumpung" des Fells beeinflussen lassen (siehe Abbildung 3.9).

Alle Veränderungen, die mit diesen Tools vorgenommen werden, werden von *XGen* ebenfalls als Ptex-Map gespeichert.

Um noch detailreichere Einstellungen vorzunehmen, die auf das komplette Fell angewandt werden, können unter dem Reiter *Modifiers* verschiedene Modifikatoren genutzt werden. Die Einstellungen dieser Modifikatoren lassen sich, wie in *XGen* üblich, mit sogenannten *Expression* steuern, was dem Benutzer sehr viel Handlungsfreiraum bietet. Bei den *Expressions* handelt es sich um mathematische Funktionen, die anstelle von ganzzahligen Variablen genutzt werden können.

Bei den Modifikatoren ist es wichtig, auf die Reihenfolge zu achten, um unerwünschte Ergebnisse zu vermeiden.

Um dem Haar eine, wie in Abschnitt 3.3 beschriebene, *Grannenform* zu verleihen, kann im Reiter *Primitives* diese Form in der *Width Ramp* eingestellt werden, wobei der linke Rand die Wurzel und der rechte Rand die Spitze des Haares darstellt (siehe Abbildung 3.10).

3.5.4 Färben der Haare

Als letzter Schritt ist es wichtig, dem Fell einen Shader zu zuweisen, der jedes Haar entsprechend seiner Position auf dem Mesh einfärbt. Hierzu müssen zunächst unter dem Reiter *Preview*, zwei *Color Maps* erstellt werden. Es ist hierbei wichtig darauf zu achten, dass die

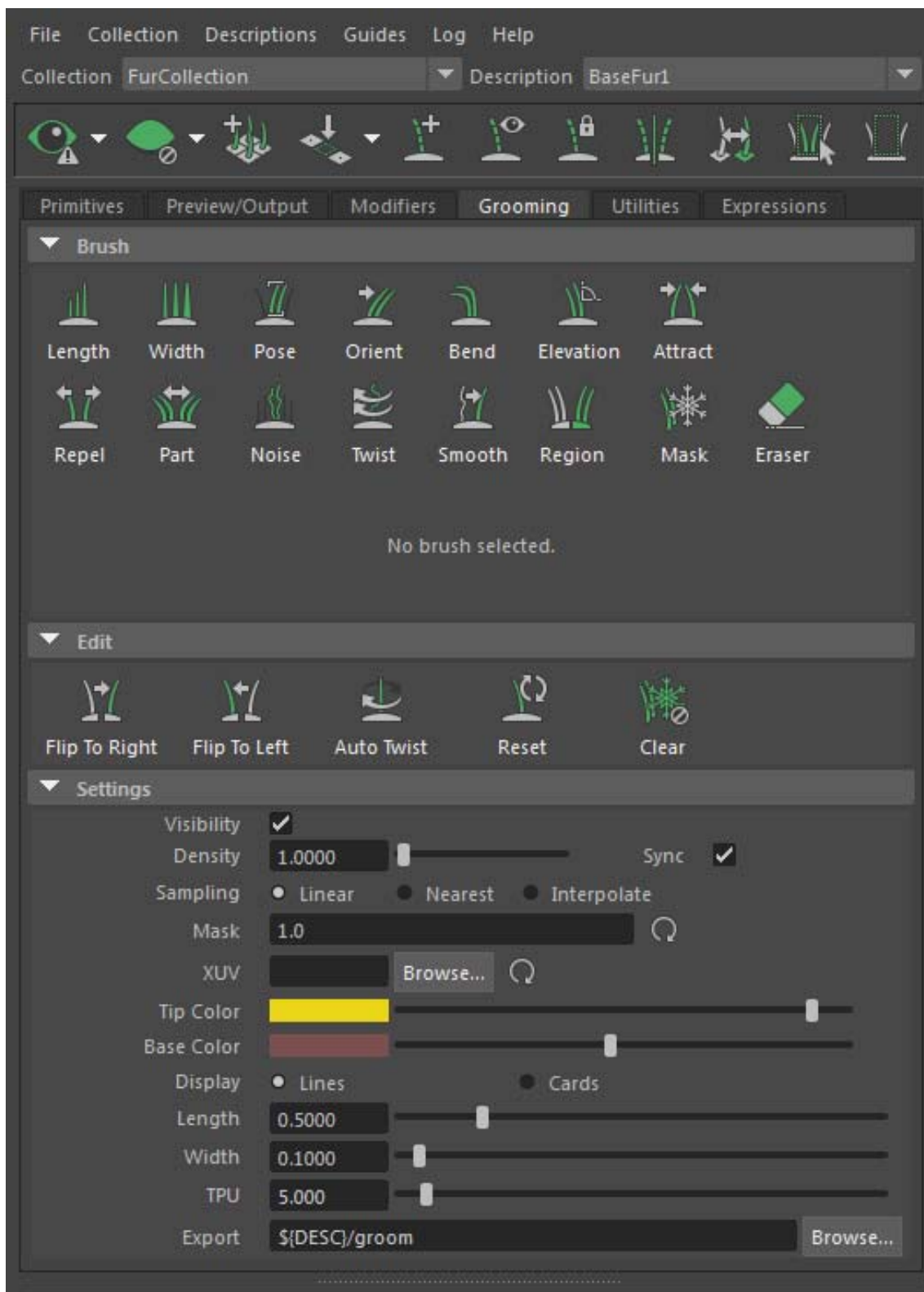
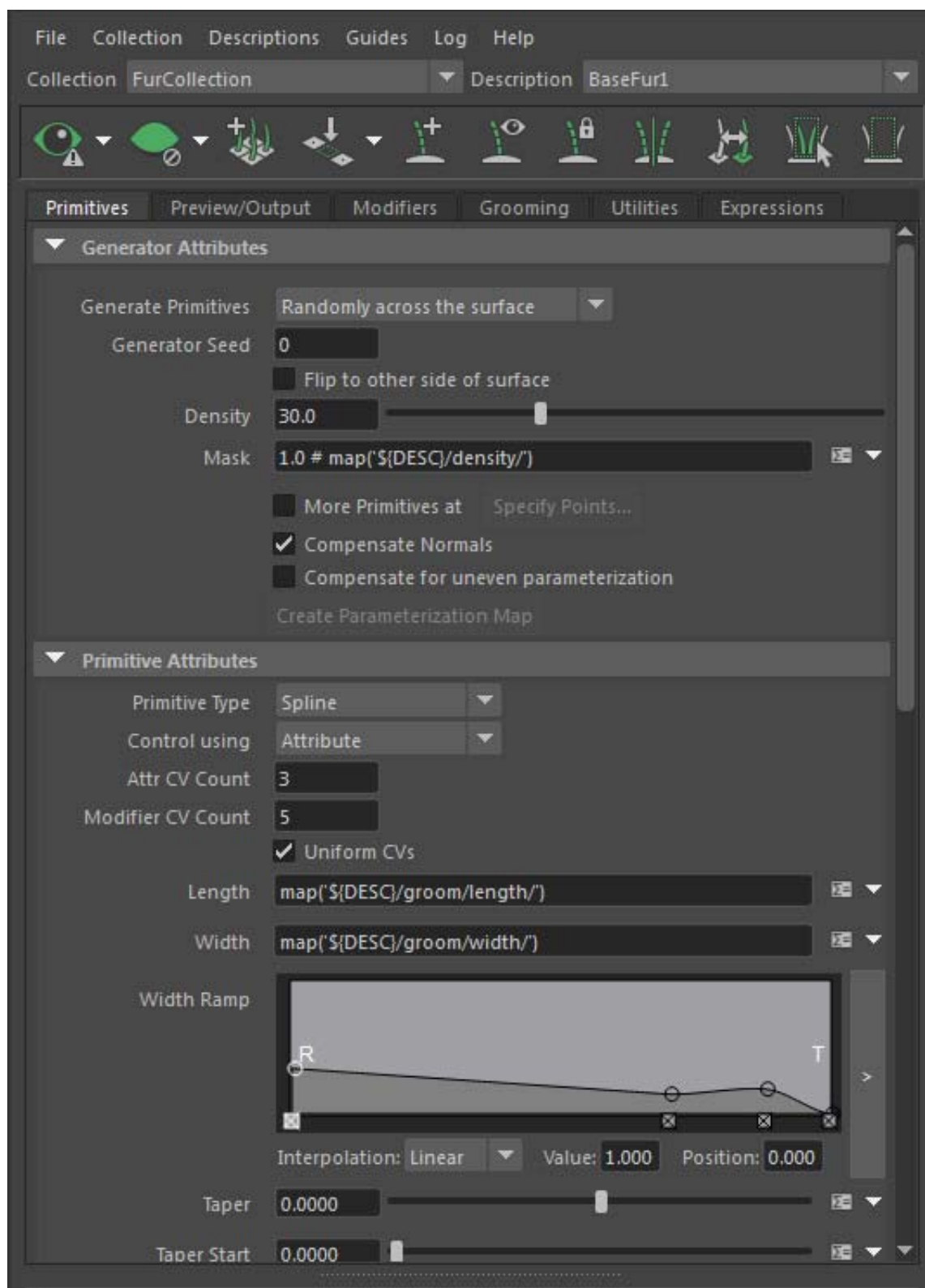


Abbildung 3.9: Im Reiter Grooming finden sich die verschiedenen Werkzeuge, mit welchen sich die Struktur der Haare beeinflussen lassen.

3. GRUNDLAGEN



26

Abbildung 3.10: Unter dem Primitive-Reiter finden sich verschiedene Einstellungen, die das Aussehen der einzelnen Haare direkt beeinflussen, unter anderem die Width-Ramp, über die sich der Querschnitt eines Haares einstellen lässt.

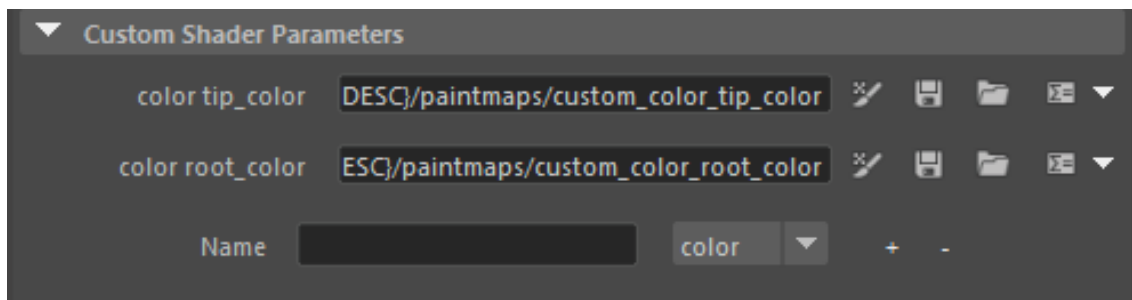


Abbildung 3.11: Beim Erstellen der Maps ist das Beachten der korrekten Benennung sehr wichtig, da der Shader die Texturen ansonsten nicht finden kann.

Namen dieser `Tip.Color` und `Root.Color` sind, da der Shader später im System nach diesen Variablen sucht (siehe Abbildung 3.11).

In diese *P*Tex-Maps wird, wie schon in den vorherigen Schritten erklärt, eine Textur geladen, die das diffuse Erscheinungsbild des Modells definiert.

Als nächstes muss ein *V*RayHair3Mtl-Node und ein *V*RayHairSampler-Node erstellt werden. Der `OutColor`-Knoten des Samplers wird nun mit dem `Transmission`-Knoten und der `OverallColor` des Shaders verknüpft. Nachdem der Shader nun der *Description* des Fells zugewiesen wurde, ist das Erstellen des Fells abgeschlossen und es kann gerendert werden.



Abbildung 3.12: links: Das rohe Fell ohne Modifier. rechts: Das Fell mit Clumping Modifier



Abbildung 3.13: links: Fertiges Fell mit normalem V-RayMtl Shader. rechts: Fertiges Fell mit V-RayHair3Mtl Shader

3.6 Erstellen eines Muskelsystems mit Maya Muscle

In den folgenden Abschnitten, wird Schritt für Schritt das Erstellen eines Muskelsystems erklärt.

3.6.1 Erstellen von Joints

Bevor mit dem Erstellen des eigentlichen Muskelsystems begonnen werden kann, muss zunächst das Rig des Charakters erstellt werden, hier im Beispiel der Ober- und Unterarm eines Menschen (siehe Abbildung 3.14).

Die Joints bilden die grundlegenden Knochen eines Körpers und sind für die Bewegungen eines Charakters unerlässlich.

An dieser Stelle ist darauf zu achten, dass die erstellten Joints nicht transliert, sondern lediglich rotiert werden, da es ansonsten im nächsten Abschnitt: *Erstellen von Capsules* zu Problemen kommt, bei denen die *Capsules* nicht mit den *Joints* übereinstimmen. Nachdem die *Joints* erstellt wurden, müssen sie an das Mesh gebunden werden, und ihr Einfluss auf die Oberfläche mittels *weight-painting* definiert werden.

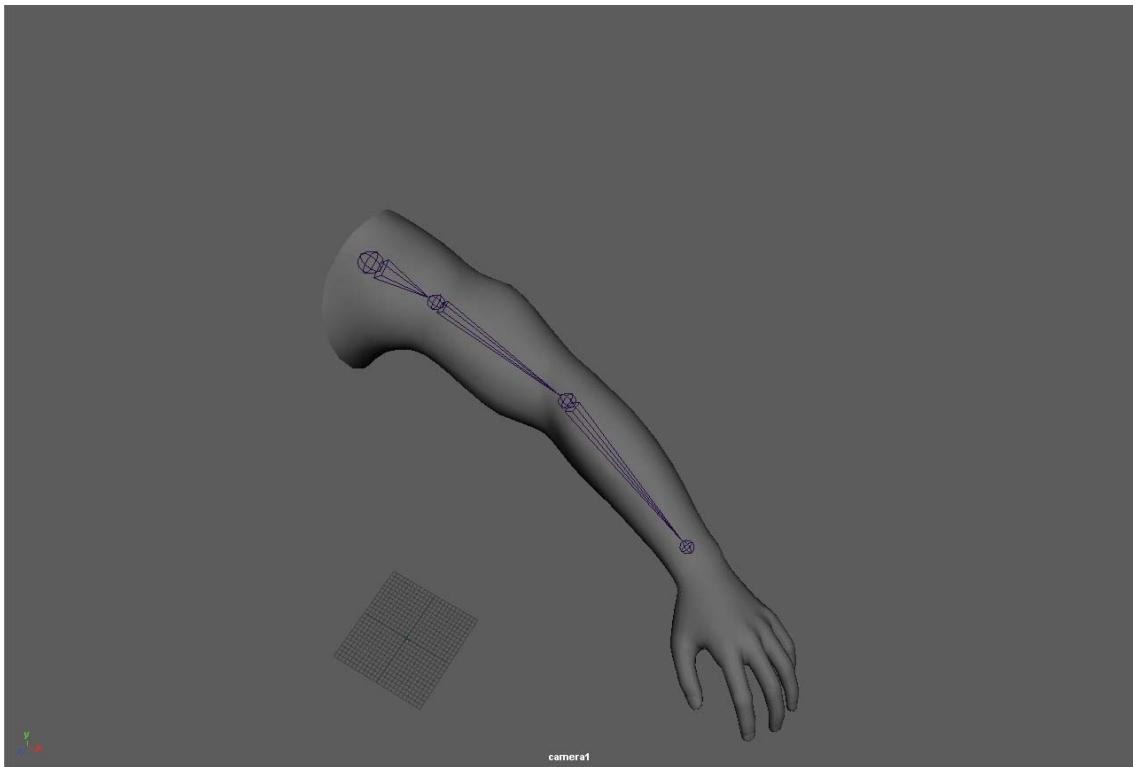


Abbildung 3.14: Im ersten Schritt werden die *Joints* erstellt, die dem Arm Bewegungen ermöglichen.

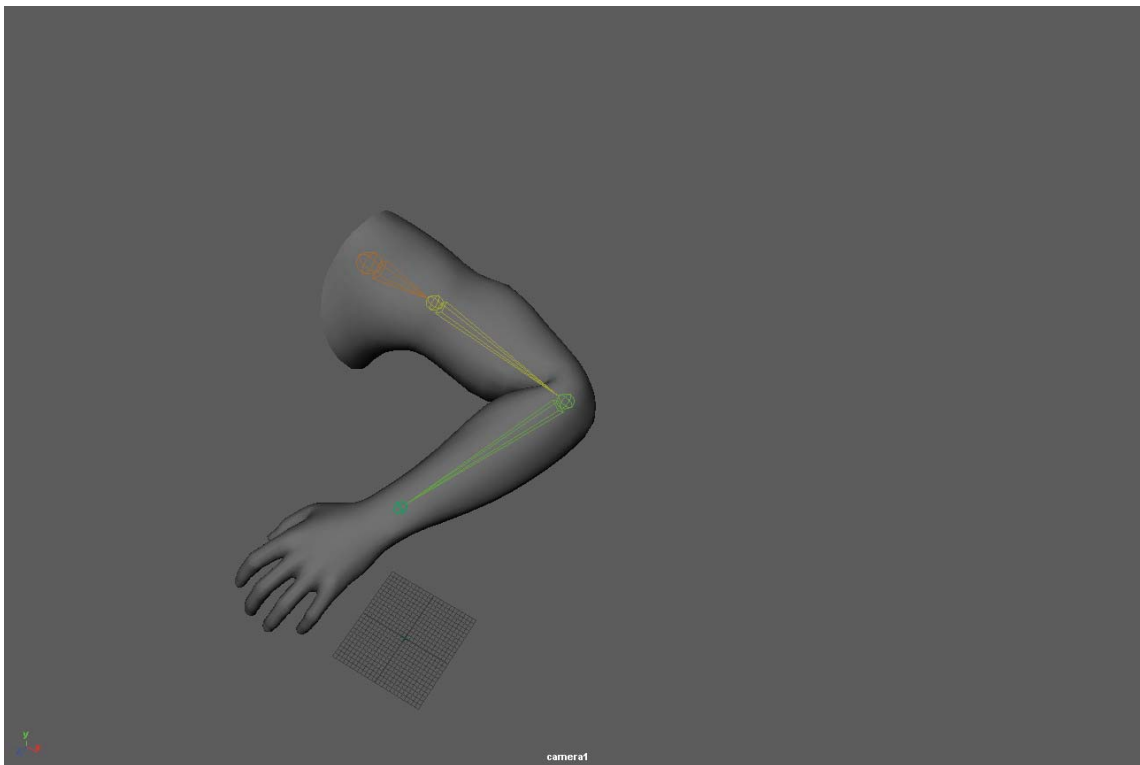


Abbildung 3.15: Ohne Muskeln verliert der Arm beim Beugen an Volumen im Ellenbogengelenk.

3.6.2 Erstellen von Capsules

Um nun die erstellten *Joints* in *Capsules* für das Muskelsystem umzuwandeln, muss lediglich das Mesh ausgewählt und unter *Deform*⇒*Muscle*⇒*Skin Setup*⇒*Convert Smooth Skin to Muscle System* ausgeführt werden. Hier wird der Benutzer nun gefragt, ob das aktuelle Skin-Binding gelöscht oder nur deaktiviert werden soll. In diesem Fall wird es gelöscht, da es im Nachhinein keine Verwendung mehr findet. Als Ausrichtung wird die X-Achse ausgewählt. Alle weiteren Schritte werden von *Maya* nun automatisch vorgenommen (siehe Abbildung 3.16). In manchen Fällen kann es passieren, dass die erstellten Capsules in vermeintlich zufällige Richtungen rotiert sind, an dieser Stelle ist in den meisten Fällen die Ausrichtung *X-Axis* falsch und sollte auf *Neg-X-Axis* geändert werden. Dies kann sehr einfach über die Channel-Box getätigt werden.

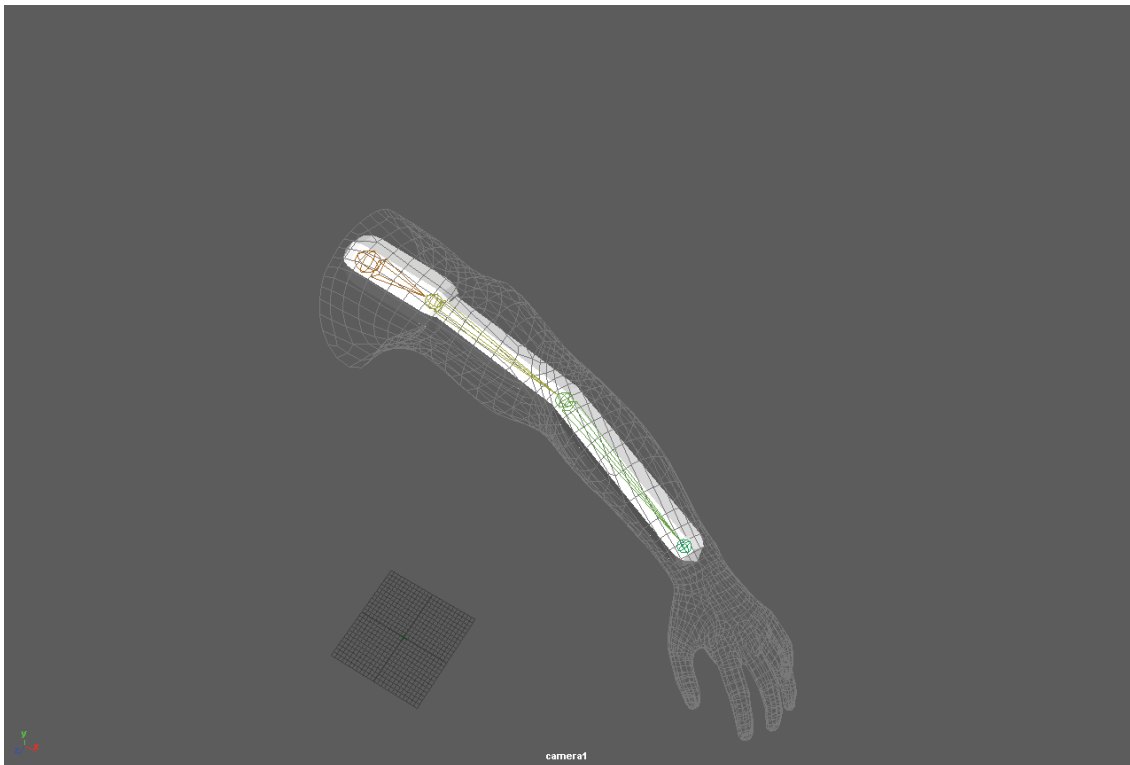


Abbildung 3.16: Die Capsules werden als weiße Zylinder an der Position der Joints angezeigt.

3.6.3 Platzieren der Muskel

Nachdem das Modell nun über Capsules verfügt, können die Muskeln auf ihnen erstellt werden. Hierzu wird unter `Deform`⇒`Muscle`⇒`Muscle/Bones`⇒ das sogenannte *Muscle Creator* Fenster geöffnet (siehe Abbildung 3.17).

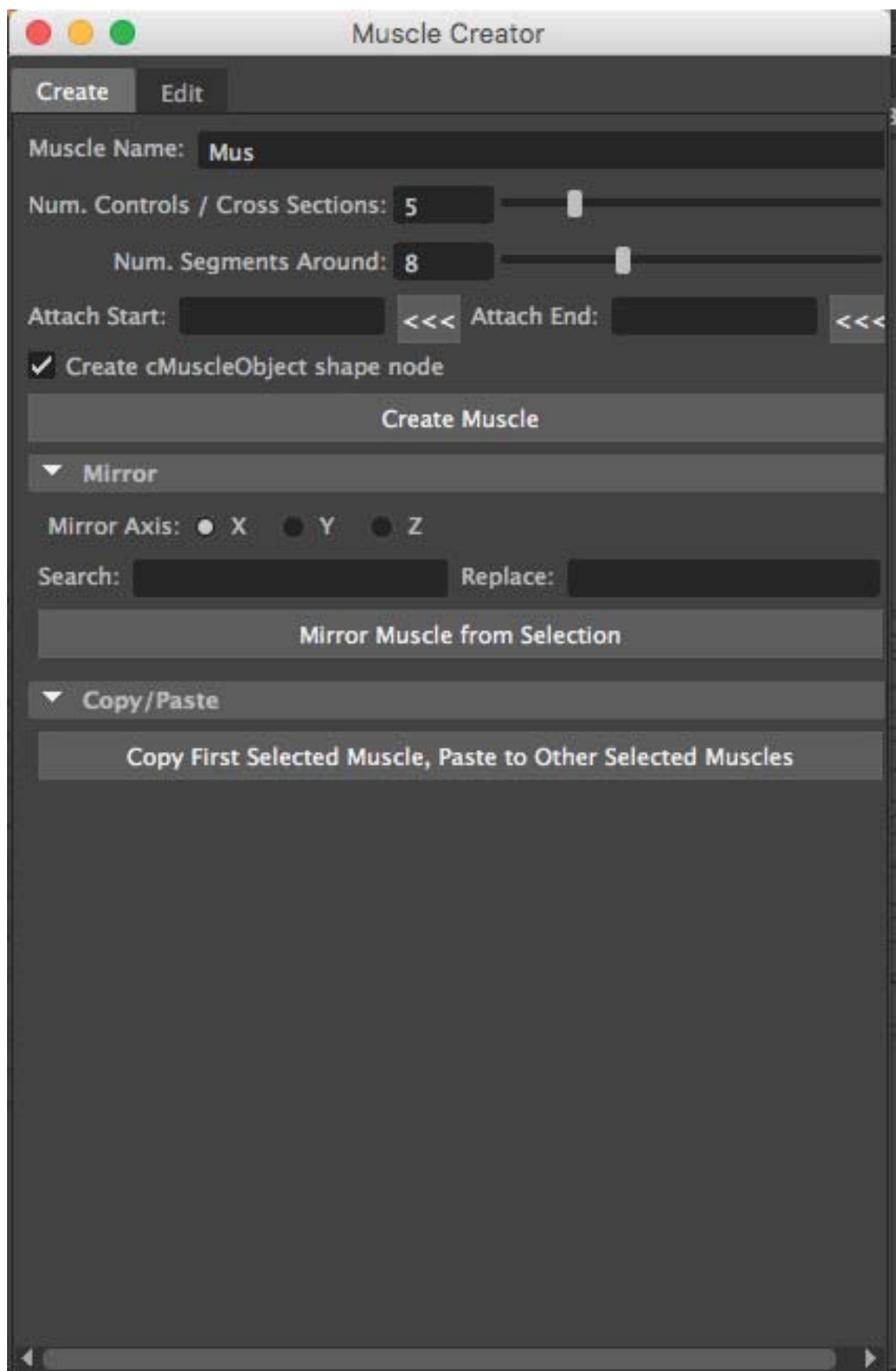


Abbildung 3.17: Im Muscle Creator werden Name, Start- und Endpunkt und die Segments der Muskeln eingestellt.

Durch Klicken auf das <<< Symbol neben den Attach-Punkten, wird der Aktuell angewählte Joint in das Feld geladen. Die Attach-Punkte sind die Knochen an denen der Muskel gebunden werden soll.

Sollte das Rig, wie in den meisten Fällen, auf einer Achse symmetrisch sein, kann unter dem Punkt *Mirror* der erstellte Muskel direkt gespiegelt und mit einem bestimmten Namen versehen werden. Durch das Klicken auf *Create Muscle* wird ein Muskel-Objekt an der gewählten Stelle erstellt. Im Muscle Creator unter dem Reiter *Edit* kann dessen Form nun bearbeitet werden. Es ist darauf zu achten, dass der Muskel nach Möglichkeit das Mesh selbst in entspannter Haltung ausfüllt (siehe Abbildung 3.18).

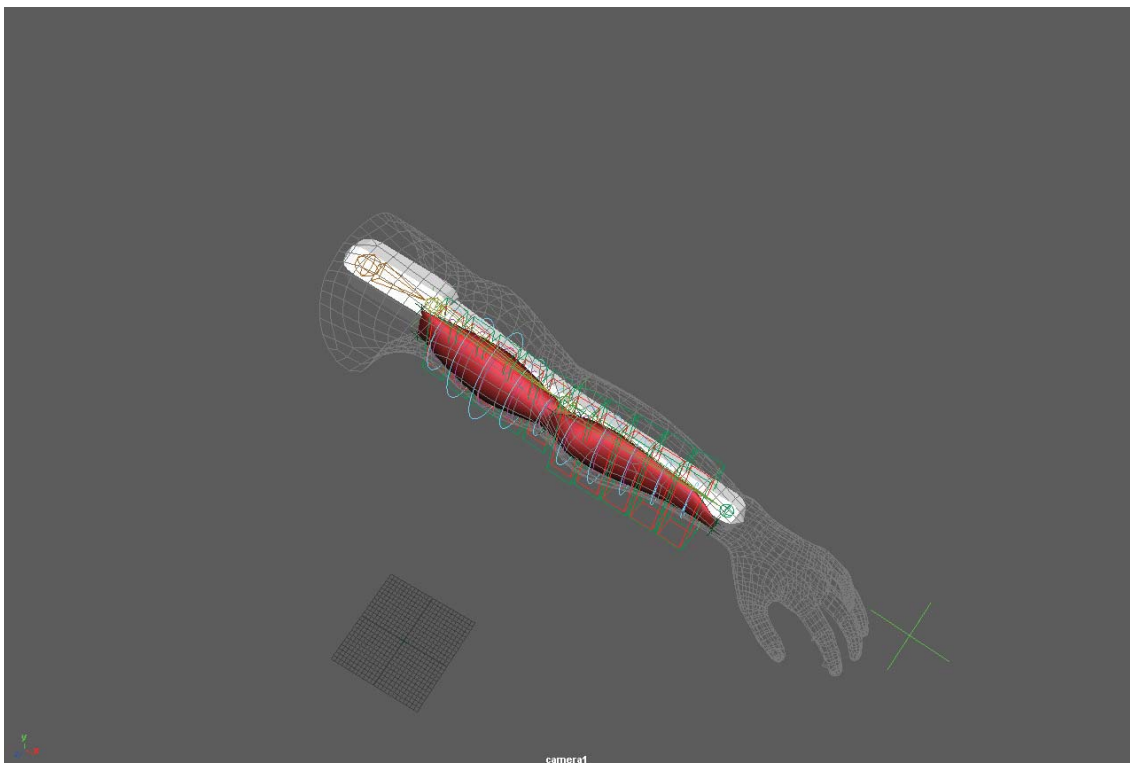


Abbildung 3.18: Beim Platzieren der Muskeln ist darauf zu achten, dass sie nach Möglichkeit das Volumen der Geometrie ausfüllen.

3.6.4 Skinning

Nachdem die Muskeln nun erstellt und angepasst wurden, muss ihr Einfluss auf das Mesh, ähnlich wie bei den Joints aus Schritt 3.6.1 *Erstellen von Joints per Weight-Painting* definiert werden. Zunächst muss jedoch jeder einzelne Muskel zum Skin-Binding des Riggs hinzugefügt werden. Hierzu werden die gewünschten Muskeln und das Mesh ausgewählt und über *Deform*⇒*Muscle*⇒*Muscle Objects*⇒*Connect selected Muscle* zugewiesen. In dem Fenster, das sich danach öffnet, wird der *Auto Calculating* Button gedrückt, damit *Maya* die Muskeln zum bestehenden Skin-Binding hinzufügen kann. Nun kann ihr Einfluss

3. GRUNDLAGEN

über `Deform⇒Muscle⇒Paint Muscle Weight...` eingestellt werden. Dies funktioniert ähnlich wie beim Weightpainting für Joints (siehe Abbildung 3.19) und ist ein aufwändiger Prozess der viel Aufmerksamkeit bedarf, da es bei einem unsauberen Weighting sehr schnell zu fehlerhaften Verformungen kommen kann.

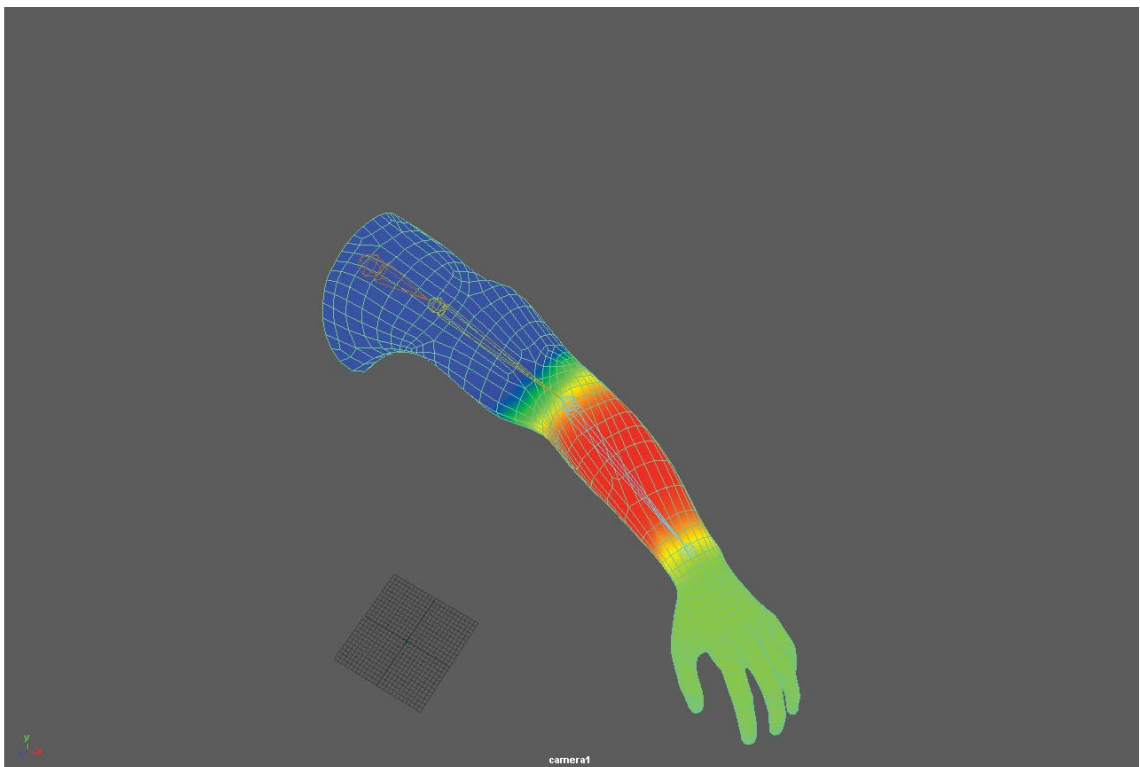


Abbildung 3.19: Das Weightpainting der Muskeln verhält sich ähnlich wie beim Weightpainting der Joints.

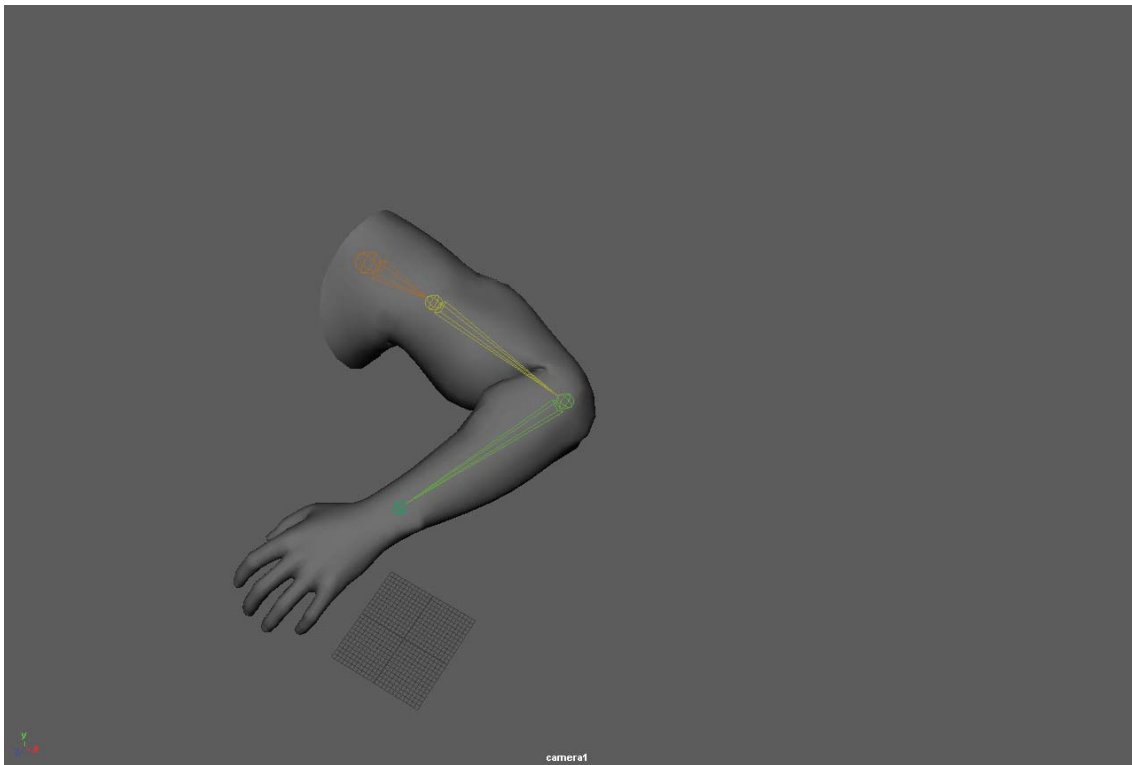


Abbildung 3.20: Durch die Muskeln bleibt das Volumen des Arms beim Beugen erhalten, und der Bizeps dehnt die Haut, wodurch realistische Verformungen entstehen.

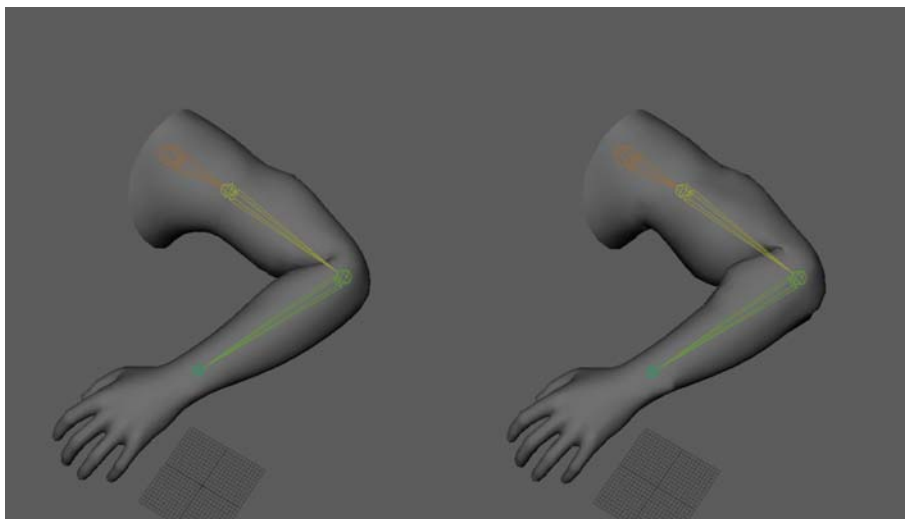


Abbildung 3.21: Im direkten Vergleich erkennt man den Volumenunterschied zwischen der Arm ohne Muskeln (links) und dem Arm mit Muskeln (rechts).

Kapitel 4

Analyse von Still Fell-Renderings ohne Muskelsystem

4.1 Einleitung

Im Methodik-Teil dieser Arbeit werden zwei Prototypen erstellt und miteinander verglichen. Der einzige Unterschied zwischen den beiden Prototypen wird das Muskelsystem sein, das im nächsten Kapitel auf das gleiche Modell angewandt wird. In diesem Kapitel wird der erste Prototyp erstellt, der aus dem linken Vorderbein eines Leoparden besteht. Das Bein wurde gewählt, da besonders die Bizeps- und Trizepsmuskeln eine starke Verformung in ausgeprägten Posen aufweisen, und somit besonders gut zu erkennen sind. Des Weiteren ist das Bein auch ohne den Rest des Körpers sehr leicht als solches zu erkennen, um Verwirrungen beim Betrachter zu vermeiden. Der erste Prototyp erhält ein Fellsystem und benutzt das normale Skin-Binding des Modells. Zu beachten ist, dass das realistische Nachstellen eines Fells nur im begrenzten Rahmen möglich ist, da das echte Fell eines Leoparden mit ca. 550.000.000 Haaren eine extrem hohe Dichte aufweist. Auch das Marschner-Modell, das der aktuelle Standard zur Berechnung von Lichtstreuung an Haaren ist, ist nur ein abstrahiertes Modell der Wirklichkeit und bietet nach wie vor Einschränkungen um adäquate Rechenzeiten zu gewährleisten.

4.2 Exemplarische Implementierung einer Großkatzen-Szene ohne Muskelsystem

4.2.1 Modell und Szenenaufbau

Als Grundlage für die in dieser Arbeit erstellten Szenen wird auf das, von *Massimo Righi* zur Verfügung gestellte, Modell eines Leoparden zurückgegriffen, das bereits mit einer Textur und einem Rig versehen ist (siehe Abbildung 4.1). Jedoch wird aus nur das linke Vorderbein des Modells genutzt, da für den Vergleich der beiden Prototypen nur Closeup renderings erzeugt werden. Des Weiteren ist das Erstellen des Muskelsystems für den zweiten Prototypen ein zeitaufwändiger Prozess, der sich nur für die später zu sehenden Bildbereiche lohnt.

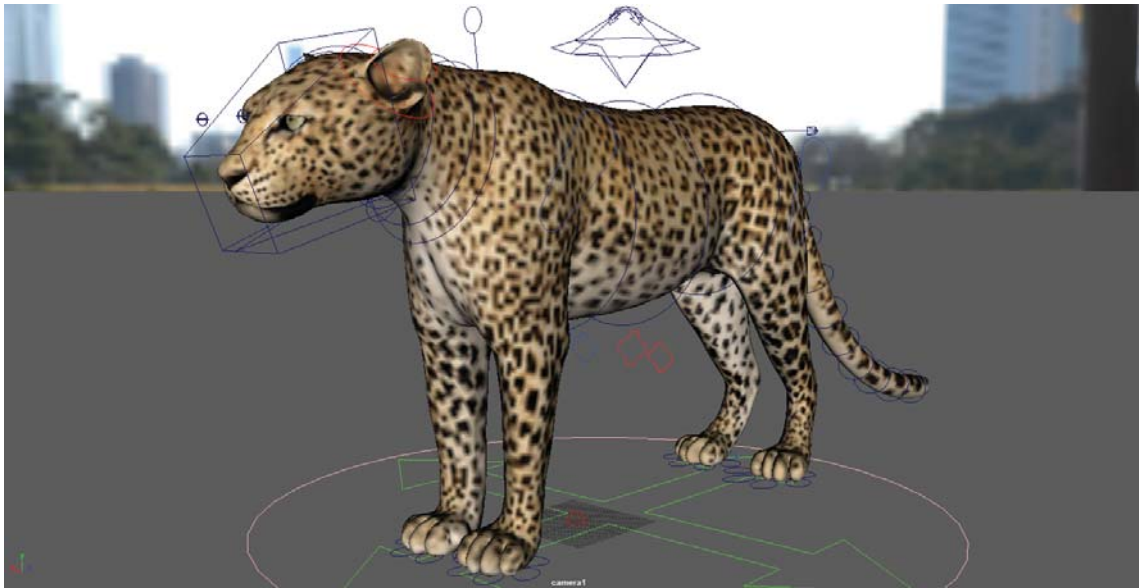


Abbildung 4.1: Das Modell von *Massimo Righi* ist bereits mit einem umfangreichen Rig versehen, und texturiert. ©2015 *Massimo Righi*

Für die Beleuchtung der Szene wird auf ein 360° HDR-Panorama in einem V-Ray-Dome-Light zurückgegriffen, welches das sogenannte *Image Based Lighting* (kurz IBL) ermöglicht. Dieses Panorama stammt von der Seite www.hdrlabs.com und ist frei verfügbar. Das Image Based Lighting bietet die Möglichkeit einer realistischen Beleuchtung der Szene, da durch das Panoramabild die Beleuchtung einer Realen Szene nachgestellt wird.

Als Referenzbilder wurden verschiedene Fotos von unterschiedlichen Quellen genutzt (siehe Abbildung 4.2).

4.2.2 Das Fell

Das Fell besteht aus zwei verschiedenen Descriptions. Die Haupt-Description ist die *Leg-Base.Fur* und umfasst die Haupthaare des Fells.

Die Länge der Haare wurde manuell mit dem *Length-Tool* eingestellt, da es über das Laden der *Length-Map* immer wieder zu Fehlern und Abstürzen kam, die durch einen Bug beim Schreiben der *PTex-Maps* hervorgerufen werden.

Wichtig für das grundlegende Aussehen des Hauptfells sind die beiden benutzten *Modifier*, Noise und Clumping. Der Noise-Modifikator verleiht dem Fell eine zufällige Struktur, was die einheitliche Ausrichtung der einzelnen Haare aufricht, damit die Haare nicht wie perfekte Zylinder aussehen.

Der Clumping-Modifikator verleiht dem Fell den Anschein von leichter Verschmutzung und Feuchtigkeit, wie es auch bei realem Fell zu beobachten ist. Dies geschieht, indem sogenannte *Clumping-Guides* generiert werden, welche die umliegenden Haare anzieht, und somit ein

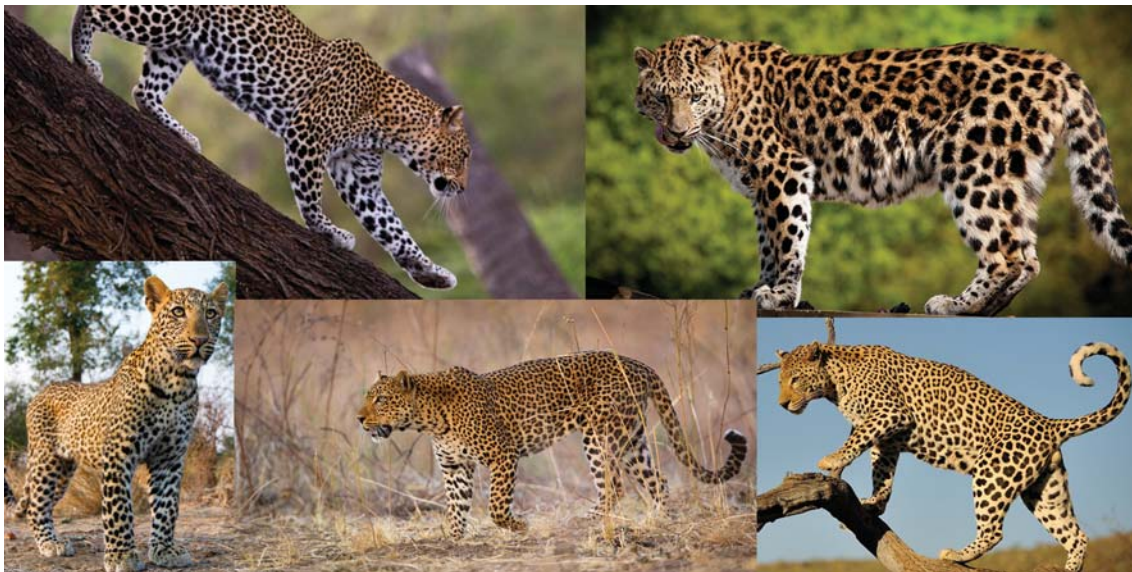


Abbildung 4.2: Für das Fell wurden viele verschiedene Referenzbilder verwendet. Da das Fell je nach Alter, Größe oder Herkunft des Tieres variiert, ist das erstellte Fell ein Querschnitt der verwendeten Referenzen.

Quelle1:www.goo.gl/AUkpzd(©2013-2017 1zoom, Zuletzt abgerufen: 07.02.2017)

Quelle2:www.goo.gl/j1G5en(©2013-2017 1zoom, Zuletzt abgerufen: 07.02.2017)

Quelle3:www.goo.gl/wyoF7o(©2017 burard-lucas, Zuletzt abgerufen: 07.02.2017)

Quelle4:www.goo.gl/Gvtaiv(©2017 burard-lucas, Zuletzt abgerufen: 07.02.2017)

Quelle5:www.goo.gl/YUx3ex(©2013-2017 1zoom, Zuletzt abgerufen: 07.02.2017)

verklumpen Simuliert.

Als zweite Description wurde die *Leg_Under_Fur* erstellt, welche ein Unterfell aus dünneren und kürzeren Haaren beinhaltet. Die Anzahl der Haare ist mit einer Density von 400 doppelt so hoch wie die der *Leg_Base_Fur*.

Zusammengenommen beinhalten die beiden Descriptions 1.592.627 Haare, was in etwa 10% der Haare des realen Vorbildes entspricht. Jedoch ist dieser Wert für das Erstellen eines digitalen Fells ausreichend, da das Unterfell einer echten Katze nur schwer zu sehen ist, und mehr einem isolierenden Zweck dient, als einem ästhetischen. Das Unterfell im digitalen Fell wird zum großen Teil durch die eingefärbte Haut des Modells simuliert.

4.2.3 VRayHair3Mtl

Als Shader wurde das *VRayHair3Mtl* verwendet, da dieses Material der von *VRay* zur Verfügung gestellte, physikalisch korrekte Haar Shader ist, der nach dem Marschner Modell arbeitet (siehe 2.3.2 Marschner Modell). Dies bietet ein möglichst realistisches Streuverhalten der Lichtstrahlen innerhalb des Haares und weist die für Haare typischen Glanzlichter entlang des Haares auf.

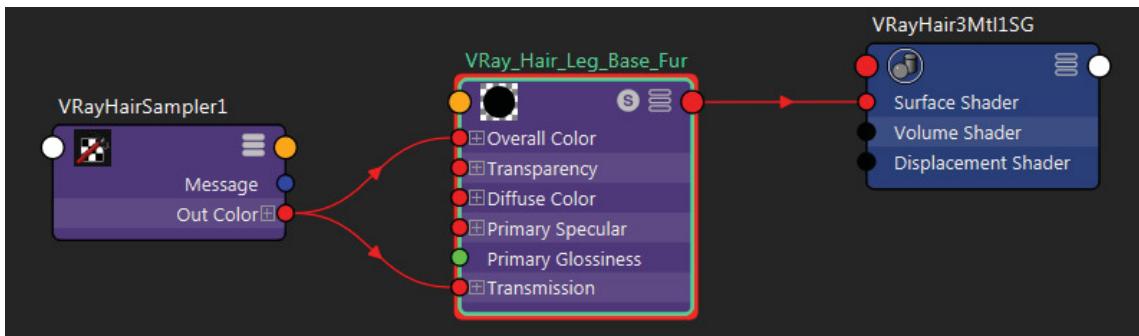


Abbildung 4.3: Der Shader für die Haupthaare des Modells. Die OutColor des VRayHairSampler1 wird direkt in die Overall Color und den Transmission Knoten des Shaders geladen

Wie schon in 3.5.4 *Färben der Haare* beschrieben, bekommen die OverallColor und die Transmission des Shaders nun einen *Vray Hair Sampler* zugewiesen, der die in *XGen* erstellten *PTex*-Maps lädt und übergibt.

Der Diffus-Wert des Shaders ist hier nicht für die Färbung des Fells zu benutzen, da ein Fell kaum diffuse Reflexionen besitzt. Dieser Wert kann jedoch beispielsweise für Verschmutzungen im Fell genutzt werden (siehe Abbildung 4.3).

4.2.4 VRay Mtl

Als Vergleich zu dem zuvor erstellten Hair Shader von *VRay* wurde ein normales *VRayMtl* erstellt, um den Unterschied zu dem speziell für Haare entwickelten Shader deutlich zu machen. Ähnlich wie schon beim Hair Shader muss ein *HairSampler* für das Laden der Texturen genutzt werden, da es keinen anderen Weg gibt, *PTex*-Maps zu laden. Eine *PTex*-Map ermöglicht es Geometrien zu texturieren, ohne vorher ein UV-Layout zu erstellen. Jedoch lassen sich *PTex*-Maps nicht vom Menschen direkt bearbeiten, weshalb der Computer diese aus einer normalen Textur generieren muss. Der Sampler wird nun an den Diffus-Kanal des Shaders übergeben. Die Textur muss jedoch, bevor sie in den Diffus-Kanal des Shaders geladen wird, über einen *GammaCorrect*-Node korrigiert werden, da die Textur selbst zu hell ist und das Fell sehr unnatürlich wirken lässt (siehe Abbildung 4.4).

4.2.5 Renderparameter

In den Renderparametern ist darauf zu achten das die Global Illumination eingeschaltet und die verwendete Kamera eine *VRay physical Camera* ist, da nur so die Eigenschaften des Hair Shaders von *VRay* zu nutze gemacht werden können. Da die Haare aus sehr feinen Strukturen bestehen, wird als Preset für die Auflösung ein Quadrat von 4096x4096px gewählt, sodass alle Details gut dargestellt werden können. Außerdem sollen später in der Evaluation Ausschnitte aus den gerenderten Bildern gezeigt werden, dies ist durch die hohe Auflösung

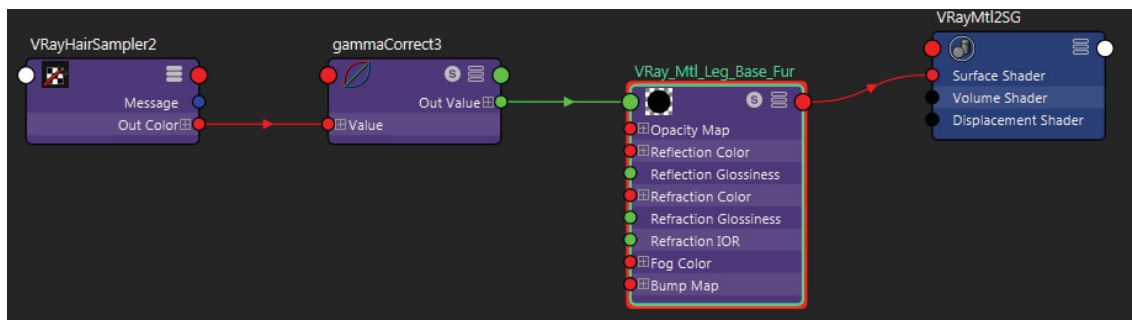


Abbildung 4.4: Der Vergleich Shader für die Haupthaare des Modells. Die OutColor des VRayHairSampler1 wird über einen *gammaCorrect-Node* in die Diffuse Color des Shaders geladen.

ohne großen Qualitätsverlust möglich.

Damit das Bild mit einer möglichst hohen Genauigkeit berechnet wird, wurde das Sampling auf *adaptive* gestellt, was dem Renderer erlaubt, die maximale Zeit für das Rendern zu verwenden. Da es bei feinen Strukturen wie Haaren sehr schnell zu aliasing-Problemen kommen kann, wurde der Antialiasing-Filter auf *Gaussian* und dessen *size*-Wert auf 3.000 gestellt, um einen guten Mittelweg zwischen aliasing-Fehlern und Unschärfe zu finden.

4.3 Ergebnis

Das Bein wurde jeweils in gestreckter und gebeugter Form mit unterschiedlichen Modifikationen gerendert, von denen auszugehen war, dass sie einen Einfluss auf den Realitätsgrad des Fells haben. Es wurde jeweils einmal ohne den Noise Modifikator und einmal ohne den Clumping Modifikator in der Base_Fur Description gerendert. Des Weiteren wurde das Fell einmal mit dem normalen VRayMtl Shader und einmal mit dem, für Haare vorgesehenen VRayHair3Mtl Shader, gerendert.



Abbildung 4.5: Ohne den Noise Modifier wirkt das Fell sehr monoton und strukturlos.



Abbildung 4.6: Ohne den Clumping Modifier wirkt das Fell als wäre es perfekt gekämmt, was in der Natur, gerade bei wilden Tieren, nicht vorkommt.



Abbildung 4.7: Durch den normalen V-RayMt1 Shader wirkt das Fell entsättigt und die Übergänge der Farben sind sehr viel härter.

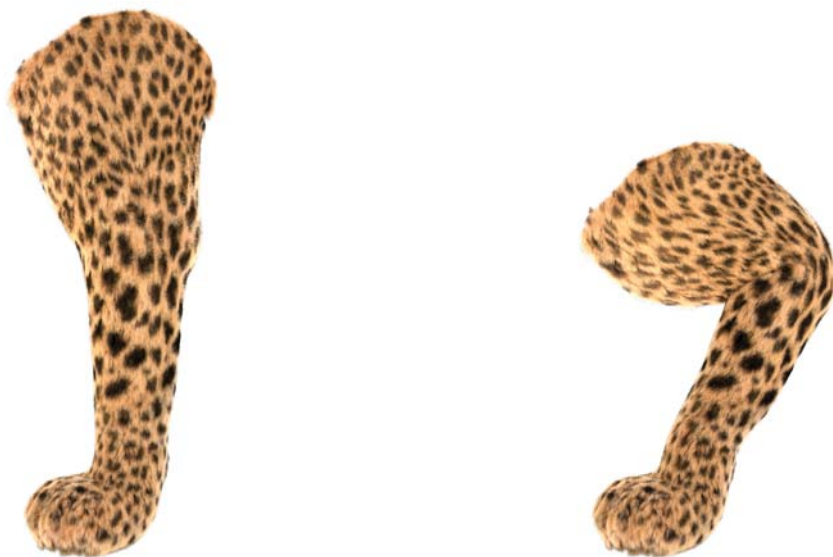


Abbildung 4.8: Durch den, für Haare optimierten, V-RayHair3Mt1 Shader entsteht ein sehr weicher und gesättigter Look.

Kapitel 5

Erstellung des Prototypen in Form einer Großkatzenszene mit Muskelsystem

5.1 Einleitung

Beim Erstellen eines 3D-Charakters wird zunächst das Mesh erstellt, das mit den üblichen Modellierungswerkzeugen bearbeitet wird.

Nachdem das Modell mit all seinen Details erstellt wurde, wird es mit einem Skelett versehen. Dieses Skelett ermöglicht es dem Modell über sogenannte *Controls* realistische Bewegungen zu vollziehen.

Jedoch hat dieses Rig einen erheblichen Nachteil, denn bei jeder Bewegung eines Lebewesens verformen sich in der Realität die Muskeln, was auch auf der Hautoberfläche zu sehen ist. Dies ist bei einem normalen Rig nicht der Fall. Um eine Verformung der Oberfläche zu ermöglichen, kann in *Maya* ein Muskelsystem auf das zuvor erstellte Rig angewandt werden. In diesem Kapitel wird der Prototyp aus Kapitel 4 *Analyse von Still Fell-Renderings ohne Muskelsystem* um ein solches Muskelsystem erweitert, um den Einfluss der Muskeln auf das erstellte Fell zu überprüfen.

5.2 Exemplarische Implementierung einer Großkatzen-Szene mit Muskelsystem

5.2.1 Modell und Szenenaufbau

Um einen möglichst direkten Vergleich zwischen den beiden Prototypen zu gewährleisten, wurde in diesem Kapitel das gleiche Leopardmodell von *Massimo Righi* verwendet wie schon in *Kapitel 4 Analyse von Still Fell-Renderings ohne Muskelsystem*.

Des Weiteren wurde auch das gleiche HDR-Panorama für das Image Based Lighting genutzt, damit die Unterschiede hauptsächlich im Muskelsystem liegen.

5.2.2 Das Muskelsystem

Das Muskelsystem des zweiten Prototypen besteht aus drei verschiedenen Muskeln, die primär für die Oberflächenverformung im Kniegelenk des Beines verantwortlich sind. Hierzu wurde ein Bizepsmuskel erstellt, der in seiner Form an das Modell, in entspannter Position der Gelenke, angepasst wurde. Als Gegenpart zum Bizeps wurde ein Trizepsmuskel implementiert, der mit dem Bizeps zusammen die obere Muskelpartie des Beines bildet.

Die unteren Muskeln des Beines haben nicht sonderlich viel Einfluss auf die Oberfläche. Aus diesem Grund wurde nur ein Muskel des unteren Beines erstellt, der ebenfalls die Bewegung des Kniegelenkes unterstützt und so zur Verformung der Haut in der Kniebeuge beiträgt.

Bei den Muskeln des Prototypen wurde auf die "Jiggle"-Eigenschaft, die das Nachschwingen der Muskeln nach einer Bewegung simuliert, verzichtet, da diese ausschließlich in Animationen zu sehen ist und keinen Einfluss auf die in dieser Arbeit erstellten Still-Images hat.

Damit es beim Rendern nicht zu Anzeigefehlern von Muskeln kommt, die durch die Oberfläche des Modells brechen, wurde deren Render-Parameter für die *Primary Visibility* ausgeschaltet, was dazu führt, dass die Muskeln im fertigen Rendering nicht zu sehen sind.

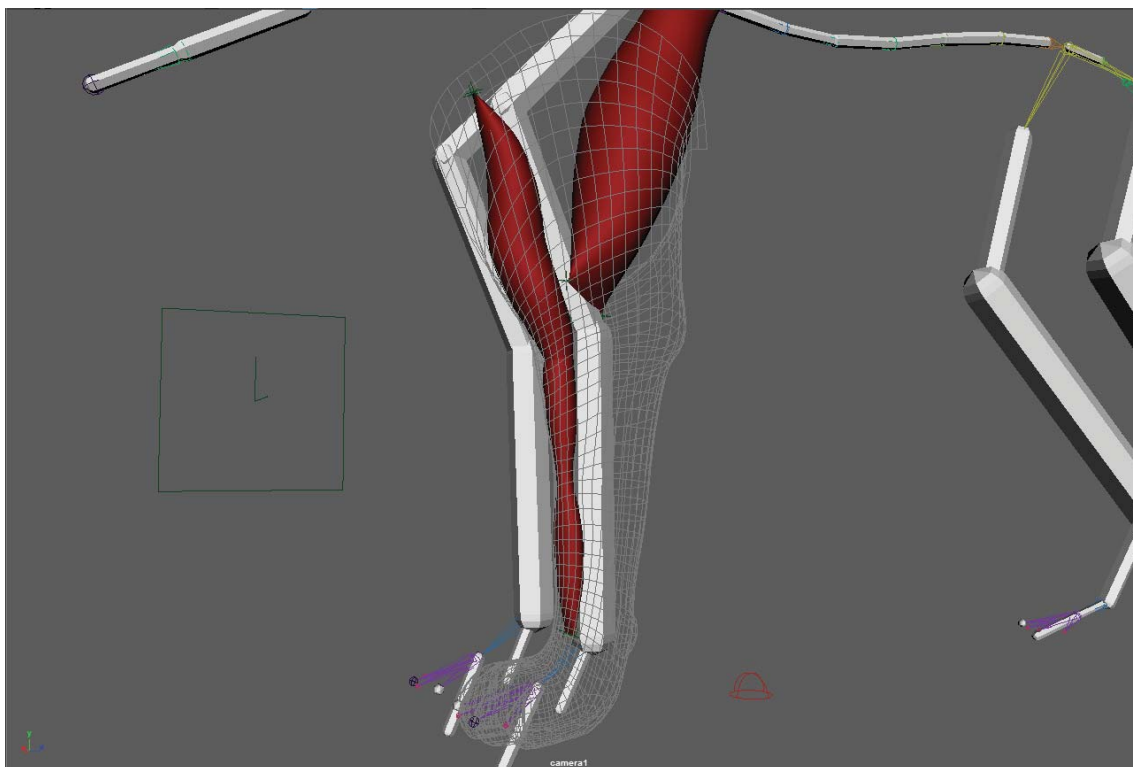


Abbildung 5.1: Das Muskelsystem wurde für den Prototypen auf ein Minimum reduziert, und besteht aus nur 3 Muskeln.

5.2.3 Das Fell

Das Fell des zweiten Prototypen besteht aus den selben Descriptions, wie das Fell des ersten Prototypen.

In der Description *Leg-Base-Fur* befinden sich die grundlegenden Haare des Fells, die für das charakteristische Aussehen des Haarkleides zuständig sind. Da es auch beim zweiten Prototypen beim Benutzen von Length-Maps laufend zu Fehlern kam, wurde die Länge des Fells manuell mit Hilfe des Lenght-Tools eingestellt.

Als Unterfell dient die Description *Leg_Under_Fur*, die das Erscheinungsbild des Fells sehr viel dichter wirken lässt. Des Weiteren wurden die selben Modifikatoren für die Struktur des Fells genutzt.

5.3 Ergebnis



Abbildung 5.2: Ohne den Noise Modifier wirkt das Fell sehr monoton und strukturlos. Es lässt sich, besonders im Ellenbogenbereich, eine starke Verformung, beim Beugen, durch die Muskeln erkennen

5. ERSTELLUNG DES PROTOTYPEN IN FORM EINER GROSSKATZENSZENE MIT MUSKELSYSTEM



Abbildung 5.3: Ohne den Clumping Modifier wirkt das Fell als wäre es perfekt gekämmt, was in der Natur, gerade bei wilden Tieren, nicht vorkommt.



Abbildung 5.4: Durch den normalen V-RayMt1 Shader wirkt das Fell entsättigt und die Übergänge der Farben sind sehr viel härter.



Abbildung 5.5: Durch den, für Haare optimierten, `VRayHair3Mt1` Shader entsteht ein sehr weicher und farbenfroher Look.

Kapitel 6

Analyse und Vergleich der messbaren Parameter der erstellten Prototypen

6.1 Einleitung

Bevor im nachfolgenden Kapitel die subjektiven Eindrücke von Probanden gesammelt werden, um daraus eine objektiv messbare Statistik zu generieren, werden in diesem Kapitel die messbaren Werte der Prototypen miteinander verglichen.

6.2 Gegenüberstellung der Prototypen



Abbildung 6.1: Die Ergebnisse mit dem V-RayHair3Mt1 im Vergleich. links: der Prototyp ohne Muskeln rechts: der Prototyp mit Muskeln.



Abbildung 6.2: Die Ergebnisse mit dem V-RayMt1 im Vergleich. links: der Prototyp ohne Muskeln rechts: der Prototyp mit Muskeln.



Abbildung 6.3: Die Ergebnisse, mit dem V-RayHair3Mtl jedoch ohne den Noise Modifikator, im Vergleich. links: der Prototyp ohne Muskeln rechts: der Prototyp mit Muskeln.



Abbildung 6.4: Die Ergebnisse, mit dem V-RayHair3Mtl jedoch ohne den Clumping Modifikator, im Vergleich. links: der Prototyp ohne Muskeln rechts: der Prototyp mit Muskeln

Die Unterschiede zwischen den Prototypen sind auf den ersten Blick zu sehen. Die Szenen mit Muskelsystem haben in gebeugter Position sehr an Volumen gewonnen, wodurch die Oberfläche verformt wurde. Am Gelenk kommt es zu Verformungen, wie sie auch in der

Realität zu beobachten sind, wodurch die die einzelnen Haare voneinander entfernen, und die Flecken des Fells somit sehr gestreckt werden.

6.3 Renderzeiten

Alle Renderings aus den Methodik-Kapiteln wurden auf dem selben Rechner erstellt. Die Spezifikationen dieses Rechners sind folgende:

Prozessor

Intel® Xeon® X5690 24x3,47 GHz

Grafikkarten

NVIDIA Quadro 6000
 NVIDIA Tesla C2050 / C2070
 NVIDIA Tesla C2050 / C2070
 Standard-VGA-Grafikkarte

Arbeitsspeicher

96,0 GB

Betriebssystem

Windows 7 Professional

Autodesk Maya Version

2016

VRay Version

3.10

Gerendert wurde auf der CPU, wobei die in der Tabelle 6.1 *Übersicht der Renderzeiten angegebenen* Zeiten nur für das Rendern selbst sind, und das *Pre-Processing*, während dem die einzelnen Haare gecached werden, nicht beachtet wurde.

Tabelle 6.1: Übersicht der Renderzeiten

Gestrecktes Bein			
Ohne Muskeln		Mit Muskeln	
Bildtyp	Renderzeit	Bildtyp	Renderzeit
mit VRayHair3Mtl	0h 18m 27s	mit VRayHair3Mtl	0h 17m 12s
mit VRayMtl	0h 12m 42s	mit VRayMtl	0h 19m 58s
ohne Noise Modifikator	0h 18m 27s	ohne Noise Modifikator	0h 19m 8s
ohne Clumping Modifikator	0h 18m 14s	ohne Clumping Modifikator	0h 18m 34s
Gebeugtes Bein			
mit VRayHair3Mtl	0h 14m 51s	mit VRayHair3Mtl	0h 16m 27,8s
mit VRayMtl	0h 16m 26s	mit VRayMtl	0h 11m 45s
ohne Noise Modifikator	0h 14m 37s	ohne Noise Modifikator	0h 16m 50s
ohne Clumping Modifikator	0h 14m 48s	ohne Clumping Modifikator	0h 16m 22s

Aus den gemessenen Renderzeiten lassen sich keine Schlüsse ziehen, die Aufschluss darüber geben könnten, ob eine bestimmte Einstellung sich positiv auf die Renderzeiten auswirkt. Jedoch lässt sich sagen, dass zwischen dem `VRayHair3Mtl` und dem `VRayMtl` kein gravierender Unterschied in der Renderzeit zu messen war, was sehr für das `VRayHair3Mtl` spricht, da davon auszugehen war, dass durch das vom Shader simulierte Subsurface Scattering eine erhöhte Renderzeit zu messen ist.

Des Weiteren lässt sich zwischen den beiden Prototypen mit und ohne Muskelsystem keine erhebliche Veränderung der Renderzeit beobachten. Bei den Unterschieden der Renderzeiten muss davon ausgegangen werden, dass der Computer mit weiteren Threads beschäftigt war, die während des Renderns Ressourcen besetzt haben.

Auch wenn das Muskelsystem scheinbar keinen Einfluss auf die Renderzeiten hat, muss berücksichtigt werden, dass die Erstellung eines Muskelsystems ein sehr aufwändiger Prozess ist, und gegebenenfalls mehrere Wochen in Anspruch nehmen kann.



Abbildung 6.5: Die erstellte Base_Fur-Descriptions angewandt auf das komplette Modell

Kapitel 7

Evaluation

7.1 Einleitung

Nachdem in den beiden Methodik Kapiteln 4 *Analyse von Still Fell-Renderings ohne Muskelsystem* und 5 *Erstellung des Prototypen in Form einer Großkatzenszene mit Muskelsystem* mit Hilfe des *Maya* internen Plugins *XGen* jeweils das linke Vorderbein des von *Massimo Righi* erstellten, Leopard-Modells mit einem Fell versehen und die Ergebnisse auf ihren optischen Eindruck, Handhabung und Renderzeiten analysiert wurden, folgt in diesem Kapitel nun die Evaluation dieser Ergebnisse.

Durch die Evaluation wird versucht, die subjektiven Parameter der Felle greifbar und durch eine statistische Auswertung im Nachhinein objektiv messbar zu machen. Dabei soll zunächst ermittelt werden, welche Parameter für den Betrachter besonders wichtig sind, damit ein Fell realistisch am Computer nachgestellt werden kann. Des Weiteren soll eine Antwort auf die Frage gefunden werden, ob ein Muskelsystem bei der Generierung von einzelnen Bildern, in denen ein Fell dargestellt wird, von Vorteil ist.

7.2 Ermitteln der zu evaluierenden Parameter

Zunächst gilt es jedoch zu ermitteln, welche Parameter in dieser Evaluation ermittelt werden sollen. Als erstes sollen die beiden erstellten Shader, *VRayHair3Mt1* und *VRayMt1* miteinander verglichen werden, um die Relevanz des Beleuchtungsmodells von Marschner (siehe 2.3.2) für den Realismusgrad von Fell zu messen. Des Weiteren soll der Einfluss der Modifier in den *XGen* Descriptions auf das Fell überprüft werden, indem die gleiche Szene einmal mit und einmal ohne den jeweiligen Modifier dargestellt wird.

7.3 Konzept

Die Evaluation besteht aus fünf Abschnitten:

1. Demografische Erhebung (zur Einordnung der Tests)

1 → Geschlecht / Sex*

weiblich / female männlich / male

2 → Alter / Age*

A 10-30 B 31-40 C 41-60 D 61+

3 → Haben Sie Berührungspunkte mit einer 3D-Software (Maya, 3DsMax, Cinema4D...) / Do you have touch points with a 3D-Software of any kind (Maya, 3DsMax, Cinema4D...)*

Ja sehr häufig / yes pretty often

ja aber eher selten / yes but rather less often

nein / no

0 von 17 beantwortet

Erstellen Sie Ihr eigenes Typemart...

Abbildung 7.1: Oberfläche des Webportals für die demografische Erhebung.

2. Foto oder Computergeneriert-Test (Zur Einordnung des Fotorealismus des finalisierten Prototypen)
3. Vergleichstest (Gegenüberstellung verschiedener Parameter zur Ermittlung ihres Einflusses auf den Betrachter)
4. Realismusskala (Ermittlung des Realismusgrades der erstellten Bilder)
5. Optionale Meinungserhebung

Damit für die Evaluation eine möglichst breit gefächerte Probanden-Menge erreicht wird, wurde zur Erstellung der Umfrage die online-Plattform Typeform¹ genutzt. Dies ermöglichte es, Personen über E-Mail, Facebook und weitere soziale Medien für die Umfrage zu gewinnen. Außerdem war es für die Probanden auf diese Weise möglich, an jedem Ort und zu jeder Zeit mit einem Smartphone an der Befragung teilzunehmen und die Evaluation an Freunde und Bekannte weiterzuleiten.

Die Umfrage wurde vollkommen anonym durchgeführt. Durch die demographische Erhebung wurden lediglich Alter, Geschlecht und Erfahrung im Umgang mit 3D-Software ermittelt. Anhand dieser Daten soll ermittelt werden, ob Alter, Geschlecht oder Vorkenntnisse Auswirkung auf die Antworten der Probanden haben.

Nachdem die demographischen Daten erhoben wurden, beginnt die eigentliche Evaluation mit zwei Bildern, bei denen der Befragte jeweils wählen muss, ob er das gezeigte Bild für ein Foto oder ein am Computer entstandenes Bild hält. Bei einem der beiden Bilder handelte es

¹<https://pascal104.typeform.com/to/fpTdFP> Stand: 19.02.2017



Abbildung 7.2: Oberfläche des Webportals für den *Foto oder Computergeneriert*-Test.

sich um eines in dieser Arbeit prototypisch erstelltes Rendering. Diese Fragen sollen auf eine sehr simple Weise ermitteln, ob der Proband die generierten Prototypen von einem realen Foto unterscheiden kann.

Als nächstes folgt der wichtigste Teil der Evaluation. Im Vergleichstest sollen die verschiedenen Parameter miteinander verglichen werden. Zu diesem Zweck wurden fünf Gegenüberstellungen entwickelt (siehe Abbildung 7.3). Durch diesen Test soll ermittelt werden, welche Parameter einen positiven Einfluss auf den Eindruck des Betrachters haben.

Im ersten Vergleich wird zweimal das gleiche Bild gegenübergestellt, um eine Referenz zu ermitteln und zu erfahren, ob der Proband sich intensiv mit den Bildern auseinandergesetzt hat. Bei jeder Vergleichsfrage gibt es die Möglichkeit *kein Unterschied* auszuwählen, sollte der Befragte keine Unterschiede zwischen den Bildern ausmachen können. In den weiteren Befragungen wurden folgende Parameter gegenübergestellt:

1. VRayMtl - VRayHair3Mtl (Vergleich zwischen einem Standard- und einem Hairshader)
2. Muskeln - Keine Muskeln (Vergleich zwischen den beiden erstellten Prototypen)
3. Noise Modifikator - Kein Noise Modifikator (Vergleich zwischen dem Fell mit und ohne den Noise Modifikator)
4. Clumping Modifikator - Kein Clumping Modifikator (Vergleich zwischen dem Fell mit und ohne den Clumping Modifikator)



Abbildung 7.3: Oberfläche des Webportals für den Vergleichstest der Parameter

Im Anschluss an den Vergleichstest folgen Skalen von 1 bis 10, auf denen der Befragte angeben soll, für wie realistisch er das dargestellte Bild hält, wobei 1 für *extrem unrealistisch* und 10 für *absolut fotorealistisch* steht. Die Meinung der Probanden wird anhand von vier verschiedenen Bildern eingeholt:

1. Prototyp 2 in gebeugter Position mit VRayHair3Mtl
2. Prototyp 2 in gebeugter Position mit VRayMtl
3. Prototyp 1 in gebeugter Position mit VRayHair3Mtl
4. Prototyp 1 in gebeugter Position mit VRayMtl

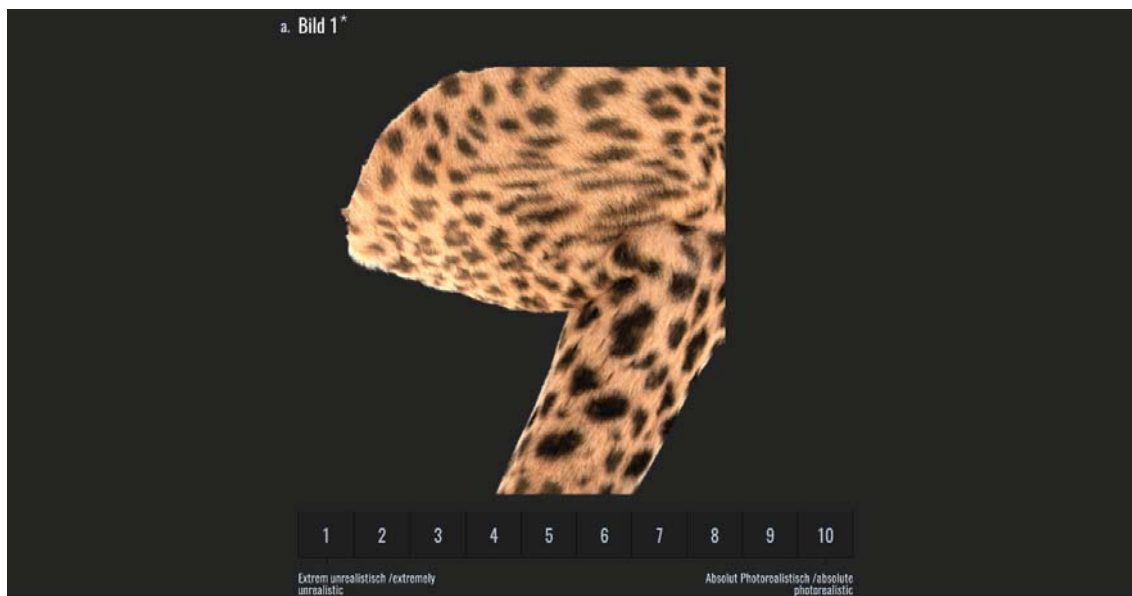


Abbildung 7.4: Oberfläche des Webportals für die Realismusskalen

Zum Ende der Evaluation folgen drei optionale Fragen, in denen der Befragte seine persönliche Meinung zum Thema Fell und Tieren in Filmen abgeben kann. Die Fragen sind folgende:

1. Was ist Ihrer Meinung nach wichtig, damit ein Fell, das am Computer generiert wurde, aussieht wie das eines echten Tieres?
2. Gibt es Ihrer Meinung nach Filme, die das Darstellen von digitalen Tieren besonders **gut** gemacht haben?
3. Gibt es Ihrer Meinung nach Filme, die das Darstellen von digitalen Tieren besonders **schlecht** gemacht haben?

7.4 Statistische Auswertung

Nachdem die Daten durch die Evaluation erhoben wurden, folgt in diesem Abschnitt nun die statistische Auswertung dieser.

Alle Tests wurden mit der Studenten Version der Software *SYSTAT*, *MYSTAT* durchgeführt [Sys09].

7.4.1 Auswertung der Demographischen Fragen

Insgesamt nahmen 88 Personen an der Befragung teil. Unter den Befragten befanden sich 32 Frauen und 56 Männer.

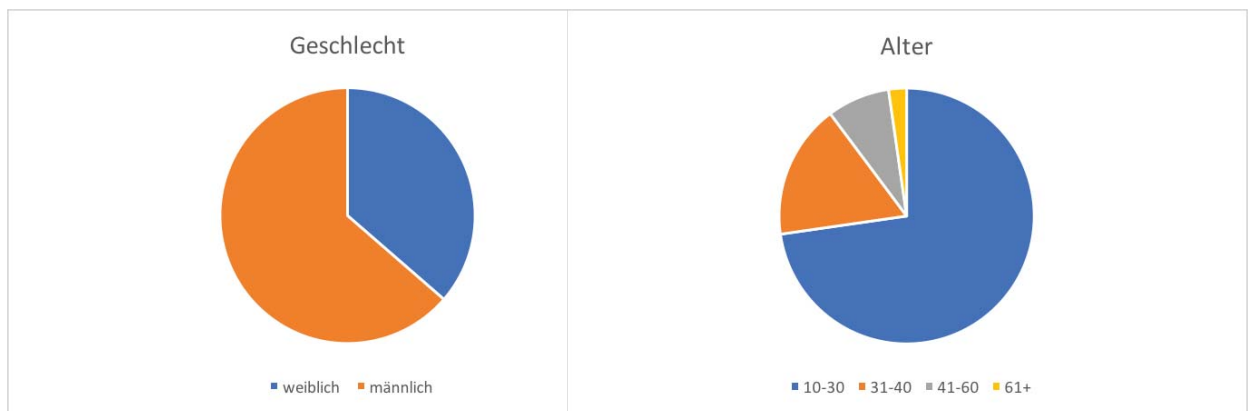


Abbildung 7.5: Verteilung Geschlecht

Abbildung 7.6: Verteilung Alter

Der Großteil der Befragten (73%) befindet sich im Alter von 10-30 Jahren, die 31-40 Jährigen machen 17% der Befragten aus. Damit hat die Evaluation im Groben die Hauptzielgruppe der Kinobesucher, laut *Filmförderungsanstalt*, getroffen [Fil16]. Mit 61% hat ein Großteil der Befragten keinerlei Vorkenntnisse in der Benutzung einer 3D-Software. 23% gaben an, zwar Vorkenntnisse zu haben, aber eher selten mit einer Software wie *Maya*, *3ds Max* oder *Cinema4D* zu tun zu haben. Nur 16% gaben an, sehr häufig mit einer 3D-Software zu arbeiten.



Abbildung 7.7: Verteilung der Befragten mit Vorkenntnissen mit einer 3D-Software.

7.4.2 Auswertung der Bewertungsskalen

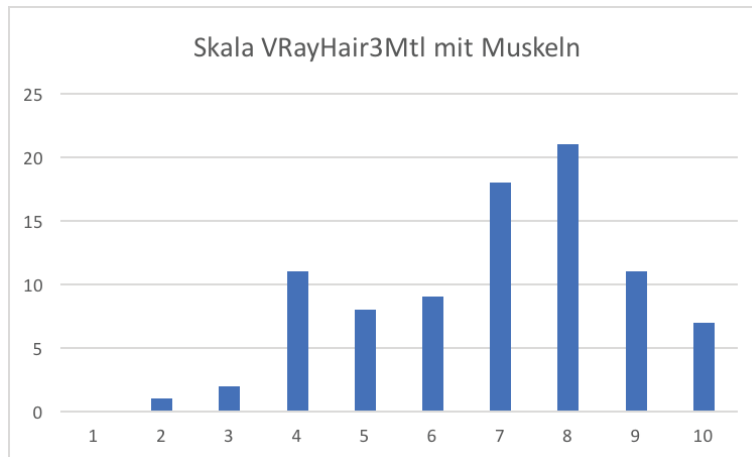


Abbildung 7.8: Diagramm über die Bewertungen des Bildes mit V-RayHair3Mtl mit Muskelsystem.

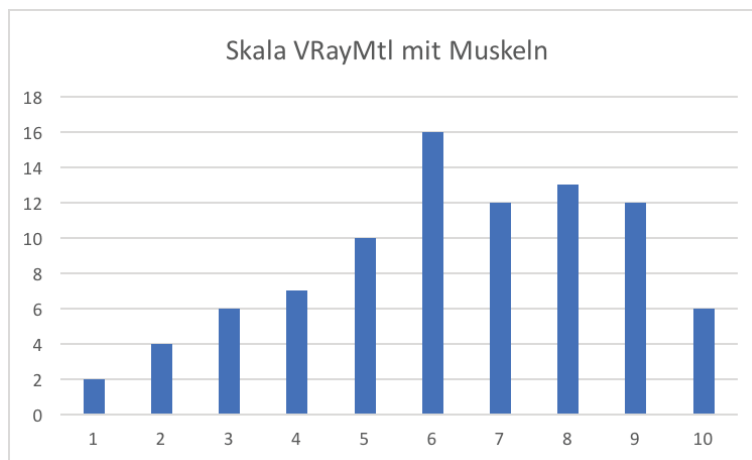


Abbildung 7.9: Diagramm über die Bewertungen des Bildes mit V-RayMtl mit Muskelsystem

Im Folgenden wurden die abgegebenen Bewertungen in den Bewertungsskalen miteinander verglichen, um zu überprüfen ob sich ein bestimmter Parameter gegenüber einen anderen Parameter durchsetzt.

Am Signifikanzniveau von 5% gemessen, ließ sich durch den Wilcoxon Vorzeichen Test nachweisen, dass die Befragten im Schnitt das Bild, das mit dem V-RayHair3Mtl und einem Muskelsystem versehen war (siehe Abbildung 7.8), für realistischer hielten, als das Bild, das mit einem V-RayMtl und einem Muskelsystem versehen war (siehe Abbildung 7.9). war (Siehe

Abbildung 7.9). Die Irrtumswahrscheinlichkeit des durchgeführten Tests liegt bei 2,4% mit einem p-value von 0,024.

Tabelle 7.1: Wilcoxon Vorzeichen Test zwischen den Shadern mit Muskelsystem.

	VRayHair3Mtl + Muskeln	VRayMtl + Muskeln
VRayHair3Mtl + Muskeln	1,000	
VRayMtl + Muskeln	0,024	1,000

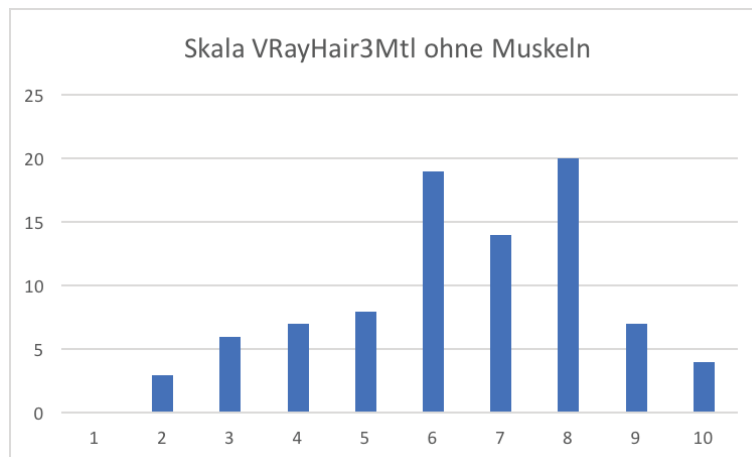


Abbildung 7.10: Diagramm über die Bewertungen des Bildes mit VRayHair3Mtl ohne Muskelsystem

Durch den Wilcoxon Vorzeichen Test zwischen dem Bild mit VRayHair3Mtl und Muskelsystem (siehe Abbildung 7.8) und dem Bild mit VRayHair3Mtl ohne Muskelsystem (siehe Abbildung 7.10) konnte mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1,7% und einem p-value von 0,017 nachgewiesen werden, das die Befragten das Bild mit Muskelsystem im Durchschnitt für realistischer hielten.

Tabelle 7.2: Wilcoxon Vorzeichen Test zwischen den VRayHair3Mtl Bildern mit und ohne Muskelsystem.

	VRayHair3Mtl + Muskeln	VRayHair3Mtl - Muskeln
VRayHair3Mtl + Muskeln	1,000	
VRayHair3Mtl - Muskeln	0,017	1,000

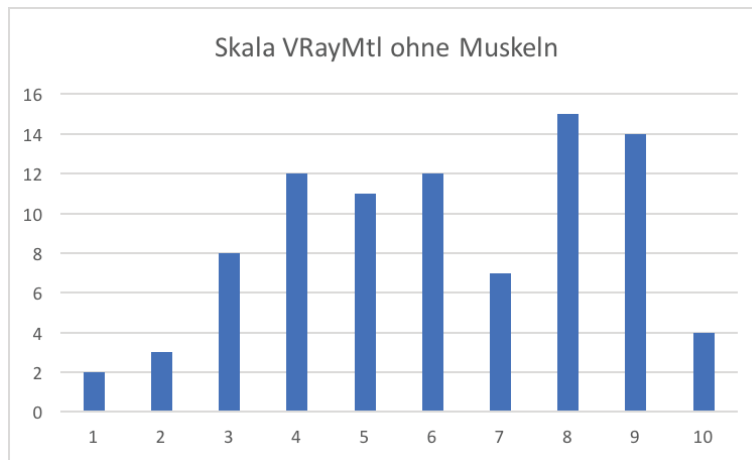


Abbildung 7.11: Diagramm über die Bewertungen des Bildes mit VRayMtl ohne Muskelsystem.

Ein Unterschied in der Bewertung der beiden Bilder ohne Muskelsystem (siehe Abbildung 7.10 und 7.11), konnte durch den Wilcoxon Vorzeichen Test nicht nachgewiesen werden, da die Irrtumswahrscheinlichkeit mit 24,7% über der Schwelle von 5% liegt.

Tabelle 7.3: Wilcoxon Vorzeichen Test zwischen den Shadern ohne Muskelsystem

	VRayHair3Mtl - Muskeln	VRayMtl - Muskeln
VRayHair3Mtl - Muskeln	1,000	
VRayMtl - Muskeln	0,247	1,000

Tabelle 7.4: Deskriptive Statistik

	Bild1	Bild2	Bild3	Bild4
N of Cases	88	88	88	88
Minimum	2,000	1,000	2,000	1,000
Maximum	10,000	10,000	10,000	10,000
Median	7,000	6,000	7,000	6,000
Arithmetic Mean	6,920	6,341	6,443	6,159
Standard Deviation	1,931	2,309	1,982	2,358

Bild1 VRayHair3Mtl + Muskeln

Bild2 VRayMtl + Muskeln

Bild3 VRayHair3Mtl - Muskeln

Bild4 VRayMtl - Muskeln

7.4.3 Auswertung der Fake oder Foto-Tests

Im Schnitt haben die Befragten beim ersten *Fake oder Foto*-Test erkannt, dass es sich beim gezeigten Bild um ein Foto handelte, lediglich ein Viertel der Probanden hielt es für computergeneriert (siehe Abbildung 7.12).

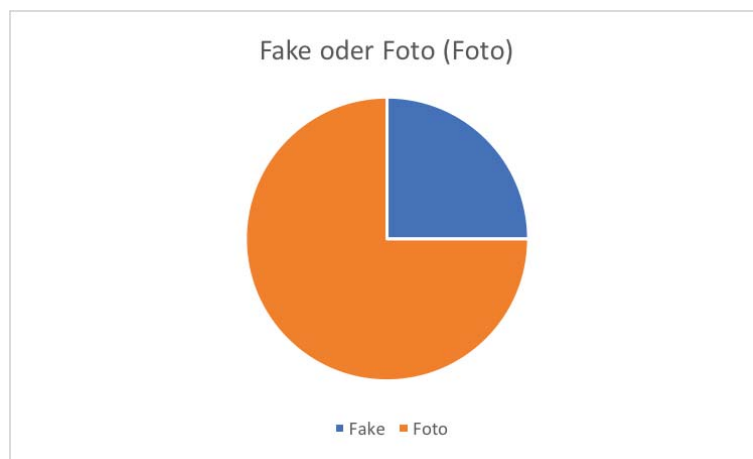


Abbildung 7.12: Diagramm Verteilung der Antworten im ersten *Fake oder Foto*-Test.

Mit Hilfe eines Chi-Quadrat-Tests, sollte überprüft werden, ob Personen, die Berührungspunkte mit einer 3D-Software haben, im ersten *Fake oder Foto*-Test eher das Foto erkannt haben, als Personen ohne Vorkenntnisse. Jedoch ist der Einfluss von Vorkenntnissen auf das richtige Beantworten des ersten Tests nicht nachweisbar, da die Irrtumswahrscheinlichkeit mit 22,3% über der 5%-Schwelle liegt.

Tabelle 7.5: Chi-Quadrat-Test Einfluss von Vorkenntnisse auf Antwort in *Fake oder Foto*-Test 1.

Test Statistic	Value	df	p-value
Pearson Chi-square	2,998	2,000	0,223

Im zweiten *Fake oder Foto*-Test haben mehr Personen das gezeigte Bild als computergeneriert erkannt, lediglich 14% der Befragten hielten das Bild für ein Foto (siehe Abbildung 7.13).



Abbildung 7.13: Diagramm Verteilung der Antworten im zweiten *Fake oder Foto*-Test.

Auch für den zweiten Fake oder Foto-Test konnte mit Hilfe des Chi-Quadrat-Test nicht nachgewiesen werden, dass Berührungspunkte mit einer 3D-Software positiv dazu beitragen, das gezeigte Bild als computergeneriert zu erkennen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit im Test lag mit 74,2% weit über der 5% Schwelle.

Tabelle 7.6: Chi-Quadrat-Test Einfluss von Vorkenntnisse auf Antwort in Fake oder Foto-Test 2

Test Statistic	Value	df	p-value
Pearson Chi-square	0,597	2,000	0,742

Im nächsten Schritt sollte der Einfluss des Alters auf das Erkennen von Fotos und computergenerierten Inhalten ermittelt werden.

Durch einen Chi-Quadrat-Test lies sich im ersten *Fake oder Foto*-Test kein Einfluss nachweisen, da die Irrtumswahrscheinlichkeit mit 56,1% zu hoch war. Im Chi-Quadrat-Test für den zweiten *Fake oder Foto*-Test lies sich zwar eine Einfluss des Alters nachweisen, jedoch ist das Ergebnis durch eine zu geringe Anzahl von Probanden im Alter über 60 Jahren als nicht aussagekräftig zu bezeichnen.

Tabelle 7.7: Chi-Quadrat-Test Einfluss des Alters auf Antwort in *Fake oder Foto*-Test 1

Test Statistic	Value	df	p-value
Pearson Chi-square	2,057	3,000	0,561

Tabelle 7.8: Chi-Quadrat-Test Einfluss des Alters auf Antwort in *Fake oder Foto*-Test 2

Test Statistic	Value	df	p-value
Pearson Chi-square	15,102	3,000	0,002

Als nächstes wurde überprüft, ob sich das Geschlecht auf das Erkennen von Fotos und computergenerierten Inhalten auswirkt. Zu diesem Zweck wurde erneut ein Chi-Quadrat-Test für die beiden *Fake oder Foto*-Tests durchgeführt. Im ersten Test konnte kein Unterschied nachgewiesen werden, da die Irrtumswahrscheinlichkeit mit 30,6% über dem 5% Schwellenwert lag. Ebenso konnte auch im zweiten Test kein Unterschied zwischen männlich und weiblich nachgewiesen werden. Die Irrtumswahrscheinlichkeit lag hier bei 81,4%.

Tabelle 7.9: Chi-Quadrat-Test Einfluss des Geschlechts auf Antwort in *Fake oder Foto*-Test 1

Test Statistic	Value	df	p-value
Pearson Chi-square	1,048	1,000	0,306

Tabelle 7.10: Chi-Quadrat-Test Einfluss des Geschlechts auf Antwort in *Fake oder Foto*-Test 2

Test Statistic	Value	df	p-value
Pearson Chi-square	0,055	1,000	0,814

Im letzten Schritt der Auswertung wurde überprüft, ob Probanden, die in den *Fake oder Foto*-Tests richtig lagen, im Schnitt eine bessere oder schlechtere Note in den Bewertungsskalen abgegeben haben, als die Probanden, die in den *Fake oder Foto*-Tests falsch lagen. Jedoch lies sich der Test in keinem Fall bestätigen, da die Irrtumswahrscheinlichkeiten jedes mal über dem Schwellenwert von 5% lagen.

Tabelle 7.11: Einfluss von *Fake oder Foto*-Test 1 Antwort auf Bewertungsskala 1

Difference in Means	: -0,803
95,00% Confidence Interval	: -1,738 to 0,132
t	: -1,708
df	: 86,000
p-value	: 0,091

Tabelle 7.12: Einfluss von *Fake oder Foto*-Test 2 Antwort auf Bewertungsskala 1

Difference in Means	: -0,092
95,00% Confidence Interval	: -1,291 to 1,107
t	: -0,153
df	: 86,000
p-value	: 0,879

Tabelle 7.13: Einfluss von *Fake oder Foto*-Test 1 Antwort auf Bewertungsskala 2

Difference in Means	: -0,515
95,00% Confidence Interval	: -1,646 to 0,616
t	: -0,905
df	: 86,000
p-value	: 0,368

Tabelle 7.14: Einfluss von *Fake oder Foto*-Test 2 Antwort auf Bewertungsskala 2

Difference in Means	: -0,377
95,00% Confidence Interval	: -1,809 to 1,055
t	: -0,524
df	: 86,000
p-value	: 0,602

Tabelle 7.15: Einfluss von *Fake oder Foto*-Test 1 Antwort auf Bewertungsskala 3

Difference in Means	: -0,348
95,00% Confidence Interval	: -1,321 to 0,624
t	: -0,712
df	: 86,000
p-value	: 0,478

Tabelle 7.16: Einfluss von *Fake oder Foto*-Test 2 Antwort auf Bewertungsskala 3

Difference in Means	: -0,934
95,00% Confidence Interval	: -2,149 to 0,280
t	: -1,529
df	: 86,000
p-value	: 0,130

Tabelle 7.17: Einfluss von *Fake oder Foto*-Test 1 Antwort auf Bewertungsskala 4

Difference in Means	: -0,273
95,00% Confidence Interval	: -1,432 to 0,887
t	: -0,468
df	: 86,000
p-value	: 0,641

Tabelle 7.18: Einfluss von *Fake oder Foto*-Test 2 Antwort auf Bewertungsskala 4

Difference in Means	: -0,298
95,00% Confidence Interval	: -1,761 to 1,165
t	: -0,405
df	: 86,000
p-value	: 0,686

Die gemessenen Durchschnittsbewertungen, lassen sich in Tabelle 7.19 nachlesen.

Tabelle 7.19: Durchschnittswertungen der Bewertungsskalen aufgeteilt nach Antworten in den *Fake oder Foto*-Tests

	Bild1	Bild2	Bild3	Bild4
Fake oder Foto 1 richtig	7,121	6,530	6,470	6,227
Fake oder Foto 1 falsch	6,318	6,182	5,955	5,955
Fake oder Foto 2 richtig	6,908	6,316	6,289	6,118
Fake oder Foto 2 falsch	7,000	7,250	6,667	6,417

Bild1 VRayHair3Mtl + Muskeln

Bild2 VRayHair3Mtl - Muskeln

Bild3 VRayMtl + Muskeln

Bild4 VRayMtl - Muskeln

7.5 Zusammenfassung und Interpretation

Aufgrund von zu hohen Streuungen in den Ergebnissen, ließen sich einige der zuvor gestellten Hypothesen nicht nachweisen.

Jedoch lässt sich sagen, dass für den Betrachter ein Fell mit einem physikalisch plausiblen Haar Shader realistischer wirkt, als ein normaler Shader ohne *Subsurface Scattering* Eigenschaften. Dies liegt zum großen Teil an den weicheren Übergängen der Farben. Im Bild mit dem VRayMtl waren die typischen Flecken des Leoparden tief schwarz, und ließen zum Teil keine Kontraste mehr sehen. Im Bild mit dem VRayHair3Mtl waren diese Flecken sehr viel heller und eher bräunlich gefärbt, was es für den Betrachter ermöglichte, auch in diesen dunklen Stellen noch Haare zu erkennen.

Des Weiteren lässt sich nachweisen, dass sich das Muskelsystem in beiden Fällen positiv auf den Realismusgrad des Tieres und somit auch auf das generierte Bild auswirkt. Dies hängt wohl hauptsächlich damit zusammen, dass die Muskeln in den Gelenkbereichen zu realistischeren Verformungen führen, und somit das Bild dynamischer gestalten.

Im Groben lässt sich in den durchschnittlichen Bewertungen der Bilder im dritten teil der Evaluation, ein Trend erkennen, in dem sich die Kombination aus korrektem Shader und Muskelsystem gegenüber den Bildern mit nur einem dieser Parameter durchsetzt.

Es lässt sich in den Tests kein Einfluss von Alter, Geschlecht oder Vorkenntnissen im Umgang mit 3D-Software auf die abgegebenen Bewertungen nachweisen, was ebenfalls an einer zu großen Streuung in den Antworten und der Ungleichverteilung der Altersgruppen liegt. Es lässt sich aber sagen, dass der Einfluss einer digitalisierten Welt das Empfinden von realistischen und unrealistischen Bildern verändert. In den optionalen Fragen der Evaluation, in denen der Befragte Beispiele für Filme nennen konnte, die das Darstellen von digitalen Tieren besonders gut oder besonders schlecht gemacht haben, wurden hauptsächlich aktuelle Kino-Blockbuster wie *The Revenant*, *The Jungle Book* und *Planet of the Apes* als positives Beispiel genannt. Vor einigen Jahren jedoch beeindruckten Filme wie *Der weiße Hai*, *Jurassic Park* und *Die unendliche Geschichte*, in denen Tiere und andere Lebewesen nach heutigem Standard extrem unrealistisch dargestellt wurden (siehe Abbildung 7.14). Somit lässt sich sagen, dass die Erwartungshaltung der Betrachter mit der Technik und der Rechenleistung der Film- und Werbestudios steigt, sodass in Zukunft ein Bild nur dann vom Zuschauer als perfekt erkannt wird, wenn es tatsächlich ein perfektes Abbild der Realität darstellt.



Abbildung 7.14: Links: Andy Serkis in seiner Rolle als Caesar in *Planet of the Apes* ©2014 Twentieth Century Fox Film Corporation. Rechts: Das Fabelwesen Fuchur aus dem Film *Die unendliche Geschichte* ©1984 Warner Bros. Entertainment.

Quelle: <http://www.rollingstone.com> (Zuletzt abgerufen: 12.03.2017)

Quelle: <http://www.n-tv.de> (Zuletzt abgerufen: 12.03.2017)

Kapitel 8

Zusammenfassung und Ausblick

8.1 Zusammenfassung

Jedes Jahr kommen neue große Filmproduktionen in die Kinos, welche die Zuschauer jedes mal erneut vor die Frage stellen, ob das Gesehene nun echt oder computergeneriert ist. Filme wie *The Junglebook* oder *The Legend of Tarzan* haben in den letzten Jahren bewiesen, dass das Potenzial digitaler Inhalte, insbesondere bei der Darstellung von Tieren, noch lange nicht ausgeschöpft ist. Besonders bei der Generierung von Haaren in einem Fell ist noch sehr viel Luft nach oben, wenn auch die aktuellsten Ergebnisse nicht mehr viel zu wünschen übrig lassen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Hypothese überprüft, ob sich ein Muskelsystem, in einem digitalen Tier positiv auf das Erstellen von Still-Renderings auswirkt.

Zu diesem Zweck wurden zwei Prototypen entwickelt. Der erste Prototyp wurde auf Grundlage des Leopardens-Modells von *Massimo Righi* erstellt. Von diesem Modell wurde das linke Vorderbein genommen, und es mit Hilfe des *Maya*-Plugins *XGen* mit einem Fell versehen. Das Modell von *Massimo Righi* wurde gewählt, da es bereits über ein sehr gutes Rig verfügt und texturiert wurde.

Im ersten Schritt wurde das Fell des Prototypen erstellt, wobei versucht wurde, so nah wie möglich an der Realität zu bleiben. Das bedeutet, dass das Fell mit Eigenschaften wie "kräuseln" und "verklumpen" versehen wurde.

Der zweite Prototyp besteht aus den selben Felleigenschaften wie der erste, jedoch wurde das Rig des Modells um ein Muskelsystem erweitert. Dieses Muskelsystem erlaubt es, die Geometrie, beim Positionieren des Beines so zu verformen, wie es in der Natur üblich ist.

Im Anschluss wurden zunächst die objektiven, und somit messbaren Parameter der beiden Prototypen miteinander verglichen, bevor im Kapitel 7 *Evaluation*, die subjektiven Eindrücke von 88 Probanden gesammelt wurden, und mit Hilfe des Programmes *sysstat* ausgewertet wurden, um aus diesen Eindrücken eine objektive Bewertung zu generieren. Dies war nötig, da es für das Bewerten von Realismus keine einheitlichen Standards gibt, sondern immer vom betrachtenden Individuum abhängt.

Abschließend lässt sich sagen, dass für ein digitales Fell die Wahl eines physikalisch annähernd korrekten Haar Shader unerlässlich ist. Erst durch die Benutzung eines speziell für Haare

entwickelten Materials, können Eigenschaften wie das Subsurface Scattering und der in Richtung Haarwurzel versetzte Glanz sichtbar gemacht werden. Das in dieser Thesis verwendete `VRayHair3Mtl` hat darüber hinaus, beim Rendern der Prototypen keine Nachteile in der Renderzeit gegenüber einem regulären `VRayMtl` gezeigt.

In der Evaluation lässt sich ein Trend in den Bewertungen erkennen, der das Zusammenspiel von korrektem Shader und Muskelsystem befürwortet.

Jedoch ist die Wahl eines Muskelsystems nur dann für Still-Renderings von Vorteil, wenn ein bestehendes Modell in Position gebracht werden soll und die Geometrie nachträglich nicht verändert werden kann oder darf. Gibt es für den 3D-Artist allerdings nur die Vorgabe eine einzige Position des Tieres zu rendern, sollte überlegt werden, das Tier in dieser Position zu modellieren und somit jede Feinheit der Muskeln als Geometrie selbst zu erstellen.

8.2 Ausblick

Am Ende dieser Arbeit bleiben selbstverständlich noch einige Fragen offen. In diesem Abschnitt soll ein Ausblick darüber gegeben werden, was in Zukunft noch erforscht werden muss.

Ein großer und wichtiger Punkt ist, dass in dieser Arbeit ausschließlich Still-Renderings erstellt und evaluiert wurden. Der Einfluss eines Muskelsystems ist aber gerade in Animationen besonders stark wahrzunehmen, da auf diese Weise Muskelpartien wie in der Realität verformt werden und auch ein Nachschwingen dieser zu sehen ist. Jedoch stellt ein solches System eine große Herausforderung an das Fell, da Haare nicht statisch sind, und sie durch die Bewegung der Oberfläche ebenfalls in Schwung geraten.

Des Weiteren wäre es interessant, verschiedene Haar Shader von unterschiedlichen Rendern miteinander zu vergleichen, und auf deren objektiven Parameter zu untersuchen. Auch ein Vergleich zu einem Kajiy-Kay basierten Shader wäre an dieser Stelle interessant zu untersuchen.

Das Fell dieser Arbeit wurde komplett mit dem *Maya* internen Plugin *XGen* erstellt, jedoch gibt es auch noch weitere Tools und Plugins die versprechen, in wenigen Schritten ein realistisches Fell generieren zu können. Diese Programme mit *XGen* zu vergleichen, und zu versuchen, die Anzahl der einzelnen Haare im Fell höher als in den erstellten Prototypen einzustellen, wäre ein weiterer Parameter, den es zu untersuchen und evaluieren gilt. Da das erstellte Fell in den Prototypen mit ca. 10% der Haare eines echten Fells generiert wurden, wäre es interessant herauszufinden, ob die Anzahl der einzelnen Haare sich positiv auf das Aussehen des Fells auswirkt, und ob es eine Grenze gibt, ab der die Anzahl keinen Unterschied mehr macht.

Glossar

CG	Abkürzung für Computer Generated.
Renderer	Software für die physikalische Berechnung eines Computer generierten Bildes anhand eines 2D oder 3D Modells.
VRay	Renderer der Firma Chaosgroup
rendern	Bezeichnung für den Berechnungsprozess des Computer generierten Bildes anhand eines 2D oder 3D Modells.
xGen	Plugin für Maya, mit welchem Geometrie auf einer Oberfläche verteilt werden kann, wie z.B. Haare.
Maya Muscle	Plugin für Maya, mit welchem Muskeln interaktiv erstellt werden können, welche die Geometrie beeinflussen können um realistische Muskelbewegungen zu simulieren.
Subsurface Scattering	Zu deutsch Volumenstreuung. Streuung von Lichtstrahlen innerhalb eines Körpers. siehe Kapitel 1.1
Aliasing	Fehler beim Abtastvorgang des Bildes, wobei Muster entstehen welche nicht im Originalbild enthalten sind.
Dielektrikum	Nahezu jedes nicht metallische Material ist ein Dielektrikum und weist spezielle Eigenschaften auf, wie beispielsweise eine diffuse Reflexion.
Azimut	Als Aziumt bezeichnet man den Winkel zwischen der Meridianebene und der Vertikalebene.
Ptex-Map	Ein von <i>Pixar</i> entwickeltes Dateiformat, welches es erlaubt Geometrie ohne ein UV-Mapping zu texturieren. Jedoch ist dieses Format vom Menschen nicht lesbar.
Image Based Lighting	Kurz IBL, beschreibt ein Verfahren zum Beleuchten einer Szene mit Hilfe von 360° HDR-Panoramabildern, wodurch besonders realistische Beleuchtungssituationen und Reflexionen geschaffen werden.

Literaturverzeichnis

- [ACAN10] ALVAREZ-CEDILLO, Jesus ; ALMANZA-NIETO, Roberto: Three Dimensional Hair Model by means of Particles using Blender. In: *Research in Science Education* (2010)
- [AH12] ALLEN, Connie ; HARPER, Valerie: *Cat Dissection A Laboratory Guide*. John Wiley and Sons, Inc., 2012
- [Fer03] FERWERDA, James A.: *Three varieties of realism in computer graphics*. Proceedings SPIE Human Vision and Electronic Imaging, 2003. – 290–297 S.
- [Fil16] Kinobesucher 2015 Strukturen und Entwicklungen auf Basis des GfK-Panels. (2016)
- [JMLH01] JENSEN, Henrik W. ; MARSCHNER, Stephen R. ; LEVOY, Marc ; HANRAHAN, Pat: *A Practical Model for Subsurface Light Transport*. New York, NY, USA : Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, ACM, 2001. – 511–518 S. – ISBN 1-58113-374-X
- [KK89] KAJIYA, James T. ; KAY, Timothy L.: *Rendering fur with three dimensional textures*. New York, NY, USA : SIGGRAPH '89: Proceedings of the 16th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, 1989. – 271–280 S.
- [MJC⁺03] MARSCHNER, Stephen R. ; JENSEN, Henrik W. ; CAMMARANO, Mike ; WORLEY, Steve ; HANRAHAN, Pat: *Light scattering from human hair fibers*. ACM Trans. Graph., 2003. – 780–791 S.
- [Pho75] PHONG, Bui T.: *Illumination for Computer Generated Pictures*. Communications of the ACM, 1975
- [Sch04] SCHEUERMANN, Thorsten: *Practical Real-Time Hair Practical Real-Time Hair Rendering and Shading Rendering and Shading*. 2004
- [SGG15] SALOMON, Franz-Viktor ; GEYER, Hans ; GILLE, Uwe: *Anatomie für die Tiermedizin*. Georg Thieme Verlag, 2015
- [Sys09] SYSTAT 13 *Getting Started*. Systat Software, Inc., 2009

- [YTJR15] YAN, Ling-Qi ; TSENG, Chi-Wei ; JENSEN, Henrik W. ; RAMAMOORTHY, Ravi: *Physically-accurate Fur Reflectance: Modeling, Measurement and Rendering*. New York, NY, USA : ACM Transactions on Graphics (TOG), 2015