

**Setup von Stoffen und stoffähnlichen
Objekten für simulationsfreie Animation
in Autodesk Maya 2014**

PETER AFFENZELLER

MASTERARBEIT

eingereicht am
Fachhochschul-Masterstudiengang

DIGITAL ARTS

in Hagenberg

im Dezember 2014

© Copyright 2014 Peter Affenzeller

Diese Arbeit wird unter den Bedingungen der *Creative Commons Lizenz Namensnennung–NichtKommerziell–KeineBearbeitung Österreich* (CC BY-NC-ND) veröffentlicht – siehe <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/at/>.

Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus anderen Quellen entnommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe.

Hagenberg, am 1. Dezember 2014

Peter Affenzeller

Inhaltsverzeichnis

Erklärung	iii
Kurzfassung	vi
Abstract	vii
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Lösungsansatz	2
1.3 Aufbau der Arbeit	2
2 Bewegungsanalyse	3
2.1 Beobachten von Phänomenen	3
2.2 Beeinflussende Kräfte	5
2.2.1 Umwelteinflüsse	5
2.2.2 Stoffeigenschaften	9
2.3 Bewegungsmuster	11
2.3.1 Bewegungsstudien von Etienne-Jules Marey	11
2.3.2 Fahne	12
2.3.3 Bespannte Rahmenkonstruktion	13
2.4 Abstrahierung	17
3 Perzeption in der Animation	18
3.1 Inkonsistenz in der Animation	18
3.2 Animierte Objekte: Gestalt und Bewegung	20
3.2.1 Das Objekt als Objekt	20
3.2.2 Akzeptanz animierter Objekte	22
3.2.3 Erwartungshaltung an eine Animation	23
4 Technische Ansätze	25
4.1 Grundlagen der Simulation	25
4.1.1 Feder-Masse-Modell nach Xavier Provot	25
4.1.2 Navier-Stokes-Gleichung	27
4.2 Simulation von Stoffen	28

4.2.1	Optitex 3D Suite	29
4.2.2	Syflex	29
4.2.3	Marvelous Designer	31
4.2.4	nCloth in Autodesk Maya 2014	35
4.3	Exemplarischer Szenenaufbau	37
4.3.1	Sekundäre Animation durch den Animator	38
4.3.2	Semi-automatische sekundäre Animation	50
5	Resümee und Ausblick	64
5.1	Resümee	64
5.2	Ausblick	64
	Quellenverzeichnis	66
	Literatur	66
	Filme und audiovisuelle Medien	66
	Online-Quellen	67

Kurzfassung

Die Arbeit setzt sich mit verschiedenen Möglichkeiten der technischen Aufbereitung von Stoffen beziehungsweise Objekten, welche teilweise aus Stoff bestehen, für die Animation auseinander. Die Realisierung erfolgt in Verbindung mit dem begleitenden Projekt *Le Constructeur de Malheur* an Hand einiger praktischer Beispiele.

Auf Basis verschiedener Referenzaufnahmen werden maßgebende Aspekte des Verhaltens von in Bewegung befindlichem Stoff bzw. unter Einfluss verschiedener Kräfte stehender Stoffe herausgearbeitet. Diese dienen als Grundgerüst für Faktoren, welche bei der technischen Umsetzung berücksichtigt werden müssen, um eine authentische und für den Rezipienten ansprechende Animation zu ermöglichen.

Um den in der Animation üblichen Schritt der Simulation von Stoffen nach der eigentlichen Animation eines Objektes zu eliminieren und damit die Produktionspipeline zu verkürzen liegt der Fokus hierbei auf technischen Möglichkeiten, welche keine auf physikalischen Grundlagen basierende Simulation erfordern, sondern direkt vom Rigging-Artist oder Animator gesteuert werden können. Der Animator kann so sehr genau steuern, wie sich ein Objekt verhält, und vorhersehbare Ergebnisse hinsichtlich des Bewegungsmusters aber auch des Timings erzielen.

Abstract

The goal of this thesis is to prepare fabrics or objects that are partially built of fabrics for the animation process. Part of the realisation takes place in the accompanying thesis project *Le Constructeur de Malheur*.

Main aspects of the behaviour of moving fabric will be determined by analysing different video references. Those will be the main aspects to keep in mind when setting up the objects for animation to achieve authentic and appealing results.

To avoid the step of the simulation of cloth in the production pipeline after doing the animation of characters and/or objects in the scene and therefore shorten the production pipeline, this thesis focusses on techniques that go without physically based simulation. The animation is solely controlled by the rigging artist or animator, creating predictable animations concerning timing and movements of the objects.

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Problemstellung

Die Animation von Stoffen stellt in der computergestützten Generierung von Animationen ein sehr komplexes Problem dar. Eine händische Animation von Kleidung, Fahnen, o.Ä. ist nahezu unmöglich und würde einen enorm hohen Zeitaufwand bedeuten, weshalb die Realisierung solcher Animationen großteils automatisiert erfolgt und auf Basis diverser Einstellungsparameter berechnet wird. Zwar gibt es eigens für diese Problemstellung entwickelte Software und Module,¹ oft beansprucht die Verwendung dieser Techniken aber sehr viel Zeit. Nicht nur wegen der Einarbeitungszeit, sondern auch wegen der vor allem bei älteren Rechnern teilweise sehr langen Simulationszeiten. Darauf wird auch in der Dokumentation von Autodesk Maya hingewiesen [25]:

One of the most important aspects of working with Cloth is the amount of time it can take to create a simulation. If you're looking to create a fully physically correct simulation, you might run into problems. Even with a fast computer, cloth dynamics at that level of accuracy (and geometric detail) could take virtually forever.

Vor allem bei kleineren Projekten ist es daher auf Grund fehlender Ressourcen oft problematisch, eine vollständige, dynamische Simulation von Kleidung beziehungsweise Stoffen (siehe Abschnitt 4.2) in die Produktionspipeline zu integrieren.

¹Built-In Module wie *nCloth* in Autodesk Maya oder verschiedene Modifier in 3DsMax, oder eigenständige Programme wie *Syflex* oder *Marvelous Designer* welche speziell für die Erstellung und Animation von Stoffen entwickelt wurden.

1.2 Lösungsansatz

Um die Produktionspipeline zu verkürzen und möglichst einfach zu halten wird im Rahmen dieser Arbeit versucht, technische Möglichkeiten zu erforschen, welche die Animation von Stoffen zwar nicht in dem gleichen Ausmaß einer dynamischen Simulation ermöglichen, aber dennoch authentische Ergebnisse liefern.

Dabei soll nicht nur auf Simulationen verzichtet werden, sondern dem Animator gleichzeitig ein möglichst hohes Maß an Kontrolle geboten werden, um bei der Animation vorhersehbare Ergebnisse erzielen zu können. Der Level der Komplexität eines Rigs² richtet sich dabei einerseits nach den Ansprüchen, welche durch die Animation entstehen (welche Bewegungen sollen möglich sein), andererseits muss natürlich auch ein gewisser zeitlicher Rahmen gewahrt werden.

Dadurch entsteht zwar ein erhöhter Aufwand bei dem technischen Setup der zu animierenden Objekte, der zusätzliche Schritt der Simulation nach der eigentlichen Animation der Objekte oder Charaktere fällt jedoch weg.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich im Wesentlichen in drei Teile:

1. Eine analytische Betrachtung von Stoffen bezogen auf Bewegungsmuster und Verhalten unter verschiedenen Einflüssen.
2. Wichtige Aspekte bei der Erstellung computergenerierter Animationen bezogen auf die Akzeptanz beim Rezipienten.
3. Einen praktischen Teil, welcher exemplarische Lösungsansätze der technischen Aufbereitung von Stoffen beinhaltet.

Im ersten Teil werden Bewegungsmuster von (teilweise) aus Stoff gefertigten Objekten beschrieben, welche im realen Umfeld auftreten, und prägnante Eigenschaften entnommen, welche bei der technischen Umsetzung berücksichtigt werden müssen. Im zweiten Teil wird genauer auf die Akzeptanz von Charakteren und Objekten beim Publikum eingegangen. In diesem Teil erfolgt eine Auseinandersetzung mit dem Begriff des *Uncanny Valley*, welcher sich in erster Linie mit der Akzeptanz von Charakteren bei den Rezipienten beschäftigt. Der dritte Teil beschäftigt sich mit der praktischen Umsetzung möglicher technischer Ansätze der Aufbereitung von Objekten für die Animation in Autodesk Maya 2014, wobei hier ein starker Zusammenhang zum begleitenden Projekt besteht.

²Ein Rig stellt dem Animator ein Set von Kontrollobjekten zur Verfügung, welches diesem ermöglicht, verschiedene Teile eines Charakters oder Objektes zu bewegen und zu animieren.

Kapitel 2

Bewegungsanalyse

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den grundlegenden Faktoren der Animation von Stoffen und Kleidung, wobei dabei v.a. auf die Wirkung beeinflussender Faktoren – beispielsweise Wind – und wie sich ein Objekt unter deren Einfluss verhält eingegangen wird.

Welche Bewegungsmuster treten auf und wie können diese abstrahiert werden, um sie später mit möglichst geringem Aufwand auf 3D-Objekte übertragen zu können?

2.1 Beobachten von Phänomenen

Das Beobachten von Phänomenen ist ein sehr wichtiger Aspekt der Arbeit eines Animators, wie Joseph Gilland in folgendem Zitat sehr gut beschreibt [4, S. XIX]:

An enormous aspect of learning to be an effects animator has to do with learning how to see, how to observe and soak in the phenomenon of pure energy and life all around us. As with “art” in general, and every form of it—be it acting, or writing, or dance, or painting or sculpting—we need to learn to be observers of life, to be the antennae of society, the first ones out there, inquisitive, probing, observing, questioning, examining and interpreting life.

Als Künstler ist es also unsere Aufgabe, Phänomene zu beobachten, zu hinterfragen und zu interpretieren, um diese glaubhaft in einer Animation umsetzen zu können (Abb. 2.1).

Beobachtet man Objekte wie ein Segel eines Segelbotes, welches vom Wind aufgebläht wird, oder eine Fahne, die an einem Fahnenmast weht, so stellt man fest, dass es viele verschiedene Bewegungsmuster und Details gibt, die alle ihren Beitrag zum Gesamtbild einer Bewegung leisten. Dabei spielen nicht nur Kräfte wie Wind oder Wasser eine Rolle, unter deren Einfluss ein Objekt steht, sondern auch die Beschaffenheit des Stoffes selbst und unter



Abbildung 2.1: Grobe Skizzierung Joseph Gillands von der Entwicklung einer Rauchwolke. Quelle [4, S. 29].

welchen Rahmenbedingungen sich dieser in seinem Umfeld bewegt. Sei es eingespannt in einem Holzrahmen oder lose hängend an einem Fahnenmast, das alles sind Faktoren, welche bei der Animation berücksichtigt werden müssen.

In diesem Kapitel werde ich zunächst einen kurzen Überblick über die wesentlichen beeinflussenden Kräfte geben, denen ein Objekt ausgesetzt ist. In weiterer Folge werde ich versuchen auftretende Bewegungsmuster zu analysieren und so eine Basis für das spätere, beispielhafte Setup eines Objektes im 3D-Raum zu schaffen. Auf Grund des direkten Zusammenhanges mit dem begleitenden Projekt *Le Constructeur de Malheur* erfolgt die Analyse der Bewegungsmuster an Hand spezifischer Objekte, welche auch im Projekt vorkommen, aber auch andere Objekte werden betrachtet.

2.2 Beeinflussende Kräfte

Stoff für sich ist nicht viel mehr als das – Stoff. Damit es zu interessant zu beobachtenden Bewegungsmustern kommt bedarf es verschiedener Kräfte, unter deren Einfluss ein Objekt steht und welche es dazu veranlassen sich zu bewegen. Bei der Simulation von Stoffen in 3D-Programmen wird an Hand dieser Kräfte die resultierende Bewegung eines Objektes berechnet, wobei es eine Vielzahl verschiedener Einstellungsmöglichkeiten und so genannte *Fields*¹ gibt, welche dazu verwendet werden, verschiedene Kräfte wie beispielsweise Wind zu imitieren und damit das Resultat zu beeinflussen. Die verschiedenen Typen von Fields und deren Funktionsweise bezogen auf dynamische Simulationen in 3D-Programmen werden in einem späteren Kapitel behandelt.

Als wesentlicher Faktor, v.a. bezogen auf Objekte wie Fahnen, Segel oder Flügel, wie sie im begleitenden Projekt vorkommen, ist hier der Wind zu nennen, aber auch physikalische Gesetze wie das Trägheitsgesetz und die Schwerkraft spielen natürlich eine Rolle. Die resultierende Bewegung ist das Produkt der Wechselwirkung der verschiedenen Kräfte, wobei in der Realität ein nahezu unendlicher Detailgrad und eine enorme Vielzahl kleiner Details in einer Bewegung zu beobachten sind.

Um diese enorme Menge an Daten verarbeiten zu können müssen auch in der Simulation vereinfachte Formen der Berechnung verwendet werden, auf welche zu einem späteren Zeitpunkt kurz eingegangen wird. Zunächst erfolgt eine kurze Auflistung der meiner Ansicht nach wichtigsten beeinflussenden Faktoren und deren möglicher Auswirkungen.

2.2.1 Umwelteinflüsse

In diesem Kapitel werde ich kurz auf allgemeine Einflüsse aus der Umwelt eingehen, denen Objekte ausgesetzt sind. Es erfolgt eine kurze Beschreibung der jeweiligen Phänomene und ebenso eine kurze Auflistung möglicher Auswirkungen, welche diese auf ein Objekt haben können.

Gravitation

Newtons Gravitationsgesetz,

$$F = \frac{G \cdot M_1 \cdot M_2}{r^2}, \quad (2.1)$$

beschreibt eine Kraft F , welche zu einem bestimmten Zeitpunkt auf ein Teilchen mit der Masse M_2 wirkt, wenn sich dieses in einem Abstand von r zu

¹Fields are forces that you use to animate the motion of particles, nParticles, nCloth, soft bodies, rigid bodies, fluids, and hair [24]. Ein Beispiel für ein Field ist das Gravitationsfeld.

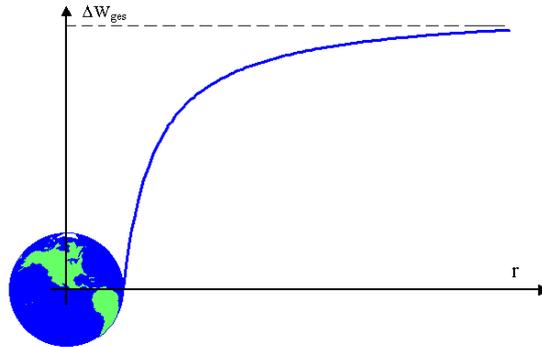


Abbildung 2.2: Man sieht an dem Graphen, dass die Arbeit mit wachsendem r in unmittelbarer Nähe der Erdoberfläche stark zunimmt. Je weiter man sich von der Erde entfernt, desto geringer ist die Zunahme der Gesamtarbeit, welche für eine bestimmte Strecke verrichtet werden muss. Quelle [38].

einer bestimmten Masse M_1 befindet. G ist dabei die Gravitationskonstante, gegeben durch

$$G = 6,673 \cdot 10^{-11} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \right]. \quad (2.2)$$

Newtons Gravitationsgesetz ist ein lineares Gesetz. Wirken zwei Kräfte auf ein Teilchen können diese also einfach addiert werden um die gesamt wirkende Kraft zu erhalten. In der Realität ist diese Linearität jedoch nicht gegeben. Diese Nicht-Linearität führt in der Physik zu der Allgemeinen Relativitätstheorie Albert Einsteins, welche allerdings zu komplex ist, um sie in dieser Arbeit zu behandeln.

Die Schwerkraft führt dazu, dass Objekte prinzipiell von der Erde angezogen werden, es muss also Arbeit verrichtet werden, um sie zu bewegen. Den nötigen Arbeitsaufwand kann man durch

$$\Delta W_{\text{ges}} = G \cdot M_1 \cdot M_2 \cdot \frac{1}{r_1 \cdot r_n} \quad (2.3)$$

berechnen. Mit zunehmender Distanz zur Erdoberfläche nimmt dabei die zu verrichtende Arbeit ab (siehe Abb. 2.2).

Trägheitsgesetz

Das Trägheitsgesetz von Isaac Newton ist eines der *Newton'schen Axiome* und beschreibt die Eigenschaft von Objekten, auf sie einwirkenden Kräften einen bestimmten Widerstand entgegenzubringen [32]:

Die Trägheit ist eine Eigenschaft von Massen. Trägheit bedeutet, dass jeder Körper versucht in seinem Bewegungszustand zu

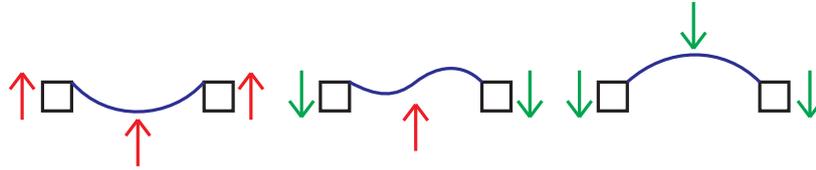


Abbildung 2.3: Skizze der verzögerten Abwärtsbewegung eines Stoffes, welcher etwas druchhängend zwischen zwei Objekten eingespannt ist.

verharren und einer Bewegungsänderung einen Widerstand entgegenzusetzen: Ruhende Objekte setzen einer Bewegung Widerstand entgegen; bewegte Objekte setzen der Abbremsung oder Ablenkung einen Widerstand entgegen.

Dieser Effekt wird beispielsweise beim Schwenken einer Flagge deutlich. Während sich ein Teil der Flagge bereits in eine entgegengesetzte Richtung bewegt, folgt der Rest weiterhin der ursprünglichen Bewegungsrichtung, bis er ebenso umschlägt und die Richtung ändert. Ein anderes Beispiel hierfür ist ein einfaches Stück Stoff, welches durchhängend an zwei Holzbalken o.Ä. befestigt ist. Bewegt man die Holzbalken nach oben und ändert ruckartig die Richtung, so bewegt sich der durchhängende Stoff weiter nach oben, bis er sich nach oben gewölbt hat und dann ebenso die entgegengesetzte Bewegungsrichtung annimmt (siehe Abb. 2.3).

Witterung

Auch die Witterungsbedingungen beeinflussen ein Objekt in dessen Verhalten. Je nach Materialität hat beispielsweise die Temperatur Einfluss auf die Elastizität eines Stoffes. Ein deutlich erkennbarer Unterschied zeigt sich auch bei trockenen bzw. nassen Verhältnissen. Saugt sich ein Objekt mit Wasser an, so führt dies auch zu einem höheren Eigengewicht und folglich einem trägeren Verhalten im Gegensatz zu dem gleichen, trockenen Objekt.

Wird ein nasser Stoff extremer Kälte ausgesetzt führt dies weiter zu einer Beeinträchtigung der Bewegungsfähigkeit, da das enthaltene Wasser gefriert und somit den Stoff in seiner Flexibilität einschränkt.

Wind

Die Beschreibung von Wind in der Meteorologie lautet wie folgt [36]:

Wind wird in der Meteorologie als eine gerichtete Luftbewegung in der Athmosphäre bezeichnet. Hauptursache für Winde sind Unterschiede im Luftdruck zwischen verschiedenen warmen und

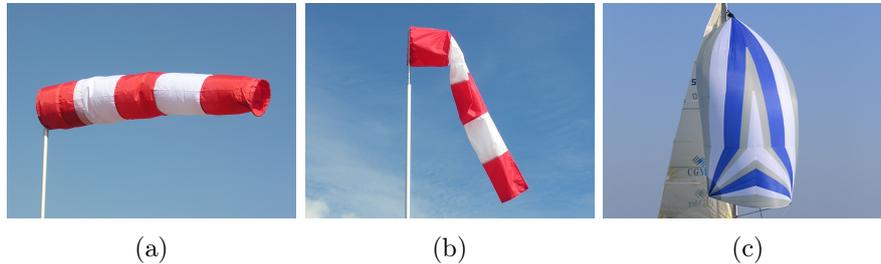


Abbildung 2.4: Beispiele für vom Wind beeinflusste Objekte. (a) zeigt einen vom Wind aufgeblähten Windsack. (b) zeigt den Windsack bei deutlich weniger Wind. (c) zeigt einen vom Wind aufgeblähten Spinnaker. Quelle (a, b) [42], (c) [31].

kalten Luftmassen. Dabei fließen Luftteilchen aus dem Gebiet mit einem höheren Luftdruck (Hochdruckgebiet) in das Gebiet mit dem niedrigeren Luftdruck (Tiefdruckgebiet), bis der Luftdruck ausgeglichen ist. Je größer der Unterschied zwischen den Luftdrücken ist, um so heftiger strömen die Luftmassen in das Gebiet mit dem niedrigeren Luftdruck und umso stärker ist der aus der Luftbewegung entstehende Wind.

Je stärker der Wind, desto höher ist die Wirkung auf Objekte in seinem Einflussbereich, wobei die Energie des Windes mit dem Quadrat seiner Geschwindigkeit wächst [33]. Die Folgen von Wind sind vielseitig, positiv sowie negativ. Pflanzensamen werden durch ihn verbreitet, Windräder werden angetrieben und erzeugen Strom, Bäume werden umgestürzt und Dächer abgedeckt und auch das Wetter wird stark durch den Wind beeinflusst. Je nachdem in welchem Umfeld sich eine Animation abspielt muss folglich auch auf die gewünschten Bedingungen Rücksicht genommen werden.

Ein gutes Beispiel dafür ist eine im Freien angebrachte Fahne, ein Windsack oder das Segel eines Segelbootes (siehe Abb. 2.4). Soll das Boot bei Windstille nur im Hafen liegen genügen einige wenige Kontrollmöglichkeiten. Erfordert die Animation jedoch auch das Aufblähen und Schlagen des Segels im Wind, so entstehen auch höhere Anforderungen an das Rig, um diese Bewegungen steuern zu können und eine authentische Darstellung in der Animation zu erreichen.

Die Vielzahl und Komplexität der Kräfte, welche Auswirkungen auf die Bewegungen eines Objekte haben, machen deutlich, dass es praktisch unmöglich ist all diese Faktoren in einer Simulation zu berücksichtigen und nach den exakten physikalischen Gegebenheiten zu berechnen. In der Simulation erfolgt daher nur eine Annäherung an die physikalischen Gegebenheiten.



Abbildung 2.5: Luftwiderstand bei Autos in einem Windkanal. Auf Grund der Form und Größe ist der Widerstand beim PKW in (a) wesentlich geringer als beim LKW in (b). Quelle (a) [37], (b) [23].

Luftwiderstand

Auch der Luftwiderstand spielt eine wesentliche Rolle geht es um die Beeinflussung von Objekten durch Wind (Abb 2.5). Ein sehr lockeres, großmaschiges Netz beispielsweise weist eine geringere Fläche auf und bietet dem Wind daher auch weniger Angriffsfläche, wodurch die Auswirkungen entsprechend geringer ausfallen als bei einer Flagge, welche aus eng verwobenen Fasern besteht. Der Luftwiderstand,

$$F_L = \frac{A \cdot c_w \cdot p \cdot v^2}{2}, \quad (2.4)$$

errechnet sich aus der Querschnittsfläche A des zu betrachtenden Objektes, der Luftwiderstandszahl c_w , der Dichte p und der Luftgeschwindigkeit v . Der Einfluss der verschiedenen Faktoren auf den gesamten Luftwiderstand ist dabei unterschiedlich [30]:

Den größten Einfluss auf den Luftwiderstand hat die Fahr- oder Luftgeschwindigkeit. Mit weitem Abstand folgen der Wert für die Form (c_w) und der größte Querschnitt. Noch weniger stark hängt der Luftwiderstand von der Luftdichte ab.

2.2.2 Stoffeigenschaften

Nicht nur die von außen auf den Stoff einwirkenden Kräfte sondern auch die Eigenschaften des Stoffes selbst tragen zu der zu Stande kommenden Bewegung bei. Viele dieser Eigenschaften findet man auch als Einstellungsparameter beim Erstellen einer Simulation in einem 3D-Programm wieder.

Zu diesen Eigenschaften zählen die Dicke des Materials, das Gewicht, die Reibung und weitere physikalische Eigenschaften, aber auch die Zusammensetzung und Herstellungsmethode haben indirekt Einfluss auf das Verhalten.

Zusammensetzung

Die Zusammensetzung eines Textils ist ausschlaggebend für Faktoren wie das Gewicht oder die Dicke, aber auch die Festigkeit oder Elastizität. Entscheidend für die resultierenden Eigenschaften eines Stoffes ist nicht nur das bei der Herstellung verwendete Material bzw. die verwendete Faser (Baumwolle, Polyester, etc.), sondern auch das Herstellungsverfahren. Dazu eine kurze Auflistung einiger Attribute aus [10]:

- Faser (Typ, Größe, Länge)
- Garn (Durchmesser, Verdrehung, Gewicht, Verwendete Faser bzw. Mischung aus Fasern)
- Gewebter Stoff
- Gestrickter Stoff
- Nachbearbeitung (Kunstharz, Stärke, Wachse)
- Abmessungen des Stoffstückes

Auch die Langlebigkeit des Stoffes hängt stark von der Zusammensetzung und der Verarbeitung der Materialien ab.

Eigenschaften

Die physikalischen Eigenschaften eines Textils beschreiben das Verhalten eines Textils, welches auftritt, wenn Kräfte von außen auf den Stoff einwirken [10]:

Physical characteristics are the dynamic physical parameters of fabric. They are physical changes in the fabric that result from applying outside forces on the fabric.

In dieser Arbeit liegt der Fokus auf jenen Kräften, welche auch die Bewegung des Stoffes beeinflussen, doch auch andere äußere Einflüsse wie zum Beispiel die UV-Strahlung oder Hitzeeinwirkung sind hier zu nennen, welche weniger Einfluss auf gegebene Verhaltensmuster, sondern vielmehr auf das Erscheinungsbild eines Objektes haben. Hier können auch Nähte oder Falten genannt werden, welche ebenfalls zu einer Veränderung der Bewegungsmuster führen. Je nach Stärke einer Naht und der gegebenen Überlagerung zweier oder mehrerer Stoffteile tritt an solchen Stellen eine Versteifung auf, welche sich auf den Faltenwurf und die Trägheit eines Stoffes auswirkt. Um einen Stoff an diesen Stellen im gleichen Ausmaß zu beeinflussen ist folglich ein höherer Kraftaufwand vonnöten.

Bei fixierten Objekten erfolgt zusätzlich eine Einschränkung der Bewegungsfreiheit an den jeweiligen fixierten Punkten. Je nach Art der Fixierung (z.B. punktuell oder entlang einer Kante) ist diese Einschränkung mehr oder weniger ausgeprägt und führt zu einem Abfall der dynamischen Bewegungsmuster je näher sich ein Punkt zu einer fixierten Stelle befindet.

2.3 Bewegungsmuster

Dieser Abschnitt der Arbeit beschäftigt sich mit auftretenden Bewegungsmustern von Objekten in bestimmten Situationen. Zunächst erfolgt hierbei eine Betrachtung der Bewegungsstudien von Etienne-Jules Marey, welcher sich mit Bewegungen in der Luft beschäftigt hat.

Anhand verschiedener Objekte und Videoreferenzen derer werden in weiterer Folge die wichtigsten Bewegungsmuster der behandelten Objekte aufgelistet. Natürlich gibt es noch eine Vielzahl weiterer Gegebenheiten in denen Objekte, welche zumindest teilweise aus Stoff bestehen, vorkommen und in denen wiederum etwas abweichende Bewegungsmuster auftreten. Die Intention ist jedoch nicht die Bewegung basierend auf physikalischen Grundlagen exakt und realistisch zu reproduzieren, sondern eine glaubwürdige, ansprechende Animation zu erstellen, weshalb ich versuchen werde die dafür meiner Ansicht nach wichtigsten Bewegungsmuster zu extrahieren.

Die Analyse erfolgt aufbauend, beginnend mit einer einfachen, rechteckigen Fahne befestigt an einem Fahnenmasten o.Ä. bis hin zu den spezifischen Objekten wie verschiedene mit Stoff bespannte Rahmenkonstruktionen, wie sie auch im begleitenden Projekt vorkommen.

2.3.1 Bewegungsstudien von Etienne-Jules Marey

Die Bewegungsstudien von Etienne-Jules Marey zeigen sehr schön Bewegungen, welche in der Luft vorkommen. Diese Bewegungen sind wiederum bedeutend für das Verhalten eines Stoffes, da dieser stark von Wind – respektive der Luft – beeinflusst wird und daher auch gewisse Bewegungsmuster von Turbulenzen oder Luftströmen übernimmt.

In den Anfängen seiner Forschungen verwendete Marey für die Visualisierung von Bewegungen die so genannte *grafische Methode*, welche darin besteht, auf einem Papier oder lichtempfindlichem Material die Kräfte aufzuzeichnen, die auf einen in Bewegung begriffenen lebenden oder leblosen Körper einwirken [27]. Dank dieser Methode ist es auch möglich, Bewegungen oder Phänomene aufzuzeichnen, welche wir mit den menschlichen Sinnesorganen größtenteils nicht wahrnehmen können. Um das Verhalten eines Luftstroms sichtbar zu machen verwendet Marey einen Luftkanal mit durchsichtigen Wänden, in dem er eine regelmäßige Luftbewegung erzeugt. In diesen werden in regelmäßigen Abständen Rauchfäden eingespeist, welche in weiterer Folge auf ein statisches Hindernis treffen und von diesem abgelenkt werden. Die Formen die dabei entstehen fotografiert Marey unter heller Beleuchtung (siehe Abb. 2.6).

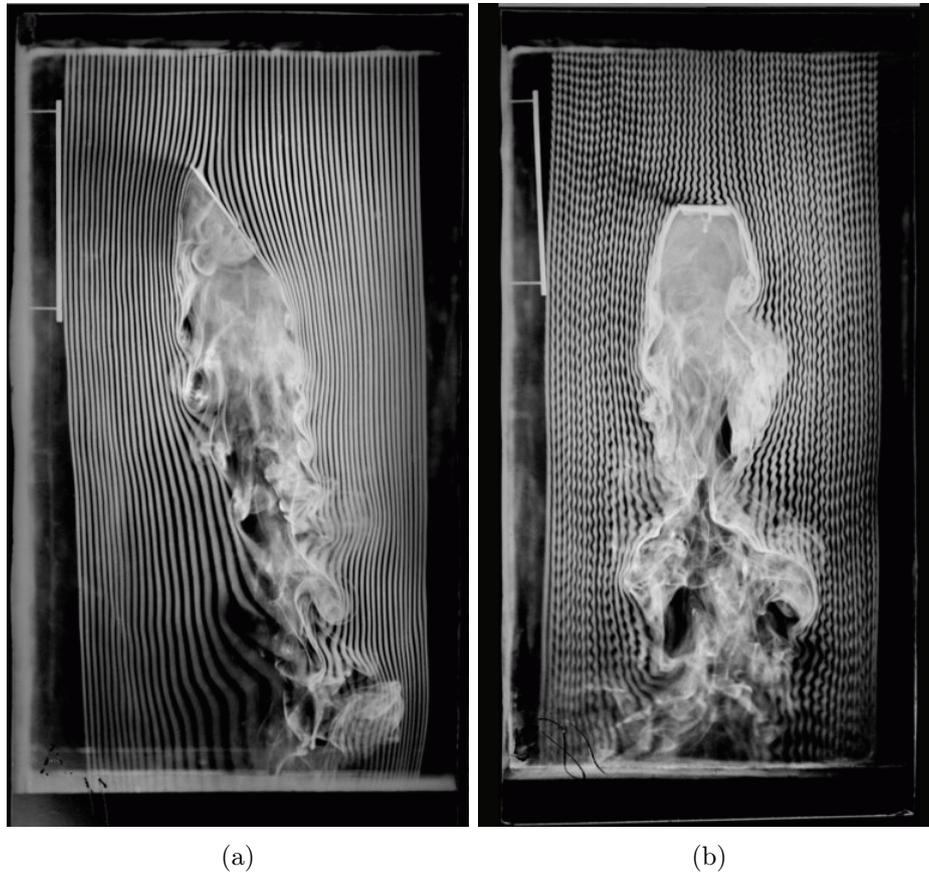


Abbildung 2.6: Aufnahmen des Verhaltens von Luft, wenn sie um ein Hindernis strömt. Sichtbar durch die Verwendung eines Luftkanals mit feinen Rauchfäden, entwickelt von Etienne-Jules Marey. (a) zeigt einen Luftstrom abgelenkt durch eine im 30° Winkel angebrachte Ebene, (b) den Luftstrom abgelenkt durch eine normal angebrachte Ebene. Quelle [27].

2.3.2 Fahne

Das erste Objekt, welches in Bezug auf dessen Bewegungsmuster untersucht werden soll, ist eine einfache Fahne, welche an einer Seite an einem Fahnenmasten o.Ä. befestigt ist. Bei dieser lässt sich sehr gut die Trägheit des Stoffes beobachten. Wie in Abbildung 2.7 gut erkennbar ist beginnt der Teil nahe dem Fahnenmasten bereits sich zu wölben, während der frei hängende, weiter entfernte Teil der Fahne sich noch in der Abwärtsbewegung befindet (Abb. 2.7 a–c). Erst bei ausreichender Windstärke folgt der restliche Teil der Fahne, welcher die Bewegung des ersten Teiles aufnimmt und ebenso eine „aufrechtere“ Position einnimmt (Abb. 2.7 d, e). In dieser Position ist der Stoff allgemein relativ glatt, es bewegen sich ausgehend von der Befes-

tigung nur kleinere Wellen in Richtung Fahnenende. Ist die treibende Kraft nicht mehr ausreichend, so fällt der Stoff wieder in sich zusammen und zum Fahnenmasten hinunter (Abb. 2.7f). Dabei kommt es immer wieder zu verschiedenen Variationen des Faltenwurfs, welche aber auf Grund ihrer Vielzahl für die Umsetzung im 3-dimensionalen Raum nicht in ihrem vollen Umfang berücksichtigt werden können (wie in Kapitel 2.4 beschrieben).

Auffällig ist, dass die hängende Fahne sehr große Falten wirft und die Bewegungen langsamer passieren, während bei mehr Wind und einer strafferen Fahne schnellere, kleinere Wellenbewegungen Richtung Fahnenende durchlaufen. Hier sind in einem gewissen Ausmaß auch die von Etienne-Jules Marey beobachteten Verwirbelungen und Unregelmäßigkeiten in der Bewegung der Luft wiederzuerkennen, welche den Stoff dazu veranlassen die vielen kleinen Falten zu werfen.

2.3.3 Bespannte Rahmenkonstruktion

Vor allem zu Beginn der Luftfahrtgeschichte hat es viele Pioniere gegeben, welche Rahmenkonstruktionen aus Holz mit Stoff bespannten und hofften, damit erfolgreiche Flugversuche durchführen zu können [6, S. 10]:

Den Weg zum Motorflug wiesen Träumer und seltsame Erfinder, die sich weder von Spott noch von Verletzungen abschrecken ließen.

Das Hauptaugenmerk dieses Abschnittes liegt auf mit Stoff bespannten Rahmenkonstruktionen, welche auf das Verhalten im Flug untersucht werden. Als Grundlage dafür dient in erster Linie aufgenommenes Referenzmaterial des Nachbaus eines der Flügel, welcher im Projekt dem so genannten *Hamsterrad* den nötigen Auftrieb verleihen soll, um damit abzuheben.

Bei solchen Konstruktionen ist die Bewegungsfreiheit des Stoffes auf Grund der Befestigung allgemein eingeschränkt, je nach der Spannung des Stoffes – sehr straff eingespannt oder durchhängend befestigt – kommen aber dennoch interessante Bewegungsmuster zustande.

Flügel

Der Flügel besteht aus einem Holzrahmen mit vier Streben, welche ungefähr einen Winkel von 40° einschließen. Dazwischen sind dreieckige Stoffstücke eingespannt, welche etwas nach unten durchhängen, um dem Stoff mehr Bewegungsfreiheit einzuräumen.

Auffälligstes Merkmal bei der Ausführung eines Flügelschlages ist die Wellenbewegung, welche die seitlichen Stoffstücke bei dem Richtungswechsel von der Aufwärts- in die Abwärtsbewegung durchführen (siehe Abb. 2.8b–e bzw. Abb. 2.9h–k). Dabei beginnt die Wellenbewegung an der zentraleren Seite der Stofffläche und läuft von dort ausgehend nach Außen bis zum Holzrahmen, bis der Stoff schließlich komplett umgeschlagen und sich nach oben



Abbildung 2.7: Die Bewegungen einer Fahne, welche an zwei Punkten an einem Fahnenmast befestigt ist, bei mäßigem Wind. Quelle [15]

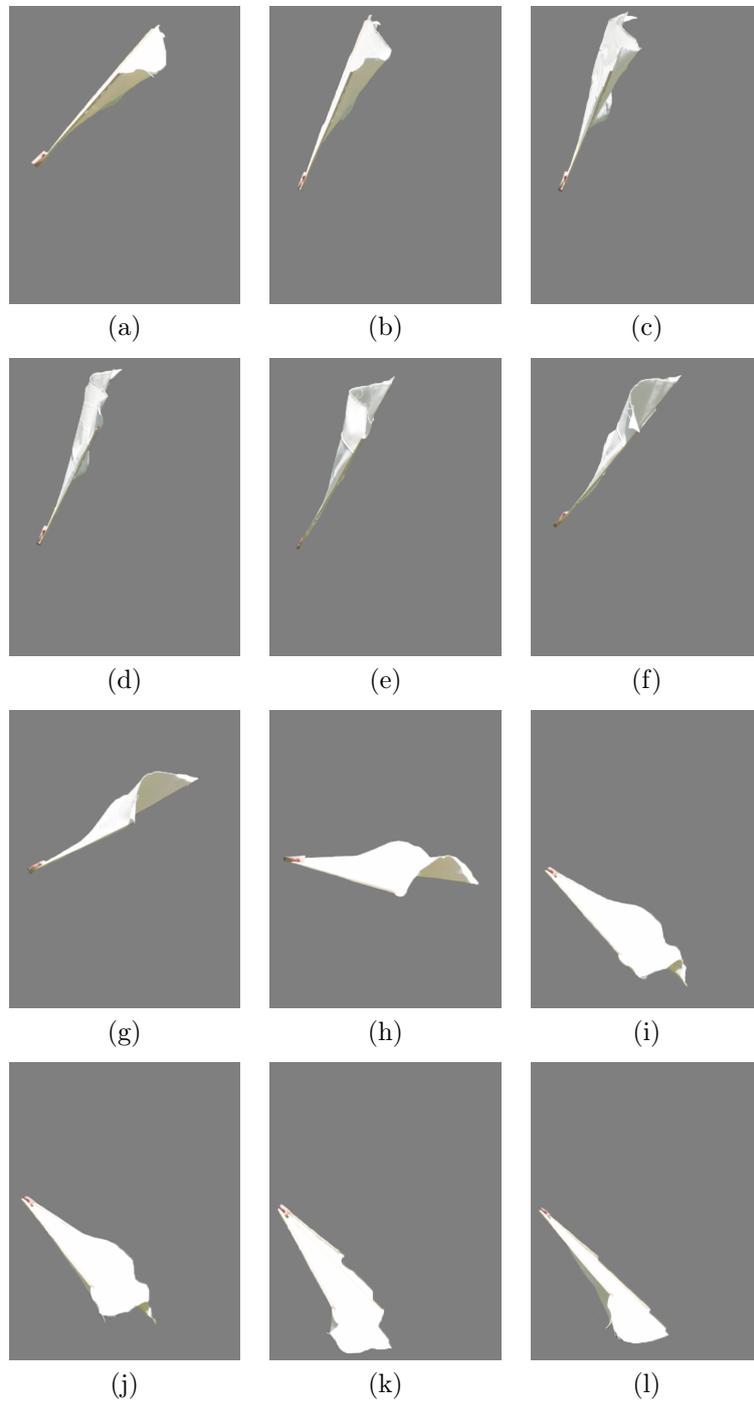


Abbildung 2.8: Momentaufnahmen eines Flügelschlages aus der Seitenansicht.

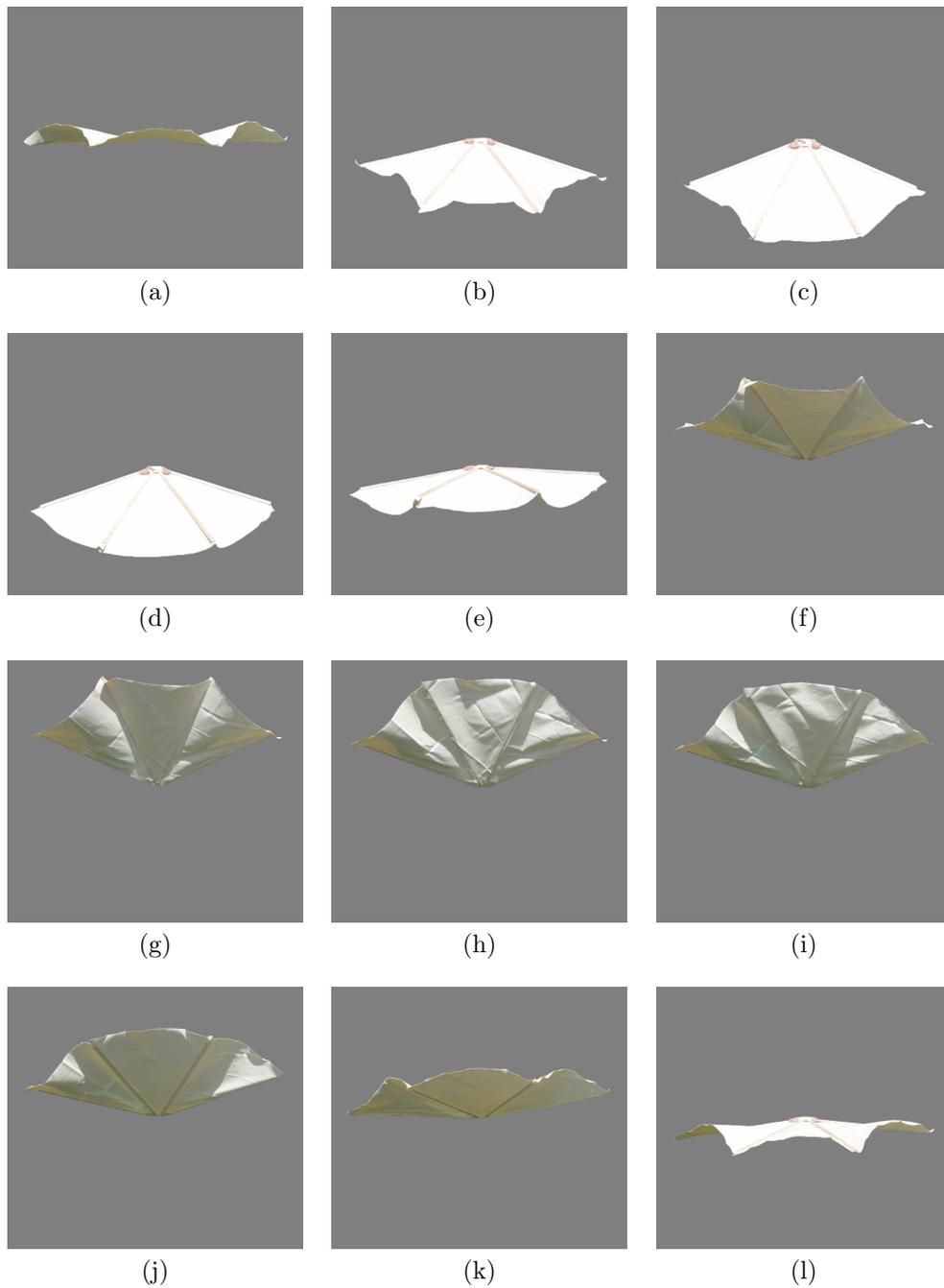


Abbildung 2.9: Momentaufnahmen eines Flügelschlages aus der Frontansicht.

gewölbt hat. Hier macht sich die Trägheit des Stoffes und der Luftwiderstand bemerkbar – während sich der Rahmen bereits in der Ab- bzw. Aufwärtsbewegung befindet, benötigt der Stoff noch eine kurze Zeitspanne, um die Bewegungsrichtung zu ändern. Je nach Richtung der Bewegung fällt dabei die Wellenbewegung markanter und über einen längeren Zeitraum aus, wenn der Stoff entgegen der Schwerkraft nach oben gewölbt wird, die Richtung also von einer Auf- in eine Abwärtsbewegung geändert wird.

Während die Bewegung bei den seitlichen Teilen von Innen nach Außen stattfindet ist das Verhalten bei dem mittleren Stoffstück ein etwas anderes. Eine eindeutige Bewegungsrichtung ist hier nicht wirklich erkennbar, dennoch entstehen beim Umschlagen des Stoffes Wellenbewegungen, welche sich mehr kreisförmig vom Zentrum weg nach außen bewegen (siehe Abb. 2.9 h, i). Auf Grund der eingeschränkten Bewegungsfreiheit nahe des Zentrums ist hier die Amplitude eine geringere als gegen Ende der Bewegung.

2.4 Abstrahierung

Joseph Gilland betont in seinem Buch *Elemental Magic: The Art of Special Effects Animation* [4] bezogen auf klassische *hand-drawn Effects Animation*² immer wieder die Signifikanz der Vereinfachung eines Effektes, um bei der Animation nicht von den Details überwältigt zu werden. *Wayne Kimbell*, der das Vorwort zu *Elemental Magic: The Technique of Special Effects Animation* [5] verfasst hat, bestätigt diese Aussage mit dem Satz [5, S. X]:

You need to know which details matter, how to simplify them (even cut), and what to emphasize.

Doch nicht nur in der klassischen, handgezeichneten Animation ist es wichtig die Details auf einen handhabbaren Bereich zu limitieren, sondern auch in der computergestützten Animation können nicht jegliche, in der realen Welt auftretende Details berücksichtigt werden. Aus diesem Grund ist es auch notwendig sich beim Setup der Kontrollmöglichkeiten verschiedener Objekte auf eine limitierte Anzahl zu beschränken, welche es dem Animator ermöglichen, Bewegungen möglichst glaubhaft umzusetzen. Diese Limitierung dient nicht nur der Übersichtlichkeit des Kontrollrigs, sondern verkürzt auch die Produktionsdauer, welche bei der Erstellung des Rigs in Anspruch genommen wird.

²Per Hand erzeugte Animation von Effekten wie Wasser, Feuer, etc.

Kapitel 3

Perzeption von Objekten in der 3D-Animation

Dieses Kapitel beschäftigt sich vorrangig mit der Thematik des *Uncanny Valley*. Dabei wird näher auf die Gedanken von Freud, Flückiger und Furness eingegangen, welche sich bereits eingehend mit der Wahrnehmung computergenerierter Charaktere und Objekte bzw. der Wahrnehmung allgemein auseinandergesetzt haben. Davon ausgehend wird versucht die wahrnehmungsspezifischen Eigenschaften auf die Eigenschaften einer Animation von Objekten zu übertragen.

3.1 Inkonsistenz in der Animation

Inhalte digital zu erzeugen stellt gegenwärtig kein großes Problem mehr dar, da es mittlerweile jeder Standard-PC durch leistungsfähige Hardware und userfreundliche Software ermöglicht, weit über reine Textverarbeitung hinausgehend auch große Datenmengen unter Zuhilfenahme von Bildbearbeitungssoftware, Videoschnitt-Programmen und 2D/3D-Animationstools zu bearbeiten. Der erleichterte Zugang zu diesen noch relativ neuen Disziplinen ermöglicht immer mehr Menschen digitale Inhalte zu erstellen, wodurch sie vom Rezipienten zum Gestalter werden.

Die Herausforderung besteht also nicht mehr nur darin, überhaupt digitale Inhalte zu erstellen, sondern vielmehr darin, diese auch glaubhaft darzustellen, was in Stills¹ schon schwer zu erreichen ist, sich im Bewegtbild jedoch noch ungleich umfangreicher gestaltet. Vor allem in der Character-Animation ist die Erstellung überzeugender digitaler Figuren – abhängig vom Stil, der von abstrahiertem Toon bis zur photorealistischen Darstellung reicht – sehr komplex, wobei sich hier vor allem der Begriff des *Uncanny Valley* etabliert

¹Ein aus einem Film extrahiertes Einzelbild (Standbild). Heute auch eine eigene Disziplin und Kunstform, die vor allem in der 2D/3D-Gestaltung und -Animation Anwendung findet.

hat. Als einen der Hauptgründe, weshalb uns Charaktere unheimlich erscheinen, nennt Barbara Flückiger unsere Erfahrung [1, S. 432]:

Im Laufe unseres Lebens entwickeln wir eine ausgeprägte Kompetenz im Dekodieren von Körper- und Gesichtsausdruck. Von frühester Kindheit an trainieren wir unser Wahrnehmungssystem auf das Erkennen und Interpretieren menschlicher Verhaltensweisen. [...] Deshalb haben wir gelernt, auf die subtilsten Nuancen besonders der Mimik zu achten.

Entgegen der Annahme, dass ein Objekt oder ein Bild vom Rezipienten eher als echt erachtet wird und diesen emotional berührt, je realistischer dessen Darstellung ist, fand der Japaner *Masahiro Mori*² heraus, dass die Rezipienten einem Roboter mehr Skepsis entgegenbringen, je menschlicher dieser aussieht und agiert. Für diesen Umstand existieren zahllose Erklärungsversuche, vereinfacht ausgedrückt suchen die Betrachter ab einem bestimmten Realismus- und Detailgrad eher nach Mängeln und Künstlichkeiten im Ausdruck, wohingegen es bei abstrahierten bzw. stilisierteren Figuren eher zu einer Eigeninterpretation der dargestellten Emotionen kommt [8].

Auch Sigmund Freud beschäftigte sich mit dem Unheimlichen und formulierte die damit verbundene Herausforderung wie folgt [2, S. 227-324]:

Als Schwierigkeit beim Studium des Unheimlichen betont Jentsch mit vollem Recht, daß die Empfindlichkeit für diese Gefühlsqualität bei verschiedenen Menschen so sehr verschieden angetroffen wird.

Dieser Umstand erschwert die Arbeit von Animatoren und 2D/3D-Gestaltern noch weiter, da Moris objektives Modell des Uncanny Valley zusätzlich noch von der subjektiven Wahrnehmung der individuellen Rezipienten verändert wird. Die Animation von Objekten stellt Animatoren ebenso wie die Animation von Figuren vor das Problem, dass diese beim Zuschauer eine gewisse Erwartungshaltung hervorrufen, welcher die Animation gerecht werden muss. Maureen Furniss wirft in dem Buch *Art in Motion* [3] diesbezüglich die interessante Frage auf, welchen Einfluss die Animation von Objekten, die wir als nicht animierte Objekte kennen, auf die Wirkung auf den Rezipienten hat [3, S. 169]:

What is the effect of seeing objects we know to be inanimate suddenly become endowed with life? How does this experience compare with the viewing of drawn animation, which more clearly are marked as being fabricated, rather than something of the real world?

²Dr. Masahiro Mori ist ein japanischer Robotik-Experte, der als Pionier und Vorreiter in der Erforschung der emotionalen Akzeptanz von Menschen gegenüber Robotern gilt.

Furniss wirft hier auch die Frage einer unterschiedlichen Auffassung verschiedener Animationsstile auf. Ist eine Animation sehr abstrahiert, so ist die Notwendigkeit einer akkuraten Wiedergabe des Verhaltens von Charakteren oder Objekten im realen Leben wahrscheinlich weniger wichtig – die Animation wird eher als generiert angesehen und auch unrealistische Bewegungen und Verhaltensmuster werden eher vom Publikum akzeptiert.

Je realistischer Charaktere und Objekte in einer Animation dargestellt werden, desto wichtiger ist demnach auch eine exaktere Wiedergabe von Verhaltensmustern, da die Animation sonst schnell als unglaubwürdig aufgenommen wird, weil sie nicht der alltäglichen, realen Wahrnehmung entspricht. Eine sehr realistisch anmutende Animation wird im Vergleich zu einer sehr stark abstrahierten Animation daher auch mehr Potenzial beinhalten, vom Rezipienten in ihrer Form nicht als authentische Animation wahrgenommen zu werden, da schnell der Anspruch an physikalisch korrekte Bewegungen und Animationen gestellt wird. Differenziert werden muss hierbei zusätzlich zwischen 2D- und 3D-Animation. Laut Ferrell haben 3D-Animationen ein höheres Potenzial Unbehagen zu provozieren. Sie begründet dies mit der Aussage [3]:

The reason is that, unlike 2D figures, 3D objects—clay, wooden, latex or (pixilated) human—already have a “real life” status, even before they are set in motion.

Grund dafür ist also die Tatsache, dass viele 3D-Objekte bereits vor ihrer Animation einen bestimmten Status im realen Leben haben, welchem sie in der Animation folglich gerecht werden müssen.

3.2 Animierte Objekte: Gestalt und Bewegung

Während sich das vorige Kapitel in erster Linie mit dem Uncanny Valley auseinandergesetzt hat, welches bei animierten und unanierten Charakteren Anwendung findet, wird in diesem versucht, eine Verbindung zu animierten Objekten herzustellen.

3.2.1 Das Objekt als Objekt

Maureen Furniss nennt in dem Buch *Art in Motion: Animation Aesthetics* [3] den Begriff *Uncanny Objects* und bezieht sich hierbei auf nicht animierte Objekte, welchen Leben eingehaucht wird. Alleine die Tatsache, dass diese Objekte animiert werden, kann dabei zu einer Irritation führen [3, S. 169]:

[...] there can be something disturbing or even horrifying in the realisation that inanimate objects could be endowed with life and intelligence.

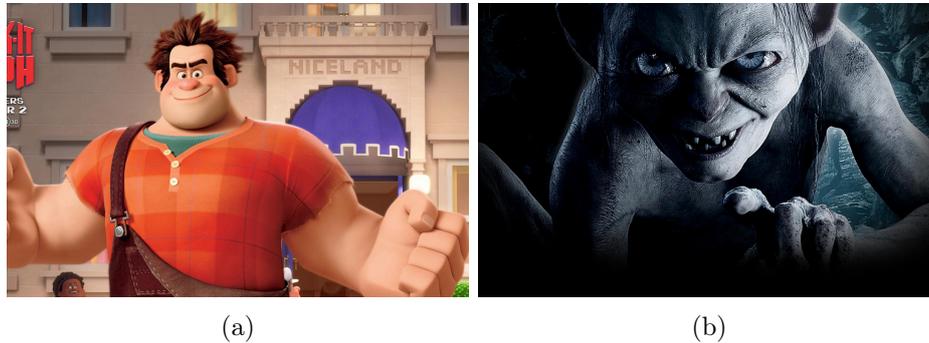


Abbildung 3.1: Klassische Charaktere, welche die Handlung vorantreiben. Links *Ralph* aus *Wreck-It Ralph*, rechts *Gollum* aus *Der Herr der Ringe*. In ihrer Erscheinungsform sind diese zwar sehr unterschiedlich, dennoch ist die Akzeptanz beim Publikum bei beiden sehr hoch. Quelle: (a) [22], (b) [20].

Als Beispiele dafür nennt sie eine Puppe, einen Roboter und andere Objekte, welche in einer Animation vorkommen. Auch Jan Svankmajers Animationen, welche mit verschiedensten Objekten umgesetzt wurden, kommen als potenziell Unwohl erregende Animationen vor. In diesen Animationen kommt es zu einer Verfremdung des eigentlichen Objektes – es wird nicht das Objekt in seinem normalen Umfeld bzw. Verhalten animiert, sondern versucht, mit den Objekten eine Geschichte zu erzählen. Svankmajer sagt diesbezüglich [3, S. 171]:

To my eyes, objects have always been livelier than human beings. More static but also more telling. More moving because of their concealed meaning and their memory, which beats human memory. Objects are keepers of the events they have witnessed. [...] In my films I have always tried to extract content from the objects, to listen to [the objects themselves] and to put their stories into images.

In dieser Arbeit liegt der Fokus auf Objekten, welche auch als solche animiert werden, also keine andere Funktion in der Animation übernehmen. Eine Unterteilung in verschiedene Objektgruppen ist daher naheliegend:

Die Unterscheidung zwischen einem Subjekt, das als solches wirkt und agiert (ein klassischer Charakter, siehe Abb. 3.1), einem Objekt, das eine Anima erhält und somit zum Subjekt wird (siehe Abb. 3.2), und einem Objekt, das zwar grundsätzlich animiert ist, aber trotzdem nicht „beseelt“ ist (siehe Abb. 3.3).

Subjekte kommen von Anfang an als solche in der Animation vor und sind maßgeblich dafür verantwortlich, in welche Richtung die Handlung getrieben wird. Auch Objekte, welchen eine Anima verliehen wird, können die



Abbildung 3.2: Objekte, welche wir als an sich nicht animierte Objekte kennen. In der Animation kommen sie als beseelte Objekte vor, welche auch die Handlung beeinflussen. Quelle: (a) [21], (b) [13].



Abbildung 3.3: Objekte, welche in der Animation auch als solche vorkommen. Links Woody aus *Toy Story* als einfaches Spielzeug, rechts der Wandteppich aus *Brave*. Quelle: (a) [21], (b) [12].

Handlung beeinflussen. Oftmals kommen sie ebenso als Subjekte wie auch als Objekte in einer Animation vor, wie beispielsweise die Spielzeuge in *Toy Story* [21] oder die Besen in *The Sorcerer's Apprentice* [13]. Als Beispiel für Objekte, welche in einer Animation vorkommen, aber dabei nicht als Subjekte auftreten, können viele verschiedene Objekte genannt werden, als Beispiel hierfür ist in Abbildung 3.3a ebenfalls Woody aus *Toy Story* zu sehen, hier als einfaches Spielzeug, Abbildung 3.3b zeigt den Wandteppich aus *Brave* [12].

3.2.2 Akzeptanz animierter Objekte

Ein großer Vorteil bei animierten Objekten ist, dass diese sehr häufig in Verbindung mit animierten Charakteren gezeigt werden, wodurch der Fokus der Aufmerksamkeit des Rezipienten auf letzteren liegt. Eine Verbindung zu Moris Uncanny Valley kann insofern hergestellt werden, dass auch Objekte,



Abbildung 3.4: Ein Vergleich von Zusammenstößen zwischen *Minecraft* (a) und *Need for Speed* (b) zeigt deutlich die unterschiedlichen Ansprüche an die Umsetzung der Animation. Quelle: (a) [11], (b) [18].

je realistischer sie dargestellt werden, eine akkuratere Animation aufweisen müssen, da sie ansonsten nicht in der gewünschten Form vom Publikum akzeptiert werden. Der Vergleich von Car-Crashes bei *Stupid Car – A Minecraft Animation* und *Need for Speed – Most Wanted Announce Trailer 2012* (siehe Abb. 3.4) verdeutlicht dies: bei *Minecraft* ist alles soweit stilisiert und abstrahiert, dass die „fragwürdige“ Animation sogar gut ins Gesamtbild passt, während der *Need for Speed*-Trailer schon so nahe an der Realität zu sein scheint, dass auch nur kleine Fehler in der Animation sofort als störend wahrgenommen werden.

Natürlich ist nicht nur die Animation selbst ein ausschlaggebender Faktor dafür, wie eine Animation auf einen Betrachter wirkt, sondern auch andere Dinge wie das Modelling und Shading, welche gleichzeitig auch die Ansprüche beeinflussen, welche an eine Animation gestellt werden.

3.2.3 Erwartungshaltung an eine Animation

Eine im Gesamtbild realistisch anmutende Szenerie führt automatisch zu der Erwartungshaltung, dass auch der Animationsstil einem realistischen Verhalten entspricht. Diese Erwartungshaltung gilt dabei ebenso für Charaktere wie auch andere in der Animation vorkommende Objekte.

In dem Fall der Animation von Stoffen dienen diese meist als Unterstützung der gesamten Animation, weshalb auch sie ein zum Animationsstil passendes Verhalten aufweisen müssen, da ansonsten eine Diskrepanz zwischen dem agierenden Charakter/den agierenden Charakteren und den sekundären Objekten entsteht, welche folglich dem Rezipienten den Eindruck einer „schlechten“ Animation vermittelt. Es ist dabei nicht wichtig, dass die Animation physikalisch korrekt berechnet wird, was wie in Abschnitt 2.2 bereits beschrieben einen enormen Aufwand darstellen würde. Vielmehr muss die Animation ins Gesamtbild passen und eine glaubwürdige Bewegung vermitteln, um eine Handlung effektiv zu unterstützen.



Abbildung 3.5: Die bei der Mondlandung von Neil Armstrong aufgestellte Fahne, welche auf Grund ihrer speziellen Befestigung so aussieht, als ob sie im Wind wehen würde. Quelle: [28]

Ein Beispiel aus dem realen Leben hierfür ist die Mondlandung und die dabei aufgestellte Fahne. Erwartungsgemäß dürfte die Fahne am Mond nicht im Wind wehen, auf Grund der speziellen Befestigung der Fahne erscheint aber der Eindruck, als würde diese im Wind wehen, was folglich zu der Annahme von Verschwörungstheoretikern führte, dass die Mondlandung in einem Studio auf der Erde gedreht worden sei (siehe Abb. 3.5).

Kapitel 4

Technische Ansätze

Es gibt eine Vielzahl technischer Möglichkeiten, welche Animatoren und Artists zur Verfügung stehen, um Animationen von Stoffen zu verwirklichen. In diesem Kapitel erfolgt zunächst eine Auseinandersetzung mit diesen Techniken, wie sie in der Produktion zur Erstellung der Animationen verwendet werden. Anschließend folgt der eigentliche Kern der Arbeit, nämlich der Versuch, weitere technische Ansätze zu untersuchen, welche eine ansprechende und überzeugende Animation ermöglichen. Gleichzeitig soll die Produktionspipeline verkürzt werden, indem dabei auf den zusätzlichen, oft sehr zeitaufwändigen Schritt der Simulation verzichtet wird.

4.1 Grundlagen der Simulation

Die Erstellung und Animation von Kleidung und aus Stoff gefertigten Objekten stellt seit Beginn der Animation ein komplexes Problem dar, wobei verschiedene Ansätze existieren, welche diese Aufgabe zu lösen versuchen. Xavier Provot hat diesbezüglich ein Paper mit dem Titel *Deformation Constraints in a Mass-Spring Model to Describe Rigid Cloth Behavior* verfasst, in dem er ein physikalisch basiertes Modell für die Animation von Objekten aus Stoff beschreibt, auf welches ich im folgenden Abschnitt kurz eingegangen wird.

4.1.1 Feder-Masse-Modell nach Xavier Provot

Provots Modell beschreibt [9]:

[...] a physically-based model for animating cloth objects, derived from elastically deformable models, and improved in order to take into account the non-elastic properties of woven fabrics.

Provot versucht in seinem Modell Stoffen ein realistischeres Verhalten zu verleihen als es in vorangehenden Ansätzen zustande kommt. Dabei nimmt

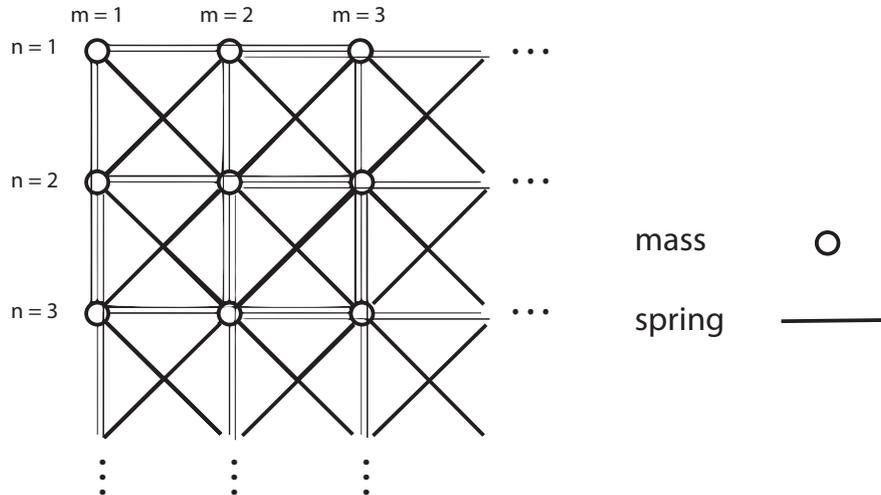


Abbildung 4.1: Aufbau eines Objektes in Provots Feder-Masse-Modell. Quelle [9].

er besonderen Bezug auf die Elastizität von Textilien, welche sich generell als steifer definieren lässt als bei anderen Materialien [9]:

[...] for flags, or hanging sheets [...] cloth animation models should be much *stiffer* than the elastic models that have been implemented so far.

Das zu simulierende Objekt wird in Provots Modell aus einem Gitter aus Massen beschrieben, welche durch masselose Federn mit einer Länge ungleich Null verbunden sind (siehe Abb. 4.1).

Dabei gibt es drei Arten von Federn, welche die Massepunkte verbinden: Strukturfedern, Scherfedern und Flexionsfedern. Strukturfedern verbinden Massepunkte von $[m, n]$ zu $[m+1, n]$ und $[m, n]$ zu $[m, n+1]$, also horizontal und vertikal benachbarte Punkte. Scherfedern verbinden Massepunkte von $[m, n]$ zu $[m+1, n+1]$ und $[m+1, n]$ zu $[m, n+1]$, also diagonal benachbarte Punkte. Flexionsfedern verbinden Massepunkte von $[m, n]$ zu $[m+2, n]$ und $[m, n]$ zu $[m, n+2]$, also horizontal und vertikal benachbarte Punkte mit jeweils einem dazwischenliegenden Punkt. Die Entwicklung des Systems ist beschrieben durch

$$F_{i,j} = \mu \cdot a_{i,j}. \quad (4.1)$$

Die Variablen i und j sind dabei Element von $1, \dots, m$ bzw. $1, \dots, n$. μ ist die Masse des Punktes $P_{i,j}$, $a_{i,j}$ ist die Beschleunigung dieses Punktes. Die Kraft F wird dabei unterteilt in eine interne und eine externe Kraft, wobei sich die interne Kraft aus der Spannung der einzelnen Federn ergibt, welche

den Punkt $P_{i,j}$ mit seinen Nachbarn verbinden. Die externe Kraft ist eine Summe diverser Kräfte, welchen das Objekt ausgesetzt ist. Dazu zählen die Schwerkraft, ein Dämpfungsfaktor, oder die Interaktion mit Luft.

Problem bei dieser Methode ist die *Super-Elastizität*, wie in Abbildung 4.2 dargestellt. Diesem Problem versucht Provot mit der Einführung von dynamischen, inversen Constraints entgegenzuwirken. Dazu wird die Deformation der einzelnen Federn berechnet und mit einem Grenzwert τ_c verglichen. Liegt die Deformationsrate über dem Grenzwert, so wird ein dynamisches, inverses Verfahren angewandt, um die Deformation bis zum Grenzwert τ_c zu verringern. Dazu ein Auszug aus [9]:

If, and only if, the deformation rate of a spring is greater than a critical deformation rate τ_c , then a dynamic inverse procedure is applied to the two ends of the spring so that its deformation rate exactly equals τ_c . This means that, if we choose $\tau_c = 0.1$, we want the length of the springs not to exceed their natural length by more than 10% (for many fabrics, it could be even less than that).

Daraus resultiert eine gleichmäßigere Verteilung der verzerrten Federn (siehe Abb. 4.3). Die Limitation der Elastizität der Federn wird dabei nur auf Struktur- und Scherfedern angewandt, da im Gegensatz zu den anderen Deformationen die Krümmung bei Stoffen kaum limitiert ist, wie Provot beschreibt [9]:

[...] flexion, unlike elongation and shear deformation, is almost not limited at all in real cloth objects—they are easily folding.

4.1.2 Navier-Stokes-Gleichung

Die *Navier-Stokes-Gleichung*,

$$p \cdot \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -\vec{\nabla} p + p \cdot \vec{g}_s - 2 \cdot p \cdot \vec{\Omega} \times \vec{v} + \vec{\nabla} \cdot \vec{P}_R, \quad (4.2)$$

stammt aus der Strömungsmechanik und hat sich als Standard für die Simulation von Fluids durchgesetzt. Bezüglich der Simulation von Stoffen ist diese insofern relevant da sie auch zur Berechnung von Luftströmungen und Turbulenzen dient, welche wiederum in der Simulation von verschiedenen Fields erzeugt werden.

Die Navier-Stokes-Gleichung gibt Auskunft über die zeitliche Entwicklung von horizontalen wie vertikalen Luftströmungen [7].

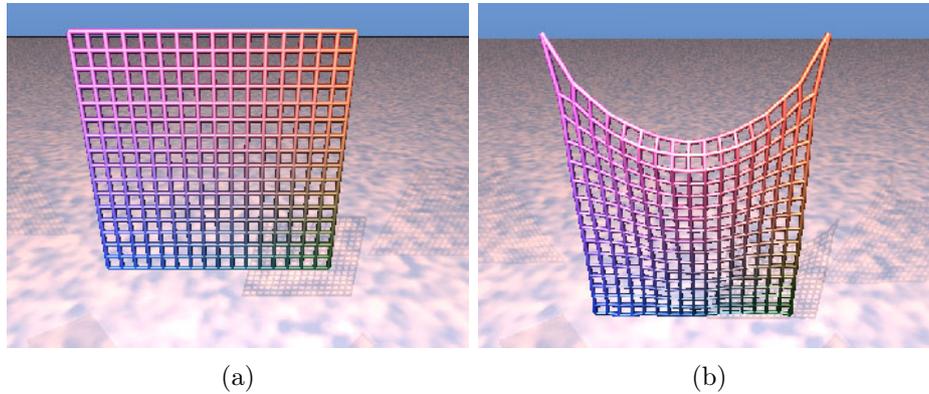


Abbildung 4.2: Das Problem der *Super-Elastizität* führt dazu, dass der Stoff an den befestigten Ecken wesentlich elastischer ist als an anderen Positionen. (a) zeigt die Ausgangsposition eines Testobjektes, (b) die Position des Objektes nach 200 Durchläufen. Quelle [9].

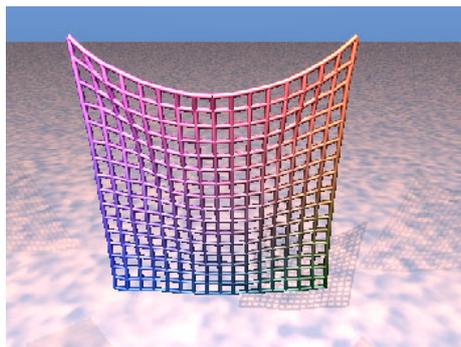


Abbildung 4.3: Ergebnis der Simulation mit angewandter dynamischer, inverser Prozedur bei einem Grenzwert $\tau_c = 0.1$. Quelle [9].

4.2 Simulation von Stoffen

Um einen Einblick in die in der Produktion verwendeten Methoden zur Animation von Stoffen und Kleidung zu bieten erfolgt an dieser Stelle eine Beschreibung aktueller Techniken, welche sowohl in der Animation Verwendung finden, als auch in der Erstellung von Prototypen für wirkliche Kleidungsstücke.

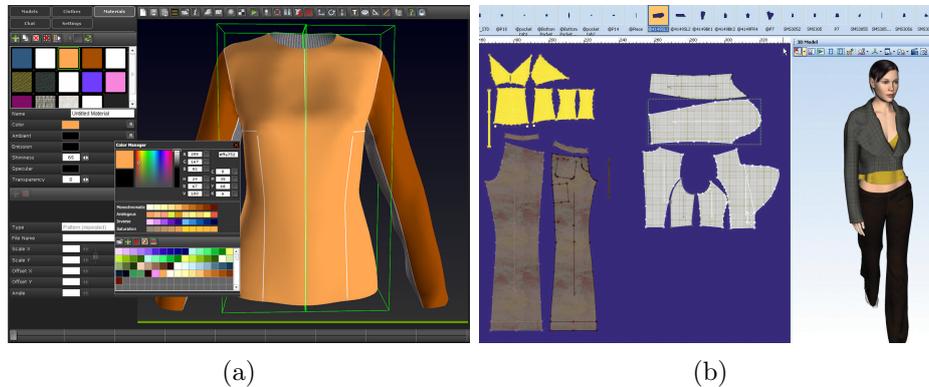


Abbildung 4.4: *Optitex* bietet eine Vielzahl von Programmen, welche Artists bei der Erstellung von Kleidung für Charaktere unterstützen können, beispielsweise den *Optitex 3D Designer* in Abbildung (a), oder den *Optitex 3D Creator* in Abbildung (b). Quelle [29].

4.2.1 Optitex 3D Suite

Die Firma *Optitex* bietet mehrere Produkte für den Umgang mit Stoffen an (siehe Abb. 4.4), sowohl für die Erstellung von Prototypen in 3D, als auch die Produktion von Kleidungsstücken [29]:

The *Optitex 3D Suite* is a collection of applications that can create photorealistic 3D garments, fit them on an incredibly customizable avatar, and even animate them for dynamic, eye-catching presentations.

Die 3D Suite bietet dabei viele Funktionen, welche es dem User ermöglichen, photorealistische Kleidung zu erstellen, diese an einen Charakter anzupassen und zu animieren. Während das Programm auf Grund seiner auf die Fertigung von Kleidungsstücken ausgelegten Funktionen für die eigentliche Animation für Szenen in einem Kurz- oder Featurefilm nicht wirklich geeignet ist, kann es dennoch unterstützend für das Design des Outfits eines Characters o.Ä. verwendet werden. Für die Erstellung von Kleidung müssen die einzelnen Teile zunächst als 2D-Objekte erzeugt werden, welche dann zusammengefügt werden und so das fertige Kleidungsstück ergeben (siehe Abb. 4.4b).

4.2.2 Syflex

Ein führendes Programm auf dem Gebiet der Simulation von Stoffen ist *Syflex* [43]:

Syflex is an industry leading cloth simulation software that has been used in many visual effects shots for movies from *Harry*

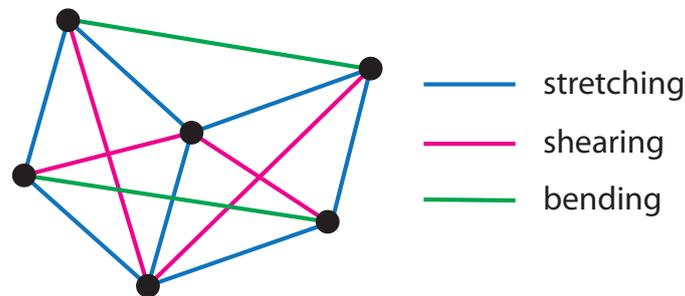


Abbildung 4.5: Skizze des Systems, welches in Syflex zur Simulation von Stoffen verwendet wird. An den Vertizen eines Objektes werden Partikel erzeugt, welche durch drei Arten von Federn miteinander verbunden sind. Quelle [34].

Potter and the Half Blood Prince, to The Legend of Zorro. It boasts its speed as being extremely fast and having an ease of use, while also seamlessly integrating within Maya, XSI or Houdini.

Syflex ist ein Programm, welches auf die Simulation von Kleidung spezialisiert ist und bereits in vielen Visual Effect Shots zum Einsatz gekommen ist, beispielsweise auch für einen der Trailer für *Assassin's Creed: Brotherhood* (siehe Abb. 4.8), in *Spider Man 3* [19], *Harry Potter und der Orden des Phönix* [14], *Fluch der Karibik* [17] und viele mehr. Syflex gilt als extrem robustes und schnelles Programm, welches sehr einfach und intuitiv zu bedienen ist. Im Gegensatz zu Programmen wie das in Abschnitt 4.2.1 beschriebene Optitex ist es nicht nötig, bei der Erstellung der Kleidung die einzelnen Teile als 2D-Objekte zu erstellen und „zusammenzunähen“, es kann mit einfachen Polygon-Objekten gearbeitet werden [39]:

It doesn't require any tailoring skills from the animator. There is no need in creating flat panels and stitching them together; the artist just uses any traditional polygonal object.

Für die Berechnung der Simulation verwendet Syflex wie Provat (siehe Abschnitt 4.1.1) ein Modell mit Partikeln, welche durch Verbindungen in Bezug zueinander stehen. Die verschiedenen Verbindungen beschreiben wiederum verschiedene Eigenschaften des Stoffes und werden durch bestimmte Werte in der Simulation gesteuert (siehe Abb. 4.5).

Syflex ermöglicht das Erstellen von Cache-Files, um Animationen schnell wiedergeben zu können, ohne die Simulation immer wieder neu starten zu müssen. Es gibt eine Vielzahl von Constraints,¹ mit denen die Bewegungsfreiheit eines Objektes modifiziert werden kann. Mittels *Pins* können Vertizen an einem anderen, statischen oder animierten Objekt befestigt werden.

¹Mittels Constraints werden gewisse Einschränkungen und Zusammenhänge definiert, beispielsweise die Übertragung der Rotation von einem auf ein anderes Objekt.

Nails sind absolute Pins, welche einen Vertex an seiner absoluten Position fixieren. Ebenso wie in Mayas *nDynamics* stehen auch in Syflex verschiedene Fields zur Verfügung, welche zur Simulation von Wind, Turbulenzen oder der Schwerkraft dienen.

Neben der Simulation von Stoff bietet Syflex auch weitere Optionen für die Simulation von Haut oder Fett, wobei hier andere Einstellungsmöglichkeiten zur Verfügung gestellt werden. Die Simulation in Syflex ist auf Basis physikalischer Gleichungen implementiert, weshalb auf die Skalierung einer Szene geachtet werden muss, da ansonsten das Verhalten eines Objektes nicht korrekt berechnet wird [16]:

Syflex implements a simulator based on physical equations. Each parameter of the simulation has a physical meaning and is expressed with specific units.

Die Werte sind dabei abhängig von der Länge, der Zeit und der Masse, wobei hier jeweils die Einheit gefragt ist, in der die Werte angegeben sind. Daraus resultiert, dass für eine physikalisch korrekte Simulation die Werte für die Gravitation, die Masse etc. an die verwendeten Einheiten angepasst werden müssen (siehe Abb. 4.6). Syflex bietet zur Berechnung der Werte auch einen kleinen Rechner, welcher in der Dokumentation enthalten ist (siehe Abb. 4.7).

Beispiel: Schwerkraft

Die Schwerkraft auf der Erde ist gegeben durch

$$G = 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]. \quad (4.3)$$

Sind die Units in Maya auf cm eingestellt und die Anzahl Frames pro Sekunde auf 25, folgt daraus

$$G = 9,81 \frac{100\text{cm}}{(25\text{f})^2} = 1,5696 \left[\frac{\text{cm}}{\text{f}^2} \right] \quad (4.4)$$

Der Wert für die Schwerkraft muss also auf 1.5696 gestellt werden, um eine korrekte Simulation zu erreichen.

4.2.3 Marvelous Designer

Ein weiteres Programm, welches auf die Erstellung und Simulation von Kleidung und Objekten aus Stoff spezialisiert ist, ist *Marvelous Designer*. Um Kleidung zu erstellen müssen hier ebenfalls zunächst die Einzelteile als 2-dimensionale Objekte erzeugt werden, um sie anschließend in der perspektivischen Ansicht zu platzieren und zu simulieren (siehe Abb. 4.9). Die Simulation ist dabei nahezu in Echtzeit möglich [43]:

Units	L=m T=24fps M=g
Gravity	-0.017
Mass Density	100
Cloth Spring Stiffnesses	20
Cloth Spring Dampings	0.2
Global Damping	0.02

Units	L=cm T=24fps M=g
Gravity	-1.7
Mass Density	0.01
Cloth Spring Stiffnesses	20
Cloth Spring Dampings	0.2
Global Damping	0.02

Units	L=cm T=24fps M=Kg
Gravity	-1.7
Mass Density	0.00001
Cloth Spring Stiffnesses	0.02
Cloth Spring Dampings	0.0002
Global Damping	0.00002

Units	L=cm T=s M=Kg
Gravity	-981
Mass Density	0.00001
Cloth Spring Stiffnesses	11.52
Cloth Spring Dampings	0.0048
Global Damping	0.00048

Abbildung 4.6: Tabelle mit Werten für verschiedene Eigenschaften, welche für eine korrekte Simulation bei der Verwendung bestimmter Einheiten für Länge, Zeit und Masse. Quelle [16].

your length unit L =	<input type="text" value="1"/>	meters
your time unit T =	<input type="text" value="1"/>	seconds
your mass unit M =	<input type="text" value="1"/>	grams
<input type="button" value="compute"/>		
Gravity	=	<input type="text"/>
Mass Density	=	<input type="text"/>
Cloth Spring Stiffnesses	=	<input type="text"/>
Cloth Spring Dampings	=	<input type="text"/>
Global Damping	=	<input type="text"/>

Abbildung 4.7: JavaScript-Rechner aus der Syflex Dokumentation, welcher zur Berechnung der Werte für Gravity etc. verwendet werden kann. Quelle [16].

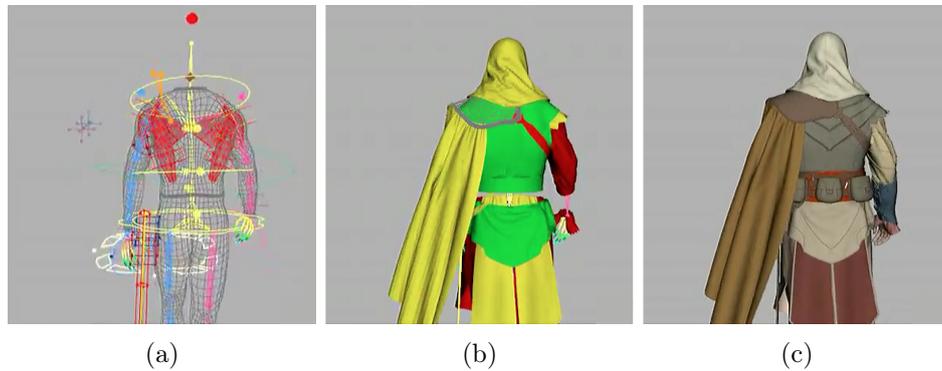


Abbildung 4.8: Setup der Simulation für die Kleidung von *Desmond Miles* in *Assassin's Creed: Brotherhood*. Quelle [40].

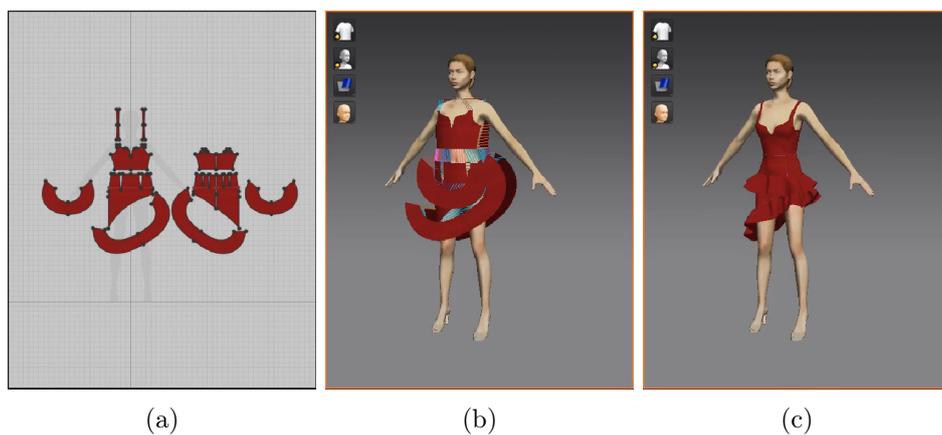


Abbildung 4.9: Beispiel für ein Setup in Marvelous Designer. Ebenso wie bei vielen anderen spezialisierten Programmen müssen hier die Teile eines Kleidungsstückes zunächst 2D als Schnittmuster ausgelegt werden (a). Anschließend werden die Einzelteile um den Character platziert und Nähte definiert (b) und vom Programm zum finalen Kleidungsstück zusammengefügt (c). Quelle [41].

With a decent computer, artists receive almost real-time response with the cloth simulation which only increases the speed and quality of work. [...] The realism of the fabric and simulation adds great subtle detail of being a lived in space.

Marvelous Designer bietet dabei nicht nur die Möglichkeit, Kleidung zu erstellen, es gibt auch viele verschiedene Avatare, an welche die Kleidung ange-



Abbildung 4.10: Zu Grunde liegendes Joint-Setup eines standardmäßig vorhandenen Avatars in Marvelous Designer. Die einzelnen Joints können beliebig positioniert werden. Quelle [41].

passt werden kann. Die Avatare können dank eines integrierten Joint-Setups² auch posiert werden (siehe Abb. 4.10). Als Avatar kann auch jedes beliebige OBJ-File³ importiert werden. So kann beispielsweise auch ein Fahnenmast importiert werden, an dem eine in Marvelous Designer erstellte Fahne fixiert und simuliert werden kann. Aus anderen 3D-Programmen können Cache-Files einer Animation importiert werden, um in Marvelous Designer Stoffe zu simulieren und deren Animation wiederum zu exportieren und zurück in die ursprüngliche Applikation zu bringen.

² *Joints* dienen als Skelett für einen Charakter oder andere Objekte, um diese animieren zu können.

³ Das File-Format OBJ dient als Datenaustauschformat für 3D-Applikationen wie Autodesk Maya oder 3ds Max.

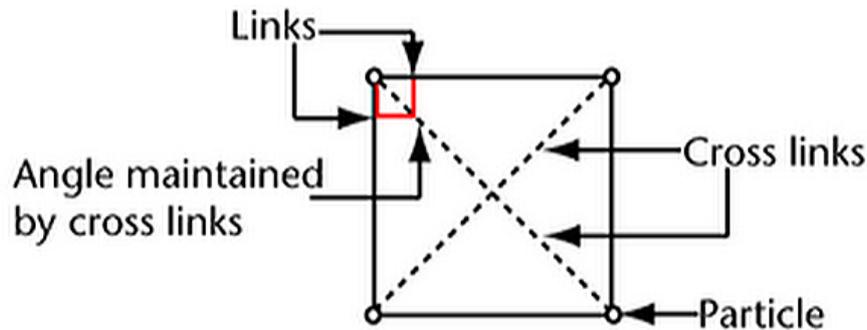


Abbildung 4.11: In Autodesk Maya verwendetes System von Verbindungen, welche die Partikel miteinander in Beziehung setzen. Durch diese wird die Distanz zwischen Partikeln aufrecht erhalten, zusätzliche Kreuz-Verbindungen sorgen für den Erhalt der Winkel zwischen Verbindungen. Quelle [26].

4.2.4 nCloth in Autodesk Maya 2014

In Autodesk Maya erfolgt die Simulation von Stoffen mit Hilfe des *nCloth*-Moduls, welches das in früheren Versionen vorhandene *Cloth*-Modul abgelöst hat und im Vergleich dazu wesentlich schneller und stabiler ist. Ein großer Vorteil des *nCloth*-Systems ist, dass Objekte nicht als 2D-Panels ausgelegt und später zusammengefügt werden müssen, sondern als normale Polygon-Objekte erzeugt und in *nCloth*-Objekte umgewandelt werden können.

Ebenso wie das von Provat entwickelte Feder-Masse-Modell oder Syflex verwendet auch das *nCloth*-Modul ein Netzwerk von Partikeln, welche durch verschiedene Verbindungen miteinander in Beziehung gesetzt werden (siehe Abb. 4.11). Diverse Eigenschaften, welche für das *nCloth*-Objekt eingestellt werden können (siehe Abb. 4.12), beeinflussen dann das Netzwerk aus Partikeln und deren Verbindungen. Die *Stretch Resistance* und *Compression Resistance* haben beispielsweise Einfluss auf die Verbindungen benachbarter Partikel, die *Shear Resistance* beeinflusst die Kreuzverbindungen der Partikel. Ein großer Vorteil der Verwendung von *nCloth* in Autodesk Maya ist, dass automatisch ein so genannter *Nucleus-Solver* erstellt wird. Dieser übernimmt die Berechnung der Simulation und ermöglicht gleichzeitig auch eine Interaktion mit anderen dynamischen Systemen, wie zum Beispiel Partikelsysteme, oder Soft- und Rigid-Bodies, sofern diese mit dem selben *Nucleus-Solver* verbunden sind.

Im Gegensatz zu speziell für die Simulation von Stoffen entwickelten Programmen ist jedoch die Berechnungsdauer der Simulation mit Mayas *nCloth* wesentlich höher, vor allem wenn eine möglichst realistische Animation erzielt

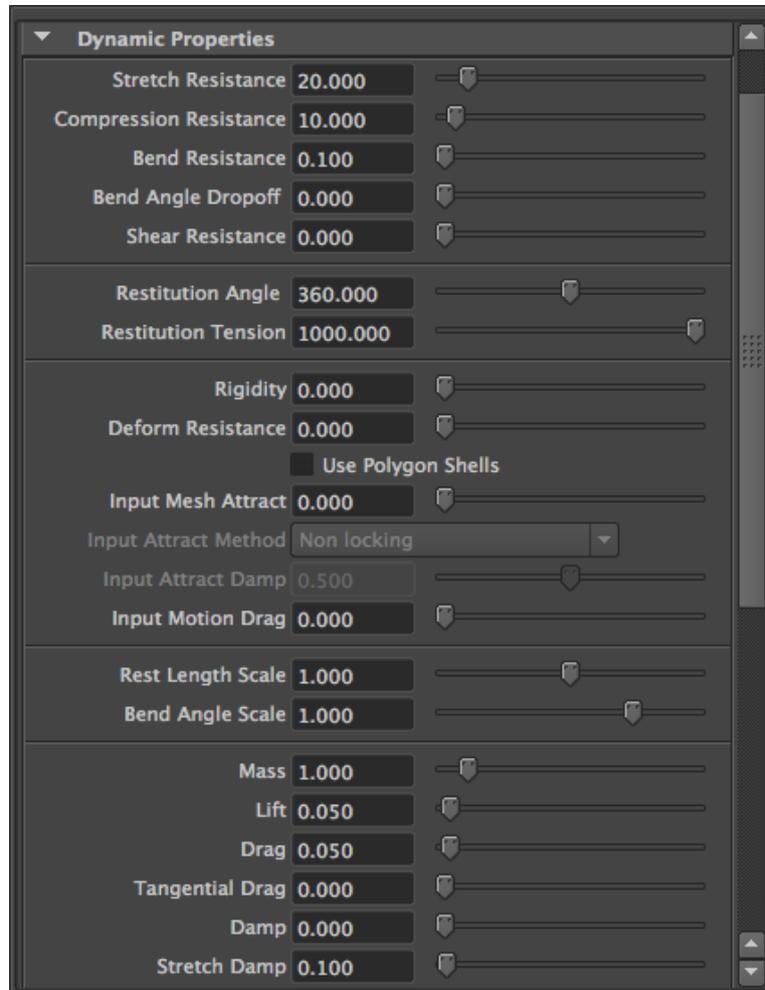


Abbildung 4.12: Auszug der Einstellungsparameter eines nCloth-Objektes in Autodesk Maya.

werden soll. Alleine die große Anzahl der zur Verfügung stehenden Methoden zeigt erneut, dass eine auf physikalischen Grundlagen basierende Simulation von Stoffen einen erheblichen Mehraufwand darstellt, wobei hier einige weitere Plugins und Module außen vorgelassen wurden.

Ein weiterer Punkt, welcher vor allem den Prozess der Erstellung von Kleidung erschwert, ist die Notwendigkeit in vielen Programmen, die einzelnen Teile eines Kleidungsstückes zunächst zweidimensional zu erstellen (Abb. 4.13) und „zusammenzunähen“.

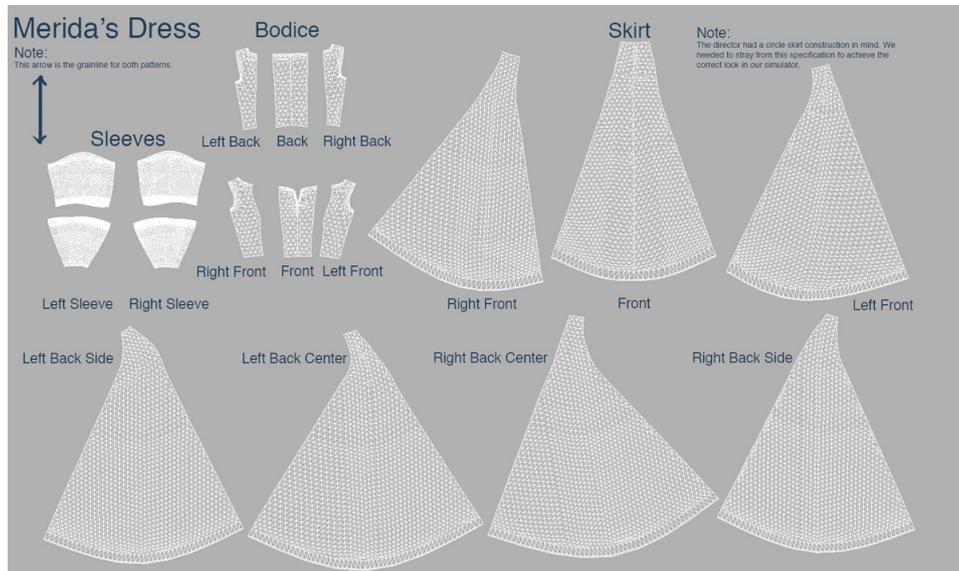


Abbildung 4.13: Die Einzelteile eines der Kleider, welches *Merida* in *Brave* trägt. Quelle [35].

4.3 Exemplarischer Szenenaufbau in Autodesk Maya 2014

Ein Setup eines Objektes, welches ohne Simulation auskommt, erleichtert den Produktionsprozess in vielerlei Hinsicht. Einerseits sind die Ergebnisse der Animationen gut kontrollierbar, andererseits entfällt der komplexe und zeitaufwändige Prozess der Simulation. Natürlich müssen auch Abstriche gemacht werden, vor allem hinsichtlich des physikalisch korrekten, realistischen Verhaltens der Objekte, welches ohne eine vollständige Simulation nicht erzielt werden kann. Hierbei stellt sich dann die Frage der Notwendigkeit einer Simulation. Kann durch die Beobachtung der Bewegungsmuster und einer entsprechenden Aufbereitung eines Objektes ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden, steht der Aufwand aber in vielen Fällen – speziell bei kleinen Produktionen – nicht für den Mehrwert einer Simulation.

Im folgenden Abschnitt werden einige technische Lösungsansätze für ein solches Setup erläutert und die Vorgehensweise der Umsetzung in Autodesk Maya 2014 an Hand konkreter Beispiele demonstriert.

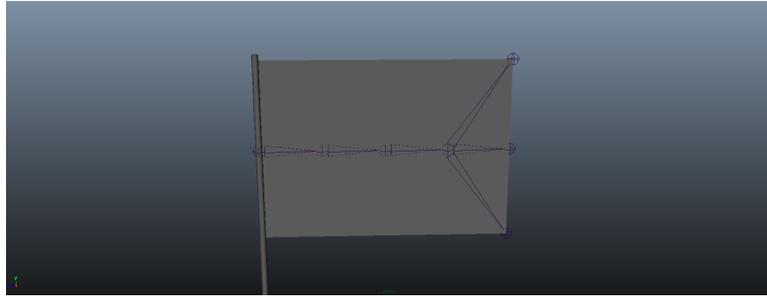


Abbildung 4.14: Die Ausgangsposition der Fahne mit einer Joint-Chain für die spätere Kontrolle mittels Kontrollobjekten.

4.3.1 Sekundäre Animation durch den Animator

Erfolgt das Setup in einer Art und Weise, bei der die Animation direkt durch den Animator erfolgt, so wird diesem ein sehr hohes Maß an Kontrolle zugesprochen, welches sich allerdings auch in einem höheren Zeitaufwand bei der Animation niederschlägt.

Fahne

Ausgangsbasis für das Setup einer Fahne ist eine einfache Fläche, welche möglichst regelmäßig unterteilt wird. Je höher die Anzahl der Unterteilungen, desto schöner lässt sich später der Faltenwurf realisieren, eine niedrigere Tessellierung erleichtert und beschleunigt jedoch die Arbeit beim Setup.

Um die Wellenbewegung der Fahne steuern zu können wird eine Joint-Kette erzeugt, welche am Ende der Fahne zwei kürzere Segmente hat, um das Umschlagen noch besser kontrollieren zu können (siehe Abb. 4.14). Die Wellenbewegung der Fahne wird mittels der Rotation von FK-Kontrollobjekten gesteuert, welche mittels *Orient Constraints* die Rotation der einzelnen Joints beeinflussen. Je höher die Anzahl der Kontrollobjekte und Joints, desto genauer können später die Bewegungen der Fahne kontrolliert werden, wobei bereits eine relativ geringe Anzahl an Kontrollobjekten eine gute Animation zulässt.

Für das Ende der Fahne wird jeweils an der Ecke noch ein zusätzlicher Joint mit Kontrollobjekt erzeugt, um die Ecken auch ohne die Verwendung von Blendshapes beeinflussen zu können (siehe Abb. 4.15). Alternativ könnten hierfür auch zusätzliche Blendshapes erstellt werden, welche über verschiedene Attribute gesteuert werden. In diesem Fall werden die Blendshapes dazu verwendet, die Fahne in sich zusammenfallen zu lassen. Dabei kommen drei Blendshapes zum Einsatz (siehe Abb. 4.16), welche mittels *Driven Keys* abhängig von der Rotation über die *X*-Achse der drei mittleren Controller aktiviert werden (siehe Abb. 4.17). Um die kleineren Wellenbewegungen zu

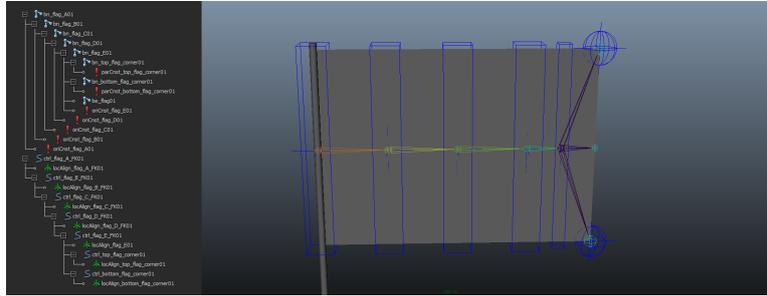


Abbildung 4.15: Die initiale Joint-Chain versehen mit Kontrollobjekten. Die FK-Controller (rechteckige Curves) sind hierarchisch dem jeweils nächsten Controller untergeordnet, um das FK-Verhalten zu erreichen.

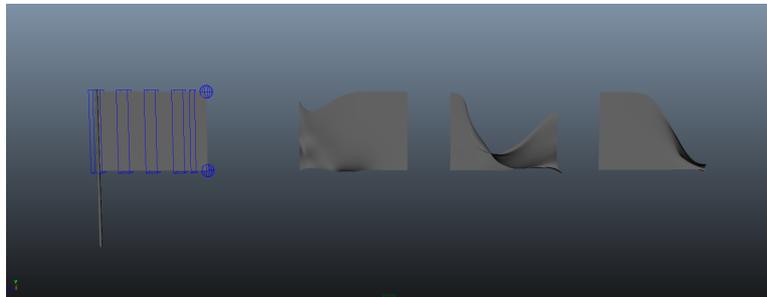


Abbildung 4.16: Die drei Blendshapes kontrollieren die Form der Fahne, wenn diese in sich zusammengefallen ist.

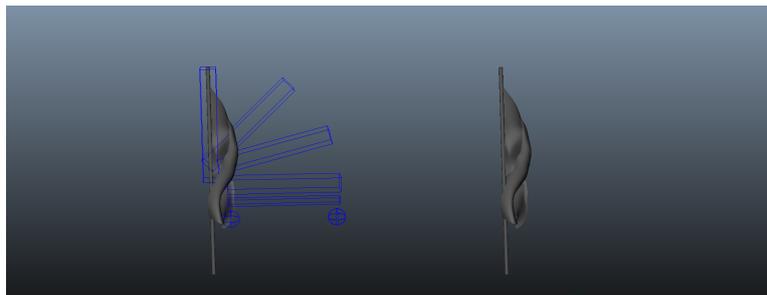


Abbildung 4.17: Über die Rotation der mittleren Kontrollobjekte werden die Blendshapes aktiviert, welche die Fahne in sich zusammenfallen lassen.

simulieren, welche die Fahne entlanglaufen, wird ein *basicPerlinDeformer*⁴ erzeugt, dessen Attribute mit neu erstellten Attributen des Base-Controllers verknüpft werden (siehe Abb. 4.18).

⁴Der *basicPerlinDeformer* kann mit Hilfe des Plugins *Perlin Noise Deformer* erstellt werden (siehe <http://www.creativecrash.com/maya/plugin/perlin-noise-deformer>).

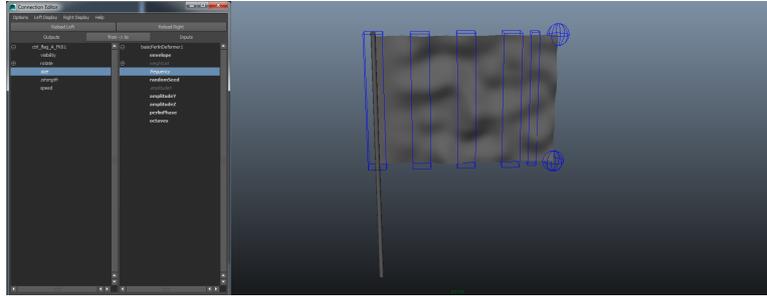


Abbildung 4.18: Mit dem Noise Deformer können zusätzliche Verformungen der Fahne animiert werden.

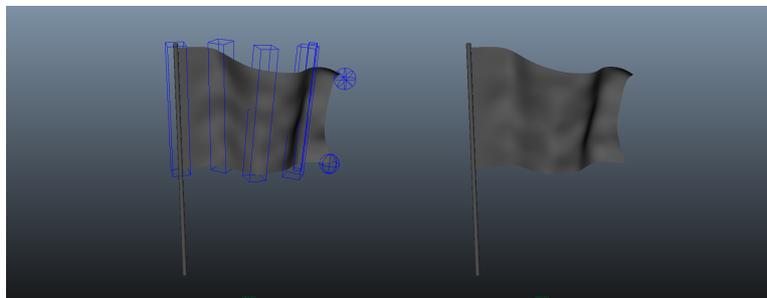


Abbildung 4.19: Mögliches Endergebnis der fertig positionierten Fahne.

Ebenso wie im folgenden Abschnitt 4.3.2 besteht auch bei der Fahne die Möglichkeit, bestimmte Funktionen zu automatisieren. Für eine Veränderung des Noise kann beispielsweise die Expression

```
1 basicPerlinDeformer1.perlinPhase += ctrl_flag_A_FK01.speed * 0.2;
```

verwendet werden. Je nach Position der Kontrollobjekte und Einstellungen der verschiedenen Attribute kann damit ein Ergebnis ähnlich dem in Abbildung 4.19 erzielt werden.

Stoffrolle

Da die Ergebnisse der Simulation einer Stoffrolle nicht sehr ansprechend waren wurde für dieses Objekt ein Setup erstellt, welches die händische Animation ermöglicht. Eine der größten Herausforderungen ist hierbei die große Flexibilität der Stoffrolle, welche an sich kaum Einschränkungen in ihrer Bewegungsfreiheit hat, vor allem wenn diese abgerollt wird. Ziel des Setups ist es, ein Auf- und Abrollen der Rolle zu ermöglichen, wobei gleichzeitig der Pfad animiert werden soll, der als Vorgabe der Bewegungsrichtung der Rolle dient. Die Animation des Aufrollens erfolgt dabei über eine Joint-Kette, welche mit Hilfe eines Scripts in eine Spiralförmigkeit gebracht werden

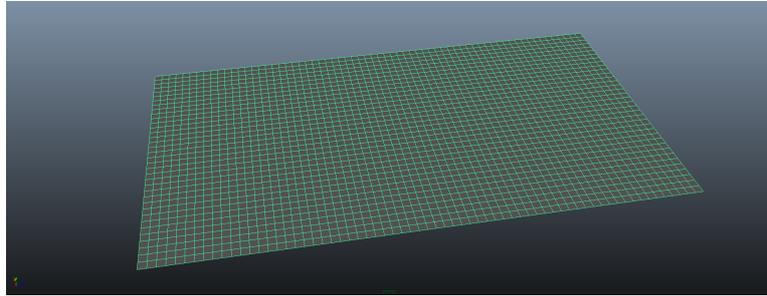


Abbildung 4.20: Ausgangsbasis des Setups für eine Stoffrolle.

kann. Das Ergebnis dieser Kette wird mittels einem Blendshape auf die eigentliche Stoffrolle übertragen. Ausgangspunkt ist eine simple Plane, welche regelmäßig unterteilt ist. Dabei sollte die Anzahl der Unterteilungen nicht zu gering sein (siehe Abb. 4.20), um das Objekt möglichst gleichmäßig aufrollen zu können.

Zunächst wird eine in gleich große Segmente unterteilte Joint-Kette erstellt (*bn_bshp_clothroll*) und die Plane mittels *Skin – Bind Skin – Smooth Bind* an die Joint-Kette *geskinned*. Als globales Kontrollobjekt *ctrl_global01* dient eine einfache Nurbs-Curve, zum Steuern des Auf- und Abrollens wird ein weiteres Kontrollobjekt erstellt (*ctrl_roll01*), welches am Ende der Stoffrolle platziert wird (siehe Abb. 4.21). Das Objekt wird in dessen Translation in Richtung der Z-Achse zwischen 0 und 100 limitiert, um den Wert direkt in Bezug dazu setzen zu können, wie viel Prozent der Rolle aufgerollt sind (siehe Abb. 4.22). Ein möglicher Lösungsweg für das Aufrollen der Fläche in Spiralform ist die Verwendung eines Scripts, welches die Joints abhängig von der Position des Kontrollobjektes *ctrl_roll01* rotiert. Als mathematische Grundlage wird dabei die archimedische Spirale verwendet. Die Koordinaten eines Punktes errechnen sich dabei aus den folgenden Gleichungen:

$$x(\phi) = a \cdot \phi \cdot \cos \phi \quad (4.5)$$

$$y(\phi) = a \cdot \phi \cdot \sin \phi. \quad (4.6)$$

Alternativ dazu können auch zusätzliche Curves in Spiralform erzeugt werden, welche als Kontrollkurven für einen IK-Solver dienen der wiederum eine zusätzliche Joint-Kette steuert deren Rotationswerte ausgelesen werden können. In diesem Beispiel wird jedoch der mathematische Ansatz mit der Berechnung über die archimedische Spirale verwendet. Zunächst erfolgt die Berechnung der Punkte auf der Spirale, welche im Abstand der durch die Anzahl an Joints gegebenen Segmentlänge regelmäßig verteilt sind (siehe Prog. 4.1). Der Innenradius *\$phiStart* wird dabei mittels eines zusätzlich erzeugten Attributes des Kontrollobjektes *ctrl_roll01* gesteuert, die Konstante *\$a* für den Windungsabstand ist abhängig von der Skalierung von *ctrl_roll01* in Z-Richtung, wobei diese zwischen 0.1 und 5 limitiert ist.

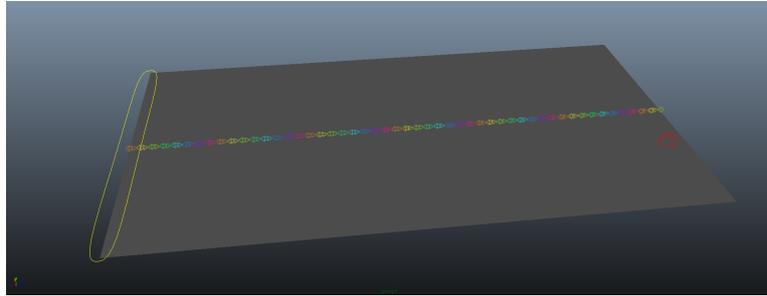


Abbildung 4.21: Joint-Kette zum Aufrollen des Stoffes. Je mehr Segmente diese besitzt, desto genauer kann eine Spiralform erzeugt werden. Die eingefärbten Objekte dienen später der Kontrolle verschiedener Funktionen und können vom Animator animiert werden (gelb – *ctrl_global01*, rot – *ctrl_roll01*).

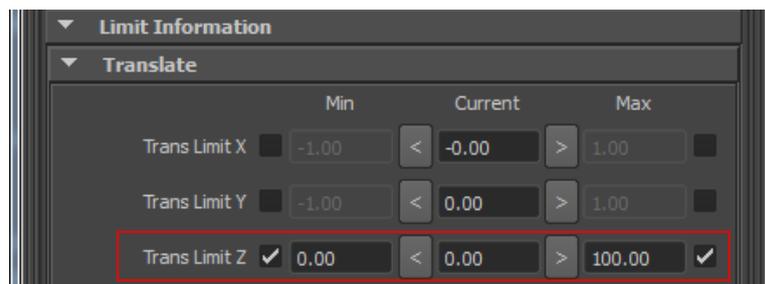


Abbildung 4.22: Limitierung der Translation von *ctrl_roll01*.

Anhand dieser Punkte werden anschließend mittels einfacher Vektorrechnung die maximalen Rotationswerte der einzelnen Segmente berechnet (siehe Programm 4.2). Abhängig von der Position des Controllers werden dann die Joints bis zu dem jeweiligen maximalen Rotationswert rotiert (siehe Abb. 4.23). Das Ergebnis des eingerollten Objektes wird später mit Hilfe eines Blendshapes auf das in der Animation sichtbare Mesh übertragen.

Die Kontrolle der Kurve der ausgerollten Stoffbahn erfolgt mit einer weiteren Joint-Kette (*bn_clothroll*), diese wird je nach gewünschtem Detailgrad in eine bestimmte Anzahl von Segmenten unterteilt. Für diese Kette wird unter *Skeleton – IK Spline Handle Tool* ein IK-Solver und eine Controlcurve erstellt. Die Control Vertices der Controlcurve werden jeweils mit einem eigenen Kontrollobjekt versehen. Über diese kann der Verlauf der Kurve und somit die Form der Stoffrolle gesteuert werden. Ein direktes Skinning der Stoffbahn an diese Joint-Kette ist in diesem Fall nicht möglich, da ansonsten das Ein- und Ausrollen nach der Erstellung des Blendshapes nicht mehr wie gewünscht funktioniert (siehe Abb. 4.24). Um dieses Problem zu umgehen wird ein Lattice Deformer verwendet, welcher an die Joint-Kette *bn_clothroll*

Listing 4.1: Berechnung der auf der archimedischen Spirale mit $a = 0.0005$ liegenden Punkte für die Anzahl Segmente $\text{\$numJnts} = 50$.

```

1  int $numJnts = 50;
2  $pi = 3.141592654;
3
4  float $a = 0.0006 + (ctrl_roll01.scaleZ - 0.1) * ((0.01 - 0.0006) / (5
   - 0.1));
5  float $phiStart = ctrl_roll01.innerRadius * 10.0;
6  float $segment = 3.72;
7
8  matrix $points[51][2];
9  $points[0][0] = $a * $phiStart * cos($phiStart * $pi / 180.0);
10 $points[0][1] = $a * $phiStart * sin($phiStart * $pi / 180.0);
11
12 $alpha = $phiStart;
13
14 for($x = 1; $x <= $numJnts; $x++) {
15     vector $point;
16     float $mag;
17
18     do {
19         $point = <<$a * $alpha * cos($alpha * $pi / 180.0),
20             $a * $alpha * sin($alpha * $pi / 180.0)>>;
21         vector $v = <<$point.x - $points[$x - 1][0], $point.y - $points[$x
   - 1][1]>>;
22         $mag = mag($v);
23         $alpha += 1.0;
24     }
25     while($mag < $segment);
26
27     $points[$x][0] = $point.x;
28     $points[$x][1] = $point.y;
29 }

```

Listing 4.2: Berechnung der maximalen Rotationswerte der einzelnen Segmente.

```

1  float $rotation[];
2
3  for($x = 1; $x < $numJnts - 1; $x++) {
4     vector $v1 = <<$points[$x - 1][0] - $points[$x][0], $points[$x -
   1][1] - $points[$x][1], 0.0 >>;
5     vector $v2 = <<$points[$x + 1][0] - $points[$x][0], $points[$x +
   1][1] - $points[$x][1], 0.0 >>;
6     $angle = `angleBetween -v1 ($v1.x) ($v1.y) ($v1.z) -v2 ($v2.x) ($v2.
   y) ($v2.z)`;
7     $rotation[$x - 1] = 180.0 - $angle[3];
8 }

```

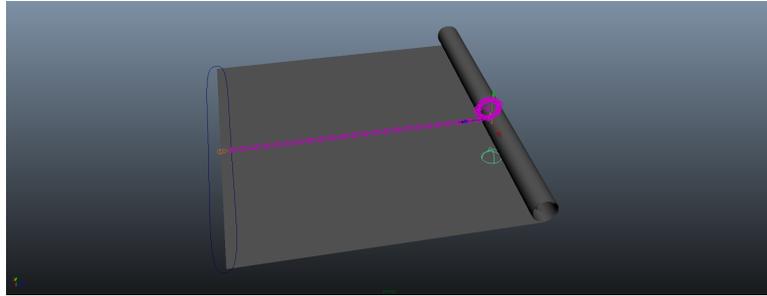


Abbildung 4.23: Rotation der einzelnen Joints bei bestimmter Position des Kontrollobjektes.

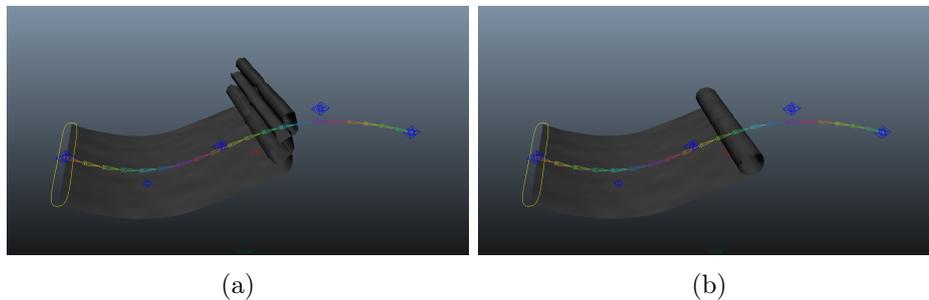


Abbildung 4.24: Fehlerhaftes Verhalten bei direktem Skinning des finalen Meshes an die Joint-Kette, welche die Bewegung der Rolle kontrolliert.

gebunden wird und die Stoffrolle beeinflusst. Um dem Animator noch mehr Kontrollmöglichkeiten zu bieten besteht die Möglichkeit der Verwendung zusätzlicher Joint-Ketten. Ein Duplikat der ursprünglichen Joint-Kette wird mit Kontrollobjekten versehen, welche mittels Forward Kinematik gesteuert werden. Eine dritte Kette, welche schließlich für das Skinning verwendet wird, kann dann zwischen der IK- und FK-Kette geblendet werden (siehe Abb. 4.25). Dazu wird für jeden Joint ein *BlendColors* Node erzeugt, dessen Inputs mit der Rotation FK bzw. IK Joints verbunden werden. Als *Blender* wird ein neu hinzugefügtes Attribut der globalen Controlcurve verwendet. Der Output der BlendColor Nodes wird jeweils in die Rotation der entsprechenden Joints eingespeist.

Für ein korrektes Ergebnis beim Einrollen der Stoffbahn ist es notwendig ein direktes Skinning zu vermeiden, weshalb das Resultat-Mesh von einem Lattice Deformer gesteuert wird. Dieser muss entlang der Stoffbahn ausreichend hoch unterteilt werden, um eine eckige Form zu vermeiden (siehe Abb. 4.26).

Bis zu diesem Punkt des Setups ist es bereits sehr gut möglich, die Bewegung der Stoffrolle zu kontrollieren. Für weitere Kontrollmöglichkeiten sorgen

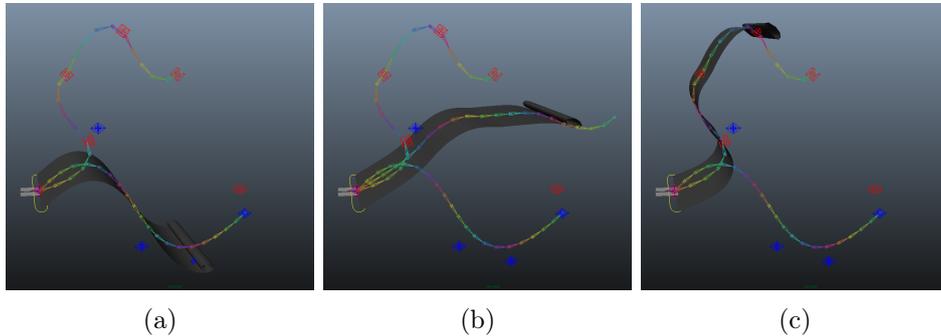


Abbildung 4.25: Blenden der Stoffrolle zwischen IK und FK.

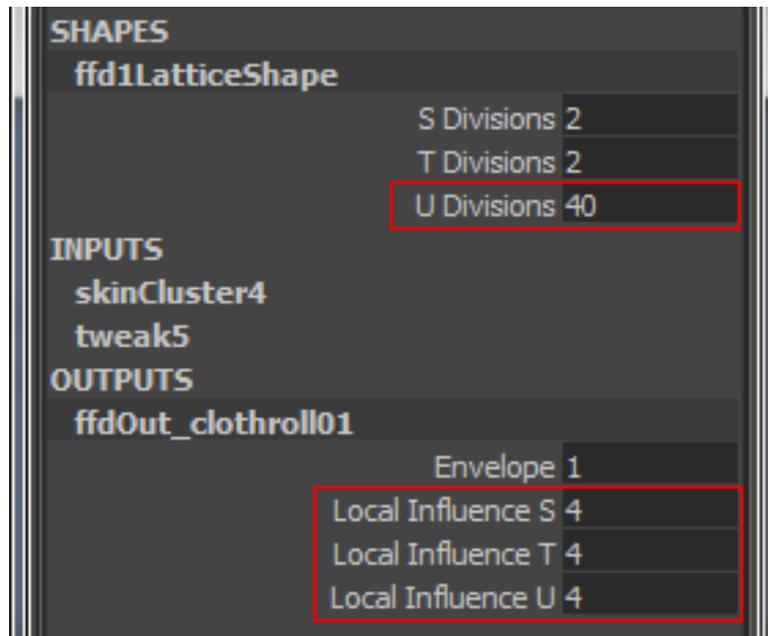


Abbildung 4.26: Die Unterteilungen des Lattice Deformers. Für ein zusätzliches Smoothing des Ergebnisses werden auch die Werte für *Local Influence* von 2 auf 4 erhöht.

ein *Squash* und ein *Bend* Deformer, welche dem Blendshape hinzugefügt werden. Wichtig dabei ist, dass deren Berechnung erst nach der Skin erfolgt, da die Deformer erst nach dem erfolgten Skinning des Objektes erzeugt werden ist aber die Input-Reihenfolge korrekt und muss nicht geändert werden.

Für die Stärke des Squash Deformers wird ein Driven Key gesetzt. Dadurch ist es möglich, den Faktor mittels der Skalierung *Scale Y* des Controllers *ctrl_roll01* zu steuern. Die Skalierung des Controllers ist in diesem Fall

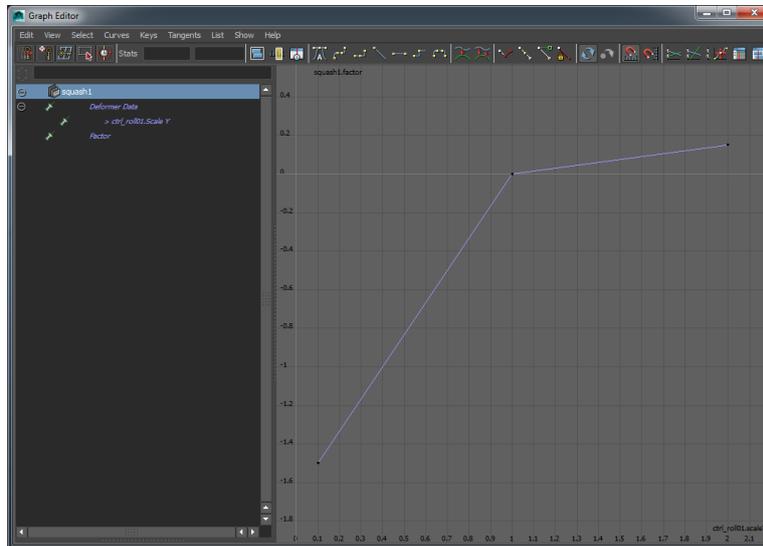


Abbildung 4.27: Die Abbildung zeigt den Verlauf der Keys, welche für den Factor des Squash Deformers gesetzt wurden.

limitiert zwischen 0.1 und 2. Die Einstellungen der Driven Keys sind Abbildung 4.27 zu entnehmen. Um zu verhindern, dass die Rolle bei aktivem Squash bzw. Stretch länger bzw. kürzer wird muss zusätzlich in den Attributen des Squash Deformers *Expand* auf 0 gesetzt werden (siehe Abb 4.28). Der Bend Deformer wird in der gleichen Art und Weise erzeugt wie der Squash Deformer, mit dem Unterschied, dass dessen Curvature direkt mit einem Custom Attribute verbunden wird. Für weitere Details wird ebenso wie bei der Fahne ein basicPerlinDeformer erzeugt, dessen Attribute wiederum über Verbindungen zu Attributen der Kontrollobjekte gesteuert werden können oder beispielsweise in Abhängigkeit der Position des Controllers. Ein mögliches finales Ergebnis zeigt Abbildung 4.29.

Flügel

Die Flügel des Hamsterrades können auf verschiedene Arten gesteuert werden. Dazu folgt hier die Beschreibung des Setups für eine händische Animation, wobei im Rahmen des Projektes der Stoff später nur noch auf Grund der Bewegung des Rahmens automatisch nachgezogen wird. Als Ausgangsbasis sind der Rahmen des Flügels und der etwas durchhängende, eingespannte Stoff gegeben (siehe Abb. 4.30).

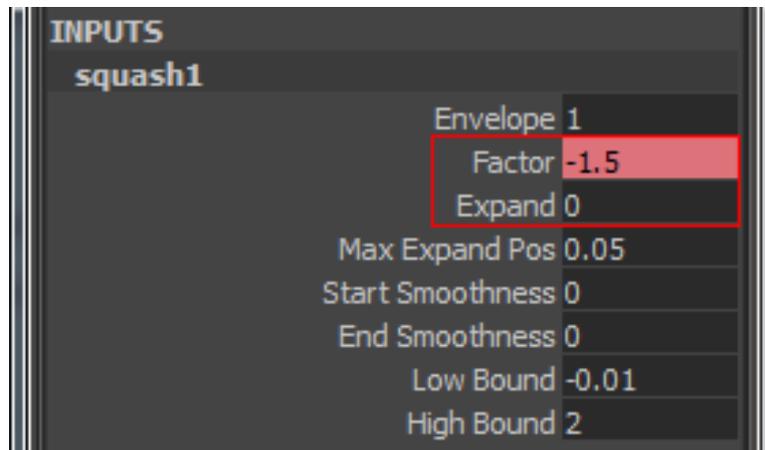


Abbildung 4.28: Die Einstellungen des Squash Deformers. Der *Factor* wird mittels eines Driven Keys über die Skalierung des Kontrollobjektes gesteuert.

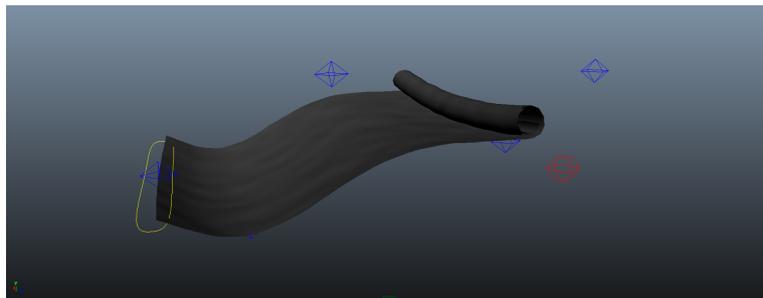


Abbildung 4.29: Mögliches finales Ergebnis der Stoffrolle bei verschiedenen Einstellungen der Attribute und verschiedenen Positionen der Kontrollobjekte.

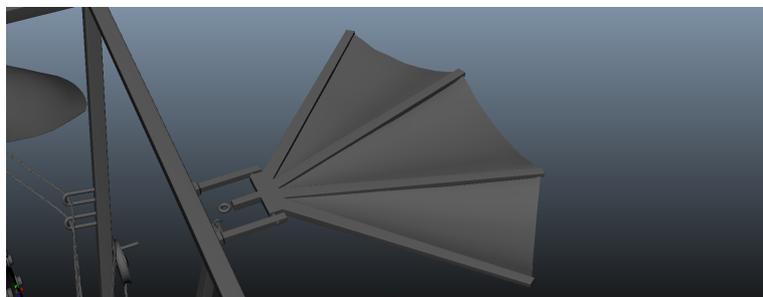


Abbildung 4.30: Initiale Stellung der Rahmenkonstruktion und des Stoffes des Flügels.

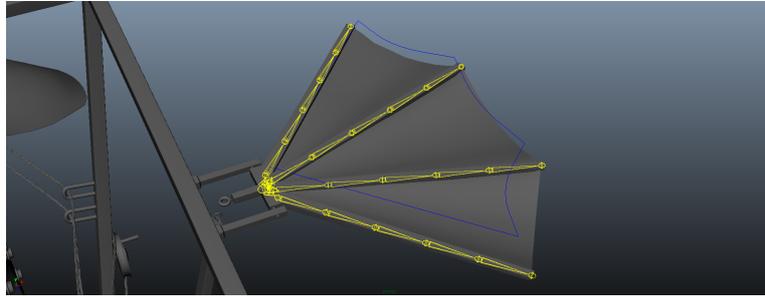


Abbildung 4.31: Die Joint-Ketten für die einzelnen Streben des Rahmens und die dazugehörige Controlcurve.

Zunächst erfolgt das Setup für die Animation des Rahmens. Dazu wird für jede Unterteilung eine eigene Joint-Kette erstellt, an der Basis des Rahmens befindet sich ein zusätzlicher Joint, der als Parent für die anderen Joint-Ketten dient (siehe Abb. 4.31). Die Kontrolle der Rotation der einzelnen Segmente des Rahmens erfolgt mit einer direkten Verbindung zu einem hinzugefügten Attribut einer Controlcurve (siehe Abb. 4.32).

Um zu ermöglichen, dass der Stoff mit dem Rahmen verformt wird und gleichzeitig vom Animator beeinflusst werden kann, wird dieser dupliziert und das Duplikat als Blendshape verwendet. Das Ausgangsmesh wird an den Basisjoint des Flügels *geskinned*, um anschließend den Rahmen als *Influence Object* hinzufügen zu können. Mit dem *Paint Skin Weights Tool* wird die Gewichtung des Rahmens auf 100% gesetzt (siehe Abb. 4.33). Wird nun der Rahmen gebogen, folgt der Stoff der Form des Rahmens (siehe Abb. 4.34). Für die Steuerung der Auf- und Abbewegung des Stoffes werden für das zuvor erstellte Blendshape zusätzliche Joints erstellt. Das Mesh wird an diese Joints *geskinned* und die Skin Weights so bearbeitet, dass ein weicher Übergang zwischen den Einflussbereichen der Joints entsteht.

Die Bewegungsfreiheit der Joints wird jeweils mittels eines *Aim Constraints* zu einem Locator eingeschränkt. Dieser kann sich auf Grund eines *Point to Surface Constraints* nur auf einer vorgegebenen Fläche bewegen, um zu verhindern, dass der Stoff zu sehr gedehnt wird. Die Animation erfolgt über Kontrollobjekte direkt beim Flügel, diese beeinflussen die Position des jeweiligen Locators und in Folge die Wölbung des Stoffes (siehe Abb. 4.35). Ähnlich dem Setup der Stoffrolle wird auch hier für zusätzliche Details ein *basicPerlinDeformer* am Blendshape erzeugt. Der Einflussbereich wird mittels *Edit Deformers – Paint Nonlinear Weights Tool* so reduziert, dass der Stoff nahe den Streben des Rahmens kaum mehr beeinflusst wird (siehe Abb. 4.36). Dieses Setup ist zwar sehr flexibel was die Steuerung der Bewegung angeht, jedoch ist der Animationsaufwand ein sehr hoher. Aus diesem Grund wird in Abschnitt 4.3.2 noch ein Setup vorgestellt wird, welches den Animationsaufwand auf einige wenige Einstellungsparameter beschränkt.

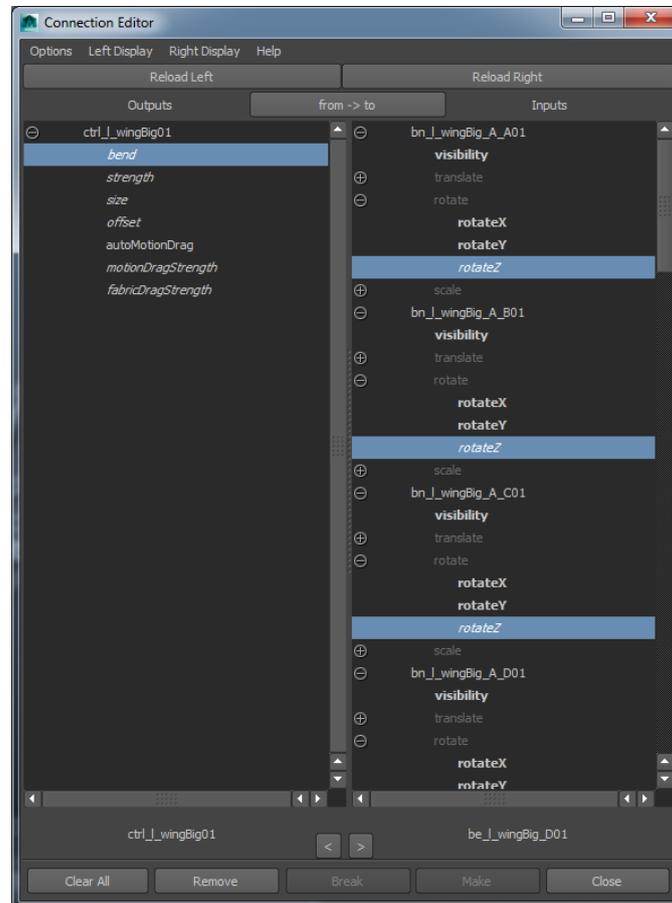


Abbildung 4.32: Die Z-Rotation der einzelnen Joints wird direkt mit dem *Bend* Attribut der Controlcurve verbunden.

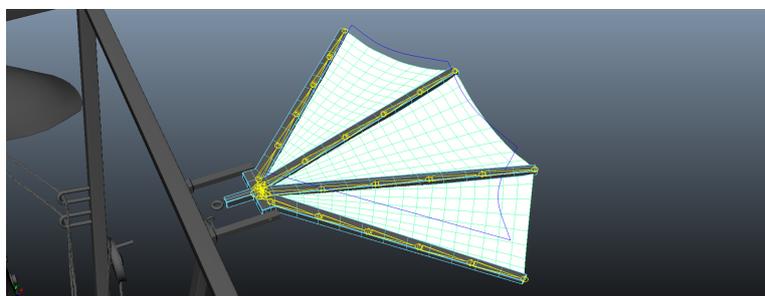


Abbildung 4.33: Der vollständige Einfluss des Rahmens auf den Stoff ist durch das weiß colorierte Mesh des Stoffes ersichtlich.

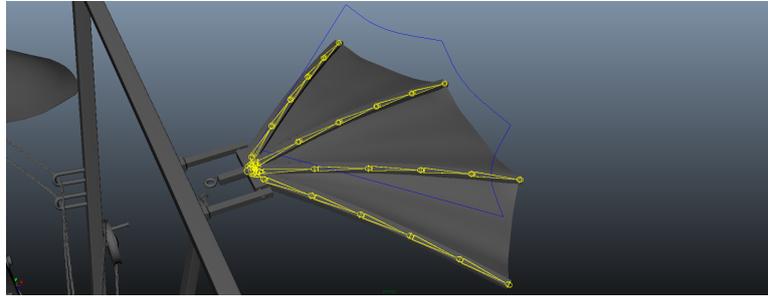


Abbildung 4.34: Durch das Hinzufügen des Rahmens als *Influence Object* folgt der Stoff der Biegung des Rahmens.

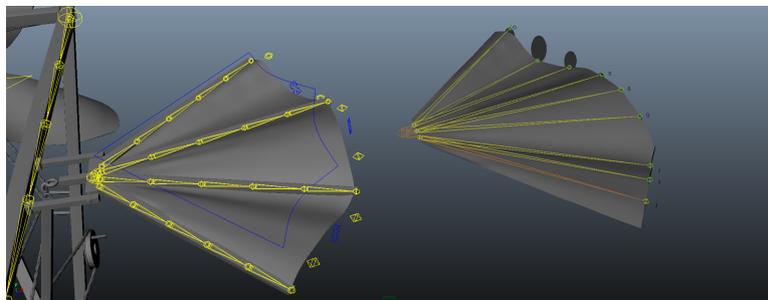


Abbildung 4.35: Das Ergebnis der Übertragung des Blendshapes auf das Ausgangsmesh bei verschiedenen Positionen der Kontrollobjekte. Die ovalen Flächen rechts geben den maximalen Bewegungsbereich vor.

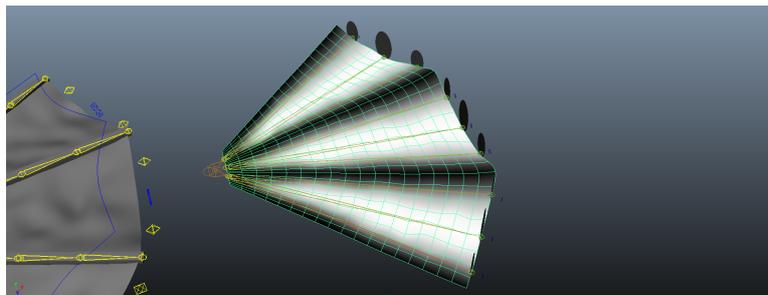


Abbildung 4.36: Der Einflussbereich des Deformers nimmt bei den Streben des Rahmens ab, um die eingeschränkte Bewegungsfreiheit an diesen Stellen nachzuahmen.

4.3.2 Semi-automatische sekundäre Animation

Ein semi-automatisches Setup stellt dem Animator gewisse Einstellungsparameter zur Verfügung, wodurch dieser nach wie vor ein gewisses Maß an Kontrolle über das finale Ergebnis der Animation hat. Die Bewegungsmus-

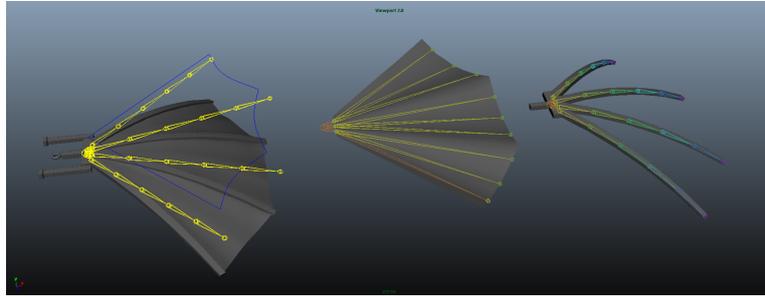


Abbildung 4.37: Die Joint-Ketten in diesem Setup sind im wesentlichen die gleichen wie in Abschnitt 4.3.1, ihre Funktion ist jedoch eine etwas andere.

ter und Einschränkungen derer werden aber vom Rigger vorgegeben und müssen gegebenenfalls von diesem adaptiert werden, um den Anforderungen der Animation zu entsprechen.

Flügel

Das semi-automatische Setup des Flügels ist vom Grundaufbau her dem händisch zu animierenden Setup sehr ähnlich. Um dies zu ermöglichen wird zunächst die Biegung des Frames über ein Blendshape realisiert. Dadurch kann bei gleichzeitiger, automatisch berechneter Biegung trotzdem ein händischer Offset eingefügt werden. Die ursprünglichen Joint-Ketten zur Biegung des Flügels bleiben erhalten. Auf deren Funktionsweise wird später genauer eingegangen. Der Aufbau des Setups bis zu diesem Punkt ist in Abbildung 4.37 mit einem händisch eingestellten Offset des Frames zu sehen.

Um zwischen einer automatischen Animation und dem rein händisch animierten Rahmen umschalten zu können werden die Joint-Ketten des Rahmens noch einmal dupliziert. Diese dienen als Driver Chains, von denen die automatisch berechnete Biegung auf die Result Chains übertragen wird. Dazu wird pro Joint jeweils ein *Orient Constraint* erstellt dessen Gewichtung abhängig von einem neu erstellten Attribut der Controlcurve auf 0 oder 1 gesetzt werden kann (siehe Abb. 4.38). Ist der automatische Motion Drag nicht aktiv bleiben die Bind Chains einfach in ihrer Ausgangsstellung und die Biegung erfolgt rein über das Blendshape.

Für den automatischen Motion Drag wird zunächst für jede Chain des Rahmens ein IK Solver erstellt. Die dabei automatisch erzeugten Curves werden jeweils in vier gleich große *Spans* unterteilt (siehe Abb. 4.39). Aus diesen Curves werden anschließend so genannte *Soft Bodies* generiert, bei denen die Möglichkeit besteht, sie einem Zielobjekt folgen zu lassen. Die Einstellungen dafür sind Abbildung 4.40 zu entnehmen. Im Falle einer Curve wird dabei automatisch an jedem Control Vertex ein Partikel erzeugt, welches dem Goal folgt. Die Stärke der Anziehungskraft des Goals kann dabei pro Partikel indi-

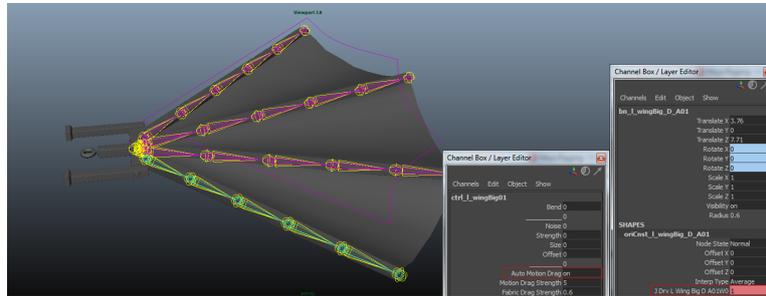


Abbildung 4.38: Mit dem Attribut *Auto Motion Drag* kann die automatische Berechnung des Motion Drags ein- oder ausgeschaltet werden.

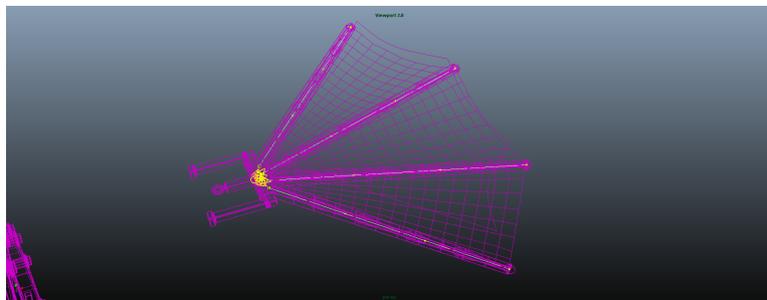


Abbildung 4.39: Die Abbildung zeigt die automatisch erstellten IK Curves, welche in jeweils vier gleich große Abschnitte unterteilt wurden.

viduell angegeben werden und wird bei diesem Beispiel vom Inneren Partikel mit *GoalWeight* = 1.0 zu den äußeren Partikeln linear abfallend eingestellt, um eine gegen Ende stärkere Biegung zu erreichen. Die Goal Curves werden in der Hierarchie dem Base Joint des Flügels untergeordnet, um direkt der Flügelbewegung zu folgen, welche mittels eines Sinus-Cosinus Nodes gesteuert wird. Beim Abspielen der Animation bewegen sich die dynamischen Curves dann zu den Goal Curves bzw. folgen diesen mit etwas Verzögerung (siehe Abb. 4.41).

Um das Ausmaß der automatischen Biegung der Streben zu beschränken muss an Hand von Tests ein Wertebereich definiert werden, welcher zu guten Ergebnissen führt. Dieser liegt für den Rahmen zwischen einem *Goal Weight* von 1.0 und 0.7. Für die Steuerung des *Goal Weights* durch den Animator ist wiederum ein kleines Script erforderlich, welches abhängig von einem Custom Attribute die Werte des Goals für die einzelnen Partikel steuert (siehe Prog. 4.3).

Das Setup für den automatischen Motion Drag der Stofffläche ist im Prinzip das gleiche des Rahmens. Um zu ermöglichen, dass der Stoff nach wie vor der Biegung des Rahmens folgt, muss die Bewegung des Stoffes zunächst

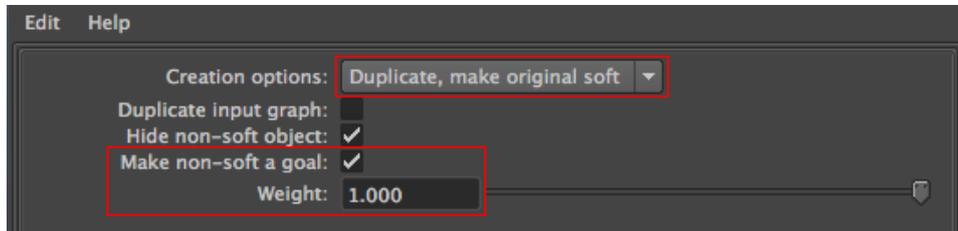


Abbildung 4.40: Bei der Generierung der Soft Bodies der Curves ist darauf zu achten, dass die Originalkurve zu einem Soft Body umgewandelt wird, um die Verbindung zum IK Solver nicht zu verlieren.

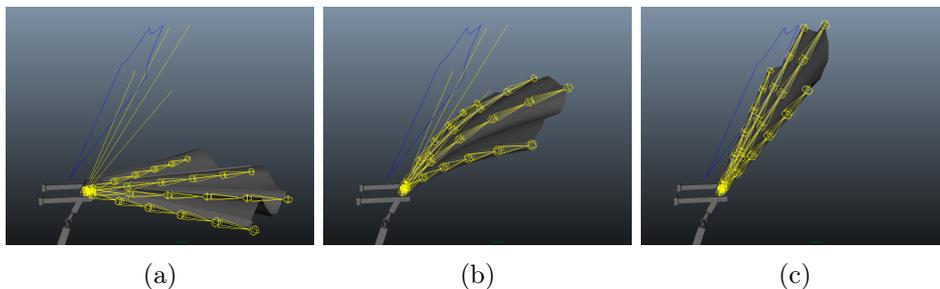


Abbildung 4.41: Bei abgespielter Animation bewegen sich die dynamischen Curves Richtung Goal Curves bis sie deren Position schließlich vollständig eingenommen haben. Wird die Rotation des Flügels nun animiert, folgen sie den Goal Curves mit etwas Verzögerung.

Listing 4.3: Berechnung der *Goal Weights* der einzelnen Partikel. Der Wertebereich liegt dabei zwischen $1.0 - \$\text{maxMotionDrag} = 0.7$ und 1.

```

1  int $numParticles = 4;
2
3  for($i = 0; $i < $numParticles; $i++) {
4      select crv_ikSp_l_wingBig_A01ParticleShape.pt[$i];
5
6      //map goalWeight to (1.0 - $maxMotionDrag) - 1.0
7      $maxMotionDrag = 0.3;
8      $goalWeight = 1.0 - ($i * $maxMotionDrag / 3.0);
9
10     //add offset according to motionDragStrength
11     $goalWeight = $goalWeight + ((1 - $goalWeight) * ((10 -
12     ctrl_l_wingBig01.motionDragStrength) / 10.0));
13     setParticleAttr -at goalPP -fv $goalWeight;
14 }

```

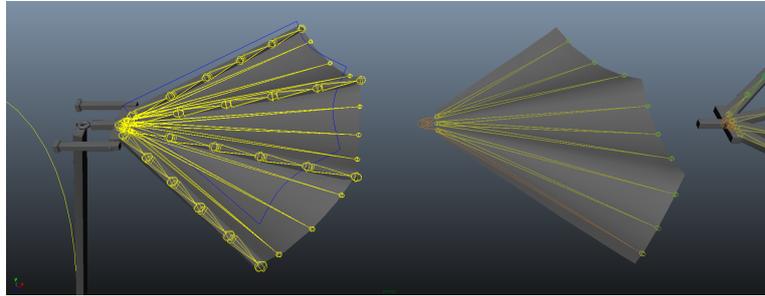


Abbildung 4.42: Die Positionierung der Joints zur Kontrolle des Stoffes. Die Rotation der Joints links wird auf die Joints des Blendshapes übertragen, um zu ermöglichen, dass der Stoff nach wie vor der Biegung des Rahmens folgt.

auf das Blendshape übertragen werden und von dort wieder zurück zum ursprünglichen Mesh. Dazu werden für jeden Zwischenteil des Rahmens drei Joints erstellt (*Driver Chains*), diese werden dupliziert und beim Blendshape in die gleiche Position gebracht (*Bind Chains*, siehe Abb. 4.42).

Für die Driver Chains wird jeweils ein IK Spline Solver erstellt, für die dabei generierten Curves ist ein Span ausreichend. Aus diesen Curves werden Soft Bodies erstellt und die Goal Curves wieder direkt an den Base Joint des Flügels geparented. Die Rotation der Driver Chains wird direkt auf die der Bind Chains übertragen, welche für das Skinning des Blendshapes dienen und so *geskinned* werden, dass ein weicher Übergang zwischen den Joints entsteht und der Teil des Stoffes nahe den Streben des Rahmens nicht beeinflusst wird (ähnlich Abb. 4.36). Je nach Einstellung werden bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Rotationsbewegung des Flügels andere Ergebnisse erzielt (siehe Abb. 4.43).

Hängematte

Ein etwas anderes Setup erfordert die Animation der Hängematte. Diese besteht aus einem groben Netz, welches an zwei Holzbalken befestigt ist. Ziel ist es, das Netz je nach Abstand der Balken automatisch nach unten durchhängen zu lassen bzw. zu spannen. Der Ansatz dabei ist, den Abstand zwischen den Balken zu bestimmen und je nach Differenz zum ursprünglichen Abstand den mittleren Joint nach oben (größerer Abstand der Balken) bzw. unten (kleinerer Abstand der Balken) zu verschieben und dadurch die Differenz auszugleichen. Die Summe der in Abbildung 4.44 skizzierten Vektoren soll immer dem Ausgangswert der Distanz zwischen den Balken entsprechen.

Die Seite a behält immer die gleiche Länge und ist gegeben durch die Ausgangsdistanz zwischen den Balken, die Länge der Seite b ergibt sich aus

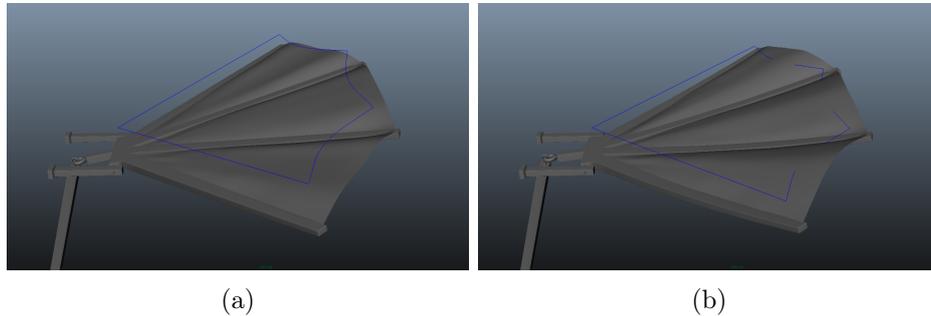


Abbildung 4.43: Unterschiedliche Geschwindigkeiten des Flügels führen zu unterschiedlichen Ergebnissen des automatischen Motion Drags. Das Ausmaß des Motion Drags kann zusätzlich mittels der dafür erstellten Attribute gesteuert werden.

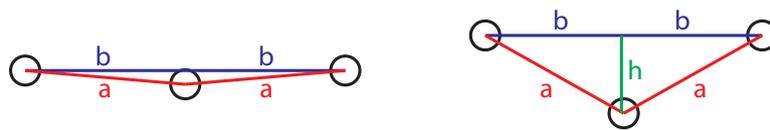


Abbildung 4.44: Skizze der Hängematte, die Summe der Seiten a soll immer dem Ausgangswert der Distanz zwischen den Balken entsprechen.

der aktuellen Distanz der Balken. Die Höhe kann somit mit

$$h = \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2} \quad (4.7)$$

berechnet werden. Zunächst werden dazu fünf Joint-Chains und ein Base Joint erstellt, dieser wird an eine Controlcurve constrained und dient der globalen Positionierung der Hängematte, die weiteren Chains steuern den Abstand der Balken – ebenfalls unter Verwendung von Controlcurves – und das dazwischenliegende Netz (siehe Abb. 4.45).

Für die Berechnung der Distanz zwischen den Balken werden zwei Locators erstellt, ein zusätzlicher Locator in der Mitte dient der Positionierung des mittleren Joints in Bezug zu den äußeren Joints (siehe Abb. 4.46), hierfür wird ein *Point Constraint* mit den beiden äußeren Locators als beeinflussende Objekte erstellt.

Die aktuelle Distanz zwischen den Balken erfolgt mittels eines *DistanceBetween* Nodes, welcher die beiden äußeren Locators als Inputs besitzt. Die halbe, aktuelle Distanz und die halbe Ausgangsdistanz (normalisiert in Bezug zur globalen Skalierung des Objektes) werden jeweils mittels eines *MultiplyDivide* Nodes quadriert und anschließend das Quadrat der aktuellen Distanz vom Quadrat der Ausgangsdistanz mittels eines *PlusMinusAverage*

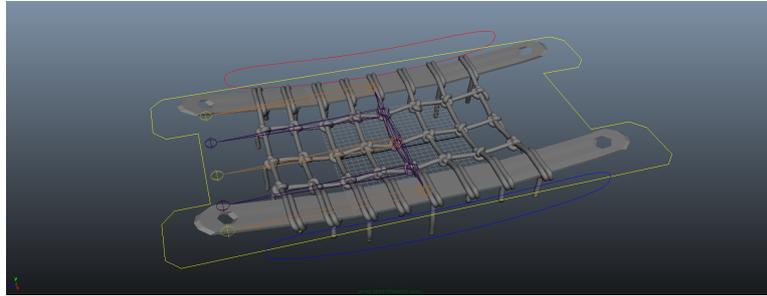


Abbildung 4.45: Die Ausgangsposition der Hängematte mit Controlcurves zur globalen Positionierung (gelb) bzw. Positionierung der Balken (rot, blau). Die Positionierung der dazwischenliegenden Joints erfolgt automatisch.

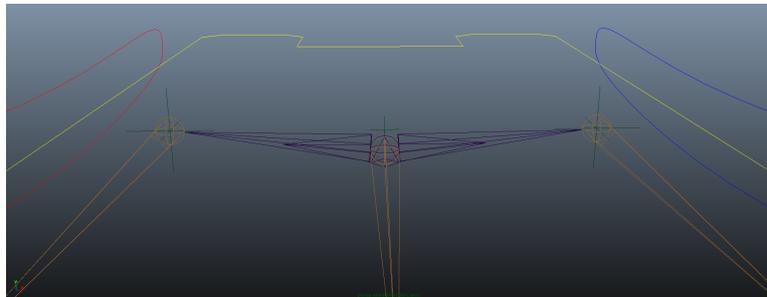


Abbildung 4.46: Die beiden äußeren Locators dienen der Abstandsberechnung, der mittlere Locator wird mittels eines Point Constraints immer zwischen den äußeren Locators positioniert.

Nodes abgezogen. Das entstandene Node-Network ist in Abbildung 4.47 zu sehen. Ist das Ergebnis der Subtraktion größer oder gleich 0, die aktuelle Distanz ist also gleich groß oder kleiner der Ausgangsdistanz, so wird die Höhe des mittleren Joints angepasst, ansonsten erfolgt eine Streckung des Netzes der Hängematte. Das erweiterte Node-Network und das Ergebnis der Höhenanpassung finden sich in Abbildung 4.48 und Abbildung 4.49.

Die beiden zusätzlichen Joints der Hängematte werden mittels eines Point Constraints immer zwischen mittlerem Joint und linkem bzw. rechtem Joint der Balken positioniert und mit einem Aim Constraint in Richtung der Balken ausgerichtet.

Dieses Setup funktioniert bis zu einem gewissen Grad sehr gut, Nachteil ist, dass der Joint, welcher das Netz kontrolliert, auch bei global rotierter Hängematte immer in Y-Richtung transliert wird (siehe Abb.4.50). Ein erweitertes Setup, welches mittels Vektorrechnung den Joint immer Richtung Boden transliert, als würde dieser von der Schwerkraft beeinflusst, wäre hier noch überlegenswert, ist aber im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr angedacht.

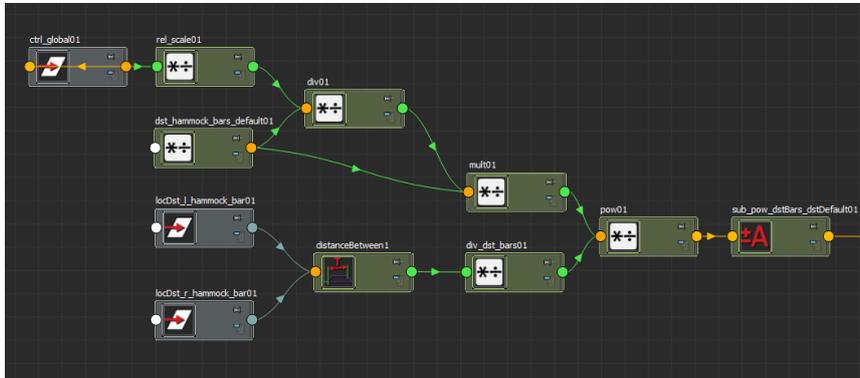


Abbildung 4.47: Die Berechnung der Differenz der Ausgangsdistanz und der aktuellen Distanz mittels eines Node-Networks.

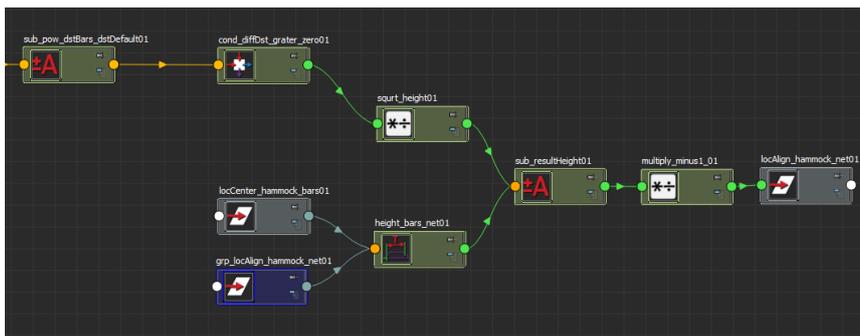
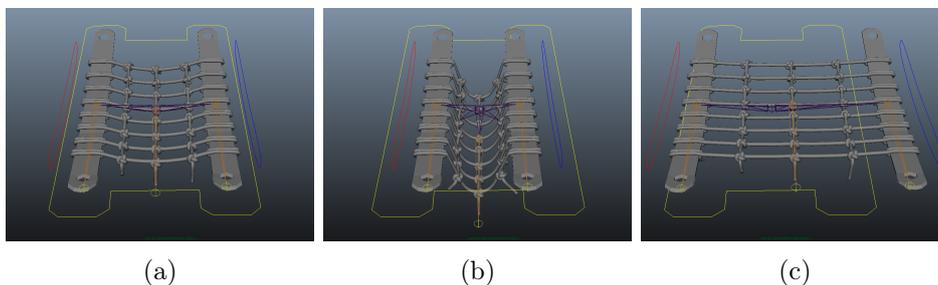


Abbildung 4.48: Fertiges Node-Network zur Berechnung des Offsets der Höhe (Y-Translation des mittleren Joints). Auf Grund der etwas niedrigeren Ausgangsposition dieses Joints im Vergleich zu den Balken muss diese Differenz von der berechneten Höhe abgezogen werden.



(a)

(b)

(c)

Abbildung 4.49: Ergebnisse der Hängematte bei unterschiedlicher Positionierung der Balken.

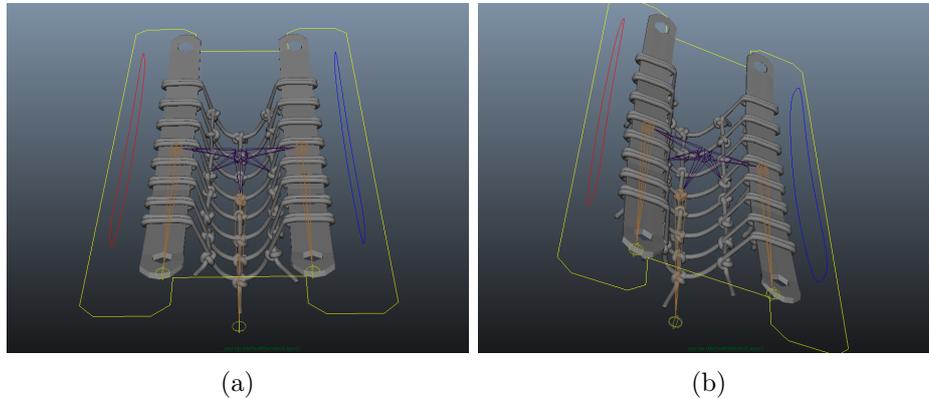


Abbildung 4.50: Bei globaler Rotation der Hängematte wird der mittlere Joint trotzdem in Y-Richtung translatiert.

Hosenträger

Die Hosenträger des Hauptcharakters *Hugo* des begleitenden Projekts sind ein sehr gutes Beispiel für ein sekundäres Objekt, welches nicht unbedingt integriert werden müsste, aber das Design des Charakters und die Animation sehr gut unterstützt.

Das Setup der Hosenträger ist insofern sehr interessant, da sie beim Beugen des Charakters nach vorne gestaucht werden, eine Beugung nach hinten resultiert in einer Streckung der Hosenträger. Gleichzeitig muss darauf geachtet werden, dass die Hosenträger den Körper nicht durchdringen. Die Ausgangsposition der Hosenträger ist in Abbildung 4.51 ersichtlich. Der Großteil der Hosenträger folgt der Deformation des darunterliegenden Hemdes, der „lose“ Teil der Träger von der Brust bis zur Befestigung an der Hüfte bedarf einer gesonderten Behandlung. Zunächst wird mittels vier zusätzlicher Joints (*Base Joints*) jeweils der Anfangs- und Endpunkt der Verbindungsstücke festgelegt (siehe Abb. 4.52), diese folgen den Joints der Wirbelsäule, welche den Brustkorb bzw. die Hüfte steuern. Der dazwischenliegende Abschnitt wird in weiterer Folge abhängig von der Bewegung des Charakters dynamisch positioniert.

Für die Positionierung der Träger wird im Prinzip eine lineare Verbindung zwischen Anfangs- und Endpunkt erstellt. In einem regelmäßigen Abstand befinden sich Joints, welche jeweils einen Teil der Träger beeinflussen und abhängig von der Position und Distanz der Base Joints gesteuert. Um eine regelmäßige Unterteilung zu erhalten, welche automatisch der Distanz zwischen den Base Joints angepasst wird, wird das so genannte *Flexi Plane* Setup verwendet. Dieses besteht im wesentlichen aus einer Nurbs Fläche, welche eine bestimmte Anzahl an Unterteilungen aufweist. Im Zentrum je-

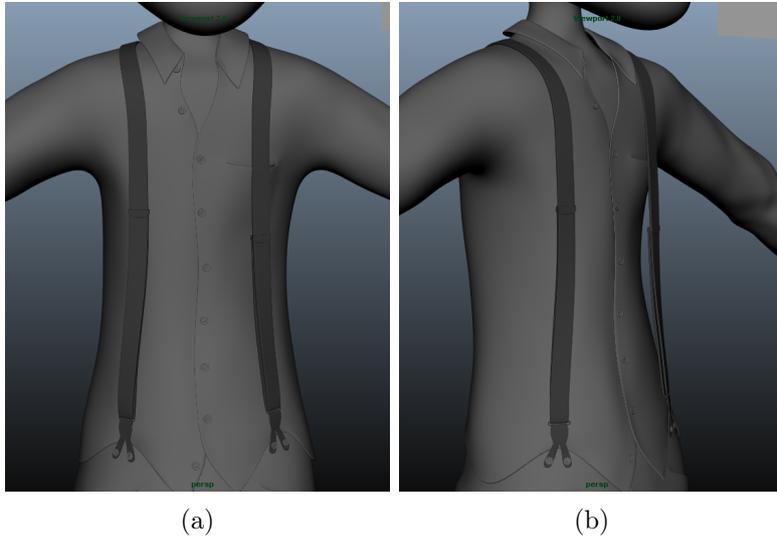


Abbildung 4.51: Die Ausgangsposition der Hosenträger, das „lose“ Stück der Träger von der Brust bis zur Befestigung an der Hüfte wird mittels eines eigenen Setups animiert.



Abbildung 4.52: Die Base Joints dienen als Referenzpunkte für den Abschnitt der Hosenträger, welcher mit zusätzlichen Controls ausgestattet wird.

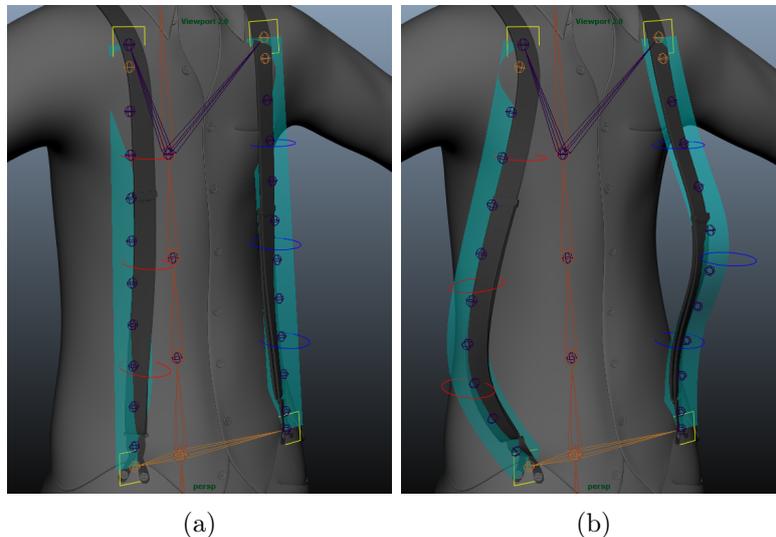


Abbildung 4.53: Die Flexi Planes können mittels der Controller nahezu beliebig verformt werden.

der Unterteilung befindet sich ein Joint, welcher mittels eines *Follicles*⁵ der Deformation der Nurbs Fläche folgt. Mittels einer Nurbs Curve, welche an Hand mehrerer Kontrollobjekte gesteuert wird, kann die Flexi Plane nahezu beliebig verformt werden (siehe Abb. 4.53). Die Positionierung der Flexi Planes erfolgt an Hand einiger Constraints (siehe Abb. 4.54):

- Ein Point Constraint platziert die Flexi Plane mittig zwischen dem jeweiligen Anfangs- und Endpunkt (Base Joints des linken bzw. rechten Trägers)
- Ein Aim Constraint richtet die Flexi Plane in Richtung des jeweiligen Anfangspunktes aus.
- Ein Scale Constraint sorgt dafür, dass die Flexi Plane auch bei globaler Skalierung des Charakters die richtige Größe behält.

Die Enden der Flexi Planes werden an den jeweiligen Base Joints fixiert, dadurch werden die Hosenträger automatisch gestaucht bzw. gedehnt wenn der Charakter nach vorne bzw. hinten gebeugt wird (siehe Abb. 4.55). Problem dabei ist jedoch, dass auf Grund der linearen Verbindung zwischen Anfangs- und Endpunkt die Hosenträger den Körper bzw. das Hemd Hugos durchdringen wenn dieser nach hinten gebeugt wird.

Bei dem aktuellen Aufbau des Setups müssten diese Intersections händ-

⁵ *Follicles* sind Teil des Hair-Systems in Maya und bestimmen im Normalfall die Position einer Hair Curve. Die Follicle folgen immer den Normalen einer Oberfläche. In diesem Fall werden sie dazu modifiziert die Joints immer mittig der Unterteilung einer Nurbs Fläche zu positionieren.

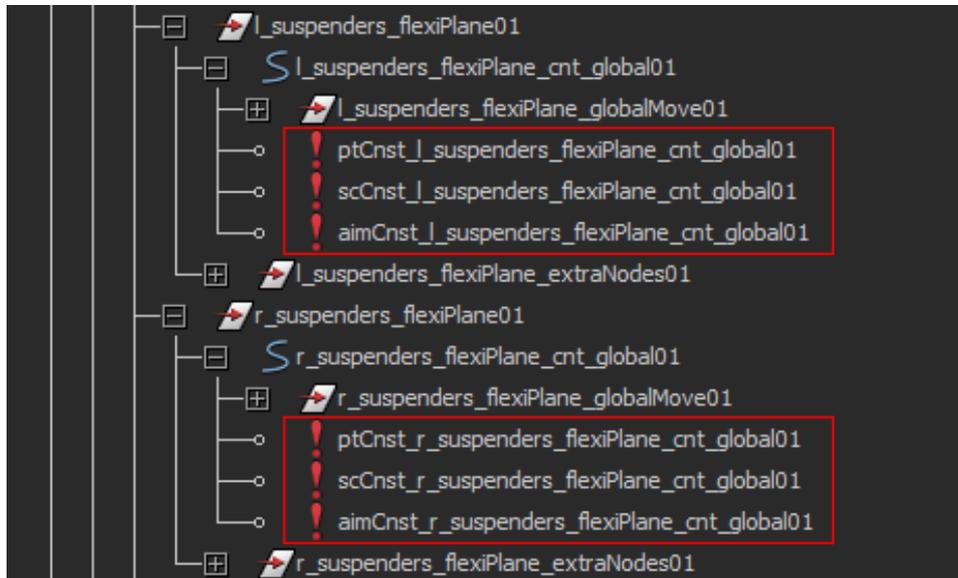


Abbildung 4.54: Die in dieser Abbildung gezeigten Constraints dienen der Positionierung der Flexi Planes zwischen den jeweiligen Anfangs- und Endpunkten.

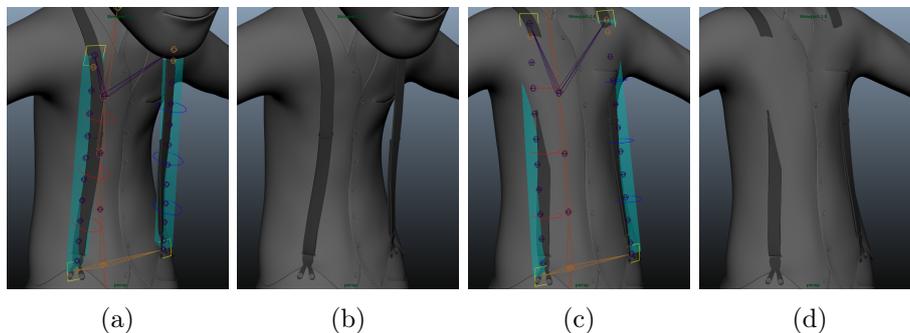


Abbildung 4.55: Das Resultat der Flexi Planes bei nach vorne bzw. nach hinten gebeugtem Charakter.

disch ausgebessert werden, was vor allem bei einer nachträglichen Änderung der Animation sehr zeitaufwändig wäre, da dann wieder nachgebessert werden müsste. Um diesen zeitaufwändigen Prozess zu vermeiden werden zusätzliche Komponenten eingefügt, die es ermöglichen die Hosenträger mittels eines Scripts automatisch anzupassen, wenn es zu Intersections kommt.

Um festzustellen, wann der Hosenträger das Hemd durchdringt werden mehrere Locators und zwei zusätzliche Joint-Chains erstellt, welche ähnlich den Flexi Planes mit regelmäßiger Segmentlänge linear zwischen Anfangs-

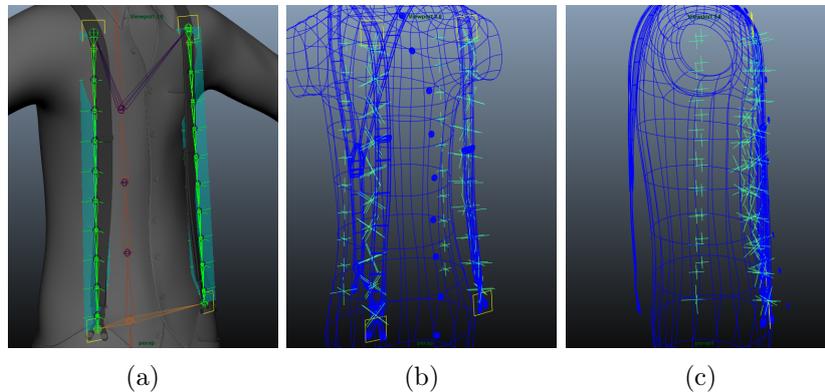


Abbildung 4.56: Die zusätzlichen Elemente des Setups, um die Distanz der Träger zur Körpermitte ermitteln zu können. Abbildung (a) zeigt die zusätzlichen Joint-Chains und Locators der Hosenträger, Abbildung (b) und (c) den jeweiligen Locator für die ungefähre Körpermitte, die Locators für die korrigierte Position der Hosenträger und die Locators der Rivet Constraints.

und Endpunkt des jeweiligen Trägers positioniert werden. Eine Korrektur der Hosenträger erfolgt basierend auf der Distanz der Hosenträger zur Körpermitte und der Distanz eines korrespondierenden Punktes des Hemdes zur Körpermitte. Ist die Distanz der Hosenträger zur Körpermitte kleiner als die Distanz des entsprechenden Punktes auf dem Hemd, so wird der Joint des Hosenträgers so platziert dass dieser genau auf dem Hemd aufliegt.

Zur Ermittlung der Distanz der Hosenträger zur Körpermitte wird für jeden Joint der Flexi Planes ein Locator erstellt und ungefähr in der Körpermitte platziert. Diese Locators werden entsprechenden Locators untergeordnet, welche mittels eines *Rivet Constraints*⁶ dem Hemd folgen. Ein weiteres Set von Locators bestimmt die korrigierte Position der Joints der Hosenträger, wenn diese das Hemd durchdringen würden. Die zusätzlichen Elemente des Setups zeigt Abbildung 4.56. Die Berechnung der Distanz erfolgt mittels einer Expression, welche ausschnittsweise in Programm 4.4 zu finden ist. Wird die Distanz des Hemdes zur Körpermitte von einem Locator zur Distanzbestimmung des Hosenträgers unterschritten, so wird der jeweilige Joint an die Position eines Locators gesetzt, welcher so positioniert ist, dass der Hosenträger nach der Korrektur am Hemd aufliegt (siehe Abb. 4.57).

⁶Ein *Rivet Constraint* funktioniert ähnlich den zuvor erwähnten Follicles. Anhand zweier Edges folgt der Locator immer dem dazugehörigen Mesh.

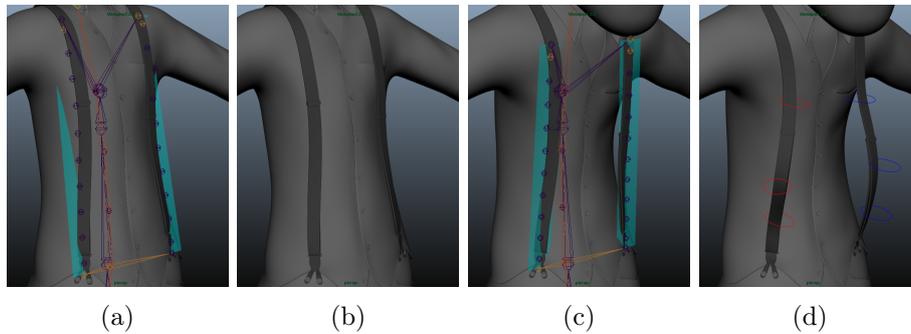


Abbildung 4.57: Die Korrigierte Position der Hosenträger bei Intersection mit dem Hemd (Abbildung (a) & (b)). Bei nach vorne gebeugtem Oberkörper können die Hosenträger nach wie vor mittels der Controlcurves angepasst werden (Abbildung (d)).

Listing 4.4: Expression zur Berechnung der Distanz der Hosenträger zur Körpermitte und ggf. Anpassung der Position der Joints der Hosenträger. Ist die Distanz nicht unterschritten wird der Joint an seine Ausgangsposition zurückgesetzt.

```

1 float $dst_l_shirt_A = 4.5;
2 float $dst_l_suspenders_A = dst_l_suspenders_A01.distance;
3
4 if($dst_l_suspenders_A < $dst_l_shirt_A) {
5     //match joint position with rivet and add offsetVector
6     float $rivetPos[] = `xform -q -ws -t "
7         loc_autoCorrect_l_suspenders_A01"`;
8     xform -a -ws -t $rivetPos[0] $rivetPos[1] $rivetPos[2] "
9         l_suspenders_flexiPlane_bn_A01";
10 }
11 else {
12     xform -t 0 0 0 "l_suspenders_flexiPlane_bn_A01";
13 }

```

Kapitel 5

Resümee und Ausblick

5.1 Resümee

Die Umsetzung einer realistisch anmutenden, zufriedenstellenden ohne Stoffe zu simulieren ist meiner Ansicht nach nicht weniger komplex als die Auseinandersetzung mit den verschiedenen Möglichkeiten zur Simulation von Stoffen.

Dennoch ist das Setup von Stoffen im Sinne einer simulationsfreien Animation eine sehr gute Option für Projekte, bei denen eine vollständige Simulation einen zu hohen Aufwand bedeuten würde. Es lassen sich auch mit relativ einfachen Methoden bereits akzeptable Ergebnisse erzielen, jedoch ist eine wirklich realistisch anmutende Animation mit einem solchen Setup nur sehr schwer zu erreichen bzw. bedeutet dieser Anspruch einen sehr großen Aufwand sowohl bei der Aufbereitung der Objekte als auch der späteren Animation.

5.2 Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurden einige mögliche Ansätze für ein animationsfreundliches Setup von Stoffen untersucht. Es gibt aber noch eine Vielzahl weiterer technischer Möglichkeiten, welche der Verbesserung der Resultate dienen können.

Interessant wäre – wie in Abschnitt 4.3.2 bereits kurz angeschnitten – beispielsweise die Auseinandersetzung mit Vektor- und Matrizenrechnung in Autodesk Maya. Damit kann die Orientierung eines Objektes im Raum ermittelt werden und für vorgegebene Punkte eines Stoffobjektes eine Positionsberechnung abhängig von der Orientierung und weiteren Faktoren durchgeführt werden. Ein weiterer Aspekt, welcher eine wesentliche Verbesserung mit sich bringen kann, ist die Programmierung eigener Deformer, wodurch eigene Wellenmuster und Faltenwürfe implementiert werden können. Diese können dann als weitere Details hinzugefügt und animiert werden, wodurch

aber auch der Animationsaufwand steigt.

Wegen der hohen Relevanz der Animation von Kleidung und Stoffen in animierten Filmen entwickeln sich aber auch die Technologien zur Realisierung solcher Animationen sehr schnell weiter. Auch die Rechenleistung ist eine immer bessere, weshalb die Ergebnisse in vielen Fällen bereits nahezu in Echtzeit begutachtet werden können. Auf Grund dieser Faktoren ist es meiner Meinung nach empfehlenswert, sich in das Thema der Simulation einzuarbeiten und diese auch bei weniger umfangreichen Projekten einzusetzen.

Quellenverzeichnis

Literatur

- [1] Barbara Flueckiger. *Visual Effects. Filmbilder aus dem Computer*. Bd. 1. Marburg: Schüren, 2008.
- [2] Sigmund Freud. „Das Unheimliche“. In: *Imago. Zeitschrift für Anwendung der Psychoanalyse auf die Geisteswissenschaften V* (1919), S. 297–324.
- [3] Maureen Furniss. *Art in Motion. Animation Aesthetics*. 2. Aufl. Harts, England: John Libbey Publishing, 2008.
- [4] Joseph Gilland. *Elemental Magic. The Art of Special Effects Animation*. Elsevier, Inc., 2009.
- [5] Joseph Gilland. *Elemental Magic. The Technique of Special Effects Animation*. Bd. 2. Elsevier, Inc., 2012.
- [6] R. G. Grant. *Fliegen: Die Geschichte der Luftfahrt*. München: Dorling Kindersley Verlag, 2008.
- [7] Bernhard Grotz. „Die Physik der Atmosphäre“. Magisterarb. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Augsburg, März 2009.
- [8] Masahiro Mori. „The Uncanny Valley“. In: *Energy*, 7(4). 1970, S. 33–35.
- [9] Xavier Provot. *Deformation Constraints in a Mass-Spring Model to Describe Rigid Cloth Behavior*. Techn. Ber. Institut National de Recherche en Informatique et Automatique (INRIA), 1995.
- [10] Textile School. *Physical Properties and characteristics of Fabrics*. <http://www.textileschool.com/articles/618/physical-properties-and-characteristics-of-fabrics>. Blog.

Filme und audiovisuelle Medien

- [11] Pretty Animations. *Stupid Car – A Minecraft Animation*. Online. 2013. URL: https://www.youtube.com/watch?v=_OGlr6iyk0o.

- [12] *Brave*. Film. Drehbuch/Regie: Mark Andrews, Steve Purcell, Brenda Chapman, Irene Mecchi, Steve Purcell, Mark Andrews, Brenda Chapman. 2012.
- [13] *Fantasia. The Sorcerer's Apprentice*. Film. Drehbuch/Regie: Joe Grant, Dick Huemer. 1940.
- [14] *Harry Potter and the Order of the Phoenix*. Film. Drehbuch/Regie: David Yates, Michael Goldenberg. 2007.
- [15] Steve McDonald. *Flag Waving*. Online. 2011. URL: <https://vimeo.com/25615035>.
- [16] Georgio Papa. *Using SyFlex in Maya. Understanding Scale and Dimensions*. Online. 2007. URL: <http://www.digitaltutors.com/tutorial/1352-Using-SyFlex-in-Maya>.
- [17] *Pirates of the Caribbean*. Film. Drehbuch/Regie: Gore Verbinski, Ted Elliot, Terry Rossio, Stuart Beattie, Jay Wolpert. 2003.
- [18] Need for Speed. *Need for Speed Most Wanted Announce Trailer*. Online. 2013. URL: https://www.youtube.com/watch?v=0-lmb_hTVmw.
- [19] *Spider Man 3*. Film. Drehbuch/Regie: Sam Raimi, Ivan Raimi, Alvin Sargent. 2007.
- [20] *The Lord of the Rings. The Fellowship of the Ring*. Film. Drehbuch/Regie: Peter Jackson. 2001.
- [21] *Toy Story*. Film. Drehbuch/Regie: John Lasseter, Joss Whedon, Andrew Stanton, Joel Cohen, Alek Sokolow. 1995.
- [22] *Wreck-It Ralph*. Film. Drehbuch/Regie: Jennifer Lee, Phil Johnston, Rich Moore. 2012.

Online-Quellen

- [23] *Aerodynamik: Windschnittige Lastzüge für weniger Verbrauch*. 2014. URL: http://www.eurotransport.de/bilder/aerodynamik-windschnittige-lastzuege-fuer-weniger-verbrauch-344575.html?fotoshow_item=4 (besucht am 22.11.2014).
- [24] Inc. Autodesk. *Autodesk Maya 2014*. 2013. URL: http://download.autodesk.com/global/docs/maya2014/en_us/ (besucht am 28.04.2014).
- [25] Inc. Autodesk. *Cloth and Garment Overview*. 2014. URL: <http://docs.autodesk.com/3DSMAX/15/ENU/3ds-Max-Help/index.html?url=files/GUID-3C9D7D8B-FEEF-4F35-8F90-65C32605C1CA.htm,topicNumber=d30e71812> (besucht am 16.11.2014).
- [26] Inc. Autodesk. *nCloth Overview*. 2014. URL: http://download.autodesk.com/global/docs/maya2014/en_us/ (besucht am 16.11.2014).

- [27] Musée d'Orsay. *Bewegungen in der Luft Etienne-Jules Marey (1830-1904) Fotograf der Bewegung*. 2006. URL: <http://www.musee-orsay.fr/de/veranstaltungen/ausstellungen/im-musee-dorsay/ausstellungen-im-musee-dorsay-mehr-informationen/page/0/article/mouvements-de-lair-etienne-jules-marey-1830-1904-photographe-des-fluides-4216.html?cHash=906caef42a> (besucht am 12.11.2014).
- [28] Rolf Keppler. *Monlandungsflüge: flatternde Fahne*. 2012. URL: https://www.youtube.com/watch?v=E8si2d6_0iw (besucht am 22.11.2014).
- [29] Optitex Ltd. *3D Suite*. 2014. URL: <http://www.optitex.com/en/3D-Suite-Create-Garments-Fit-to-Avatar-Animate> (besucht am 13.11.2014).
- [30] *Luftwiderstand*. 2001. URL: <http://www.kfz-tech.de/Formelsammlung/Luftwiderstand.htm> (besucht am 12.11.2014).
- [31] Thomas Maier. *Oleu Segel / Voiles*. 2014. URL: <http://www.mup-it.ch/sortiment/distribution/oleu-segel-voiles/index.php> (besucht am 22.11.2014).
- [32] Andreas Müller. *Trägheit*. 2014. URL: <http://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/traegheit/495> (besucht am 11.11.2014).
- [33] Bernd Ramm. *Windstaerken, Beaufortskala*. 2007. URL: http://www.gorama.de/Wissen/Naturwissenschaft/Meteorologie/windstaerken_beaufortskala.html (besucht am 30.04.2014).
- [34] Chris Rock. *Syflex Cloth Simulator, Part 1*. 2014. URL: http://www.digitalanimators.com/2003/01_jan/reviews/syflex_part12.htm (besucht am 17.11.2014).
- [35] Mike Seymour. *Brave New Hair*. 2012. URL: <http://www.fxguide.com/featured/brave-new-hair/> (besucht am 17.11.2014).
- [36] M. Steinmüller. *Was ist Wind?* 2013. URL: <http://www.geolinde.musin.de/klima/stadt/wind/wind.htm> (besucht am 08.11.2014).
- [37] Sebastian Stenzel. *Windkanal Volkswagen Golf Plus Wallpaper #12*. 2014. URL: http://www.16v.net/gallery2/v/vw_wallpaper/golfplus/golf_plus_12.jpg.html (besucht am 22.11.2014).
- [38] Joachim Herz Stiftung. *Arbeit im Gravitationsfeld*. 2011. URL: <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/gravitationsgesetz-und-feld> (besucht am 12.11.2014).
- [39] Syflex. *Features*. 2014. URL: <http://www.syflex.biz/features.html> (besucht am 14.11.2014).
- [40] Syflex. *SyFlex in „Assassin's Creed Unity E3 2014“*. 2014. URL: <http://www.syflex.biz/index.html> (besucht am 13.11.2014).
- [41] Antony Ward. *Creating a Detailed Dress in Marvelous Designer*. 2014. URL: <http://www.digitaltutors.com/tutorial/1822-Creating-a-Detailed-Dress-in-Marvelous-Designer> (besucht am 14.11.2014).

- [42] *Windsäcke und Zubehör für Windsäcke*. 2012. URL: http://www.schmidtler.de/html/ht_zubehoer/flugpl/wind.htm (besucht am 22.11.2014).
- [43] The Gnomon Workshop. *Making Your 3D Bed. Using 3D Software to simulate Cloth in Garments and Bedding*. Apr. 2013. URL: <http://www.thegnomonworkshop.com/news/2013/04/making-your-3d-bed-using-3d-software-to-simulate-cloth-in-garments-and-bedding/> (besucht am 13.11.2014).