



Vergleich zwischen Pose to Pose und Motion Capture für die Erstellung zweidimensionaler Walk Cycles

Studiengang Medieninformatik

Bachelorarbeit

vorgelegt von

Christoph Rueß

geb. in Krefeld

durchgeführt bei
Mynd GmbH, Frankfurt

Referent der Arbeit: Prof. Dr. Cornelius Malerczyk
Korreferent der Arbeit: M. Sc. Hans Christian Arlt
Betreuer bei Mynd: M. Sc. Peter Kajan

Bad Vilbel, 2019

Für meine Familie

Danksagung

An dieser Stelle, möchte ich mich bei allen bedanken, die mich über den Verlauf der Bachelorarbeit hinweg tatkräftig unterstützt und motiviert haben.

Allen voran ist hier Julia Bachmaier und meine Familie, insbesondere meine Mutter Marina Griepentrog und meine Tante Vera Knorr zu nennen, die etliche Seiten Korrektur gelesen haben. Ebenfalls möchte ich mich in diesem Zusammenhang bei der gesamten Familie Bachmaier und vor allem Monika Bachmaier bedanken, die ebenfalls Korrektur gelesen hat.

Prof. Dr. Cornelius Malerczyk möchte ich für die vielen Einblicke in die Welt der 3D-Computergrafik und die Betreuung dieser Arbeit während des Studiums, sowie auch M. Sc. Hans Christian Arlt, der die Rolle des Korreferenten übernommen hat, meinen Dank aussprechen.

Ebenfalls erwähnen möchte ich die Mynd GmbH, durch die ich mich überhaupt erst intensiv mit der Animation im zweidimensionalen Raum auseinandergesetzt habe und M. Sc. Peter Kajan, der die Aufgabe des Betreuers übernommen hat.

Auch danken möchte ich Doro, Lotta, Flo und Pascal, die immer ein offenes Ohr für meine Anliegen hatten, sowie Giulio für seine seelisch-moralische Unterstützung.

Zuletzt möchte ich noch meinem Vater Wolfgang Rueß für die jahrelange Unterstützung meines Studiums und meiner Zukunft danken.

Selbstständigkeitserklärung

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

Bad Vilbel, Mai 2019

Christoph Rueß

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	i
Selbstständigkeitserklärung	iii
Inhaltsverzeichnis	v
Abbildungsverzeichnis	ix
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Problemstellung	4
1.3 Zielsetzung	6
1.4 Aufbau der Arbeit	7
1.5 Zusammenfassung	9
2 Stand der Technik	11
2.1 Techniken zur Animation von Charakteren	11
2.1.1 Datenbasierte Technologien	14
Keyframe Animation	14
Motion Capture	16
Performance Capture	18
Kostengünstiges Motion Capture	19
Limitierungen durch Motion Capture und das Uncanny Valley	21
2.1.2 Modellbasierte Technologien	22
Physikbasierte Animation	23
Prozedurale Animation	24
Machine Learning	24
2.1.3 Techniken zur Manipulation bestehender Animationen	26
Keyframe Anpassung	26
Animationspfad Anpassung	26
Rig-Anpassungen und Retargeting	28
Animation Layers / Motion Blending	29
2.2 Verwendung von 3D im 2D Kontext	30
2.2.1 Live 2D	30

2.2.2	Cel Shading	31
2.3	Verwandte Arbeiten	32
2.4	Zusammenfassung	34
3	Grundlagen	37
3.1	Die Gehbewegung des Menschen	37
3.1.1	Die acht Abschnitte des Gait Cycle	38
3.1.2	Konträre Körperbewegungen beim Gehen	39
3.2	Pose to Pose beim Walk Cycle	39
3.2.1	Die vier Phasen eines Walk Cycles	40
3.2.2	Herausforderungen bei der Integration in eine Szene	41
3.3	12 Principles of Animation	41
3.3.1	Squash and Stretch	42
3.3.2	Anticipation	43
3.3.3	Staging	43
3.3.4	Straight ahead action and pose to pose	43
3.3.5	Follow through and overlapping action	44
3.3.6	Slow in and slow out	44
3.3.7	Arc	45
3.3.8	Secondary Action	45
3.3.9	Timing	45
3.3.10	Exaggeration	46
3.3.11	Solid drawing	46
3.3.12	Appeal	47
3.4	Character Rigging	47
3.4.1	Vorwärtsgerichtete Kinematik	48
3.4.2	Rückwärtsgerichtete Kinematik	49
3.5	2D Animationstechniken	50
3.5.1	Frame by Frame	50
3.5.2	Key Frame Animation	50
	Vektor / Bézierkurven-Modifizierung	51
3.5.3	Verformung von Illustrationen	52
3.5.4	Cutout Animation	52
3.6	Motion Capture	53
3.6.1	Optische Systeme	53
	Marker-basiert	54
	Algorithmus-basiert	55
3.6.2	Performance Capture	57
3.6.3	Weitere Systeme	57
3.7	Grundsätzliche Werkzeuge und Begrifflichkeiten in After Effects	59
3.7.1	Kompositionen und Ebenen	59
3.7.2	Spaces und Parenting	59
3.7.3	Null-Objekte	60
3.7.4	Expressions	60

3.7.5	Graph Editor	60
4	Charaktererstellung	61
4.1	Illustration	61
4.1.1	Erscheinungsbild	61
4.1.2	Umsetzung	62
4.2	Rigging	65
4.2.1	Überführung und Vorbereitung der Illustrationen	66
4.2.2	Aufbau des Skeletts	66
4.2.3	Verknüpfung der Illustration mit dem Skelett	68
4.2.4	Auto-Rig and IK	68
4.2.5	Ergänzen zusätzlicher Controller	69
4.2.6	Tests, Fehlerbehebung und Cleanup	70
4.3	Aufwandsanalyse im Bezug zur Verwendung von Motion Capture	71
5	2D Motion Capture	73
5.1	Konzept und Aufbau	74
5.2	Aufnahme der Gehbewegung	75
5.3	Auslesen der Marker-Bewegungen in After Effects	76
5.3.1	Synchronisation der Videoclips	77
5.3.2	Entkopplung der Bewegungen des Darstellers von der Kamerabewegung	78
5.3.3	Extraktion und Zusammenführung der Markerbewegungen	79
5.4	Aufwands- und Ressourcenanalyse	80
6	Animation der Charaktere	83
6.1	Pose to Pose	83
6.1.1	Extremes	83
6.1.2	Zwischen-Posen	85
6.1.3	Timing	86
6.1.4	Anwendung auf den zweiten Charakter	87
6.1.5	Aufwand und Ergebnis	88
6.2	Motion Capture	89
6.2.1	Aufbereitung Motion Capture Daten	89
6.2.2	Solving	90
6.2.3	Übertragung als Translation	91
6.2.4	Übertragung als Rotation	91
6.2.5	Vergleich zwischen Translation und Rotation	92
6.2.6	Retargeting	93
6.2.7	Anwendung auf den zweiten Charakter	94
6.2.8	Aufwand und Ergebnis	94
7	Bewertung und Evaluation	97
7.1	Analyse der Ergebnisse nach messbaren Faktoren	97
7.1.1	Zeitbedarf für die Erstellung der Animation	98

7.1.2	Vergleich der Bewegungsmuster	99
7.1.3	Notwendige Ressourcen zur Realisierung und Verwendung von Motion Capture in der 2D Animation	99
7.2	Evaluation	100
7.2.1	Konzept	101
7.2.2	Statistische Auswertung	102
	Auswertung der Bewertungen nach Kategorie	102
	Auswertung der Bewertungen nach Charakter	104
7.3	Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse	106
8	Zusammenfassung und Ausblick	107
8.1	Zusammenfassung	107
8.2	Ausblick	108
A	Aufschlüsselung der Punkteverteilung bei der Evaluation	111
B	Die Animationen	115
	Glossar	117
	Literaturverzeichnis	119

Abbildungsverzeichnis

1.1	Einsatz von Performance Capture im Film Avatar	2
1.2	Original Frame aus dem Film Schneewittchen und die sieben Zwerge von 1939	3
1.3	Retargeting von 3D Motion Capture Daten auf einen 2D Charakter	5
1.4	Visualisierung eines Charakter Rigs	6
2.1	Deformatoren am Gesicht des Charakters Sulley	12
2.2	Der Ansatz von Blockparty	13
2.3	BetweenIT	15
2.4	Eadweard-Muybridge	16
2.5	Max Fleischer Patent	17
2.6	Performance Capture in Alita: Battle Angel	18
2.7	Medusa Face Capture	19
2.8	XSens Motion Capture mit Inertialsensoren	20
2.9	Das Uncanny Valley	22
2.10	Animating Virtual Characters using Physics-Based Simulation	23
2.11	Automatische Bewegungsanpassung an den Untergrund	25
2.12	SketchiMo	27
2.13	Menschliche Motion Capture Daten bei nicht menschlichen Charakteren	28
2.14	Live2D	31
2.15	Futurama Intro	32
3.1	Visualisierung der acht Abschnitte des Gait Cycles	39
3.2	Die vier Phasen eines Walk Cycles	41
3.3	Die 12 Principles of Animation	42
3.4	Rig mit Controllern	48
3.5	Vorwärts- und rückwärtsgerichtete Kinematik	49
3.6	Loving Vincent Behind the Scenes	51
3.7	Animation mit Marionettenwerkzeugen	52
3.8	Optisches Motion Capture	54
3.9	Intel Studios Volumetric Capture	56
3.10	Face Capture bei Alita: Battle Angel	57
3.11	Inertial- und Mechanische Motion Capture Systeme	58
3.12	Graph Editor innerhalb After Effects	60

4.1	Ausgangslage für die Charaktererstellung	63
4.2	Roationsachsen-Definition	64
4.3	Die illustrierten Charaktere	65
4.4	Rig Struktur von Duik	67
4.5	Schrittweiser Aufbau des Rigs	69
4.6	Fehlerbehebungen beim Rigging	70
4.7	Die beiden vollständigen Charakter-Rigs	71
4.8	Zeitaufwand Charaktererstellung	72
5.1	Markeranbringung und Aufzeichnungen	75
5.2	Schattenkonstellation zur Videosynchronisation	77
5.3	Verfolgung des Bodens und der Hüfte zur Stabilisierung des Videomaterials	78
5.4	Sprünge bei der Markerverfolgung	80
5.5	Die Marker	81
5.6	Zeitaufwand 2D Motion Capture	82
6.1	Keyframes beim Abstoßen vom Boden	85
6.2	Wechseln des Interpolationsverfahrens bei Pose to Pose	86
6.3	Pose to Pose Keyframe-Übertragung - verkürzte Schrittweite	88
6.4	Die vollendete Pose to Pose Animation	89
6.5	Angeleichung erster und letzter Keyframe mittels Expression	90
6.6	Motion Capture Vergleich Translation / Rotation	92
6.7	Die vollendete Motion Capture Animation	95
7.1	Zeitaufwand der Arbeitsabschnitte	98
7.2	Vergleich der Motion Capture und Pose to Pose Animation	100
7.3	Punktedurchschnitt der Bewertungen nach Kategorie	103
7.4	Differenz im Punktedurchschnitt nach Kategorie	103
7.5	Ergebnisse des Vergleichs der Animationsverfahren nach Charakter	104
7.6	Vergleich der durchschnittlichen Gesamtpunktzahl über alle Fragen nach Verfahren	105
A.1	Punkteverteilung Pose to Pose	112
A.2	Punkteverteilung Motion Capture	113
A.3	Punkteverteilung beim direkten Vergleich	114

Listings

6.1	Expression zur Spiegelung der Animation	84
6.2	Expression zur Realisierung von Motion Blending	90
6.3	Expression zur Winkelberechnung zwischen der eigenen Position und einem anderen Punkt	91
6.4	Expression zur Winkelkompensation	93
6.5	Expression zur Umsetzung des Offsets.	94

Kapitel 1

Einleitung

Diese Arbeit setzt sich mit der Fragestellung auseinander, inwieweit der Einsatz von Motion Capture auch im Bereich der 2D Animation eingesetzt werden kann, um den Prozess der Animation von menschlichen Charakteren zu beschleunigen. Dabei soll ein Leitfaden entstehen, der einen Vergleich zur klassischen Keyframe Animation herstellt und die jeweiligen Vor- und Nachteile der Techniken in Bezug auf zweidimensionale Walk Cycles hervorhebt.

1.1 Motivation

Das Bewegtbild gehört zu den am meisten konsumierten Inhalten unserer Generation. Neben der reinen Unterhaltung werden Filme und Videos in einer Vielzahl unterschiedlicher Bereiche eingesetzt und erfreuen sich immer größer werdender Popularität. So werden alleine auf Youtube täglich über eine Milliarde Stunden an Videomaterial konsumiert.¹ Die Animation von Inhalten, wie Schriften, Objekten, Graphen und Charakteren, bringt dem Betrachter Sachverhalte über eine visuelle Ebene näher. So können nicht nur Vorgänge verdeutlicht, sondern durch die Art der Bewegung auch Charakterzüge und Emotionen vermittelt werden. Daher ist es nicht verwunderlich, dass sich über die Zeit mehrere Animationstechniken etabliert haben, um den verschiedenen und steigenden Ansprüchen gerecht zu werden.

Das *Performance Capture*, eine um die Mimik des Darstellers ergänzte Form des *Motion Captures*, zählt mittlerweile zum Standard in Hollywood, wenn es darum geht digitale dreidimensionale Charaktermodelle, mit möglichst natürlich anmutenden Bewegungen Leben zu verleihen. Ein Paradebeispiel hierfür lieferte James Cameron bereits im Jahr 2009 mit seinem Film *Avatar*², in dem für sämtliche Bewegungen der Avatare, diese Technik zum Einsatz kam. Durch die Möglichkeit, komplexe Bewegungsabläufe mit vergleichsweise wenig Aufwand auf einen digitalen Charakter zu übertragen, hat sich die Technik auch in weiteren Bereichen, in denen Charaktere dreidimensional animiert werden, wie zum Beispiel der Spielebranche, als

¹<https://web.archive.org/web/20190314003830/https://www.youtube.com/intl/de/yt/about/press/>
(Stand: 14.03.2019)

²<https://www.imdb.com/title/tt0499549/> (Stand: 14.03.2019)



Abbildung 1.1: Drei Bilder, die den Einsatz von Performance Capture im Film Avatar zeigen. Links oben sieht man die Kamera, mit der die Mimik des Darstellers aufgezeichnet wird, links unten ein großes Motion Capture Set, das die Bewegungen während des Fluges einfängt und auf der rechten Seite den fertigen Filmausschnitt aus der selben Szene. (<http://kgrdoss.tripod.com/blog/Avatar.htm> Stand: 14.03.2019)

unverzichtbar erwiesen.

Da es meist bei komplexen dreidimensionalen Bewegungen seine Anwendung findet, gibt es vergleichsweise wenig Anstrengungen, Motion Capture mit der Animation von 2D Objekten zu verbinden. Durch den technologischen Fortschritt im Smartphone-Markt, insbesondere die hochauflösenden Kameras und steigenden Rechenkapazitäten, ist das *Face-Tracking* als eine spezielle Form des Motion Capturing in den Fokus großer Unternehmen gerückt. So nutzen mittlerweile Instagram³, Snapchat⁴ oder auch Apple⁵ diese Technik, um das Selfie in Echtzeit mit sich anpassenden Grafiken zu überlagern oder die eigene Mimik auf einen virtuellen Emoji, den *Animoji*⁶ zu übertragen. Im Bereich der Videoproduktion bietet der 2015 erstmals von Adobe veröffentlichte *Character Animator*⁷ ähnliche Techniken und ermöglicht durch Face-Tracking, die über eine Webcam aufgenommene Mimik und Kopfbewegung, live auf einen zuvor erstellten 2D Charakter zu übertragen.

Im Unterschied hierzu, findet man Full-Body Motion Capture oder auch Performance Capture, meist nur in aufwendigen und vor allem sehr teuren Filmproduktionen, die durch den Einsatz dieser Techniken und komplett am Computer generierten Bilderwelten die Zuschauer

³<https://www.instagram.com/>

⁴<https://www.snapchat.com/>

⁵<https://www.apple.com/>

⁶<https://support.apple.com/de-de/HT208190> (Stand: 14.03.2019)

⁷<https://www.adobe.com/de/products/character-animator.html> (Stand: 14.03.2019)

in ihren Bann ziehen. Bei vielen kleineren Videoproduktionen wird deshalb gerade aus Kostengründen auf klassische Illustrationen und traditionelle Keyframe Animationen zurückgegriffen. Diese erlangten vor allem durch die frühen Animationsfilme von Disney, dem Pionier auf diesem Gebiet, ihre Popularität. Filme wie „Schneewittchen und die sieben Zwerge“⁸ von 1939 zeigten damals schon eindrucksvoll, wie mit einfachen Mitteln, flüssige und realitätsnahe Bewegungen kreiert werden können. Die aus diesen Produktionen von Disney abgeleiteten *12 Principles of Animation* [TJ81], bilden bis heute die Grundlage für glaubhafte und nachvollziehbare Animationen.



Abbildung 1.2: Die beiden Bilder repräsentieren einen originalen Frame aus dem Film Schneewittchen und die sieben Zwerge aus dem Jahr 1939. Es ist zu erkennen, dass der Charakter per Hand gezeichnet und anschließend auf den Hintergrund gelegt wurde. So konnte man die Animation des Charakters unabhängig vom Hintergrund zeichnen. (<http://greganimationart.blogspot.com/2016/02/original-production-cel-of-snow-white.html> Stand: 14.03.2019)

Viele kleinere Studios nutzen bis heute Pose to Pose, also die klassische Keyframe Animation, für einen Großteil ihre Produktionen, stoßen bei komplexeren Bewegungsabläufen, wie dem Gehen eines Menschen, durch den hohen Aufwand, schnell an Kapazitätsgrenzen. Beholfen wird sich meist durch deutlich simpleres Schieben des Charakters durch eine Szene, um solch aufwendige Animationen zu vermeiden und die Kosten niedrig zu halten.

Bis heute gilt die Animation von natürlichen Gehbewegungen, als eine der aufwendigsten und schwierigsten Aufgaben in diesem Bereich.⁹

⁸<https://www.imdb.com/title/tt1303792/> (Stand: 14.03.2019)

⁹<https://thinkinganimation.com/walk-cycles/>

1.2 Problemstellung

Die Animation natürlicher Bewegungsabläufe ist eine äußerst zeitaufwendige Arbeit innerhalb der Videoproduktion. So werden selbst in großen Produktionen, wie bei Disneys „Frozen“¹⁰, alleine für die Animation eines sich für 20 Sekunden bewegenden Charakters, eine gesamte Woche in der Erstellung benötigt.¹¹ Deshalb ist es gerade für Studios mit weniger Ressourcen oftmals ein Problem, eine solch aufwendige Animation im Pose to Pose Verfahren rentabel umzusetzen. Doch auch die teilweise in Echtzeit¹² Ergebnis liefernde Motion Capture Technik bietet einige Herausforderungen für Produktionsfirmen.

Im Gegensatz zur traditionellen Keyframe Animation, werden für die Verwendung von Motion Capture eine Vielzahl speziell dafür entwickelter Hard- und Softwarelösungen benötigt. Allesamt bilden einen hohen Kostenfaktor, welcher, mit Ausnahme von großen Film- oder Werbeproduktionen, nur von den wenigsten Produktionsfirmen getragen werden kann.

Ein weiteres Problem gerade im 2D Bereich bilden die fehlenden Softwareschnittstellen, um Motion Capture Material in den für die Animation genutzten Anwendungen nutzen zu können. So bieten weder ToonBoom¹³, noch Moho¹⁴ oder After Effects¹⁵, als die bekanntesten Softwarelösungen in diesem Bereich, eine native Unterstützung zum Import und der Verarbeitung solcher Daten. Zwar gibt es Anstrengungen von Seiten der Community, auf Basis eines Scripts, diese Schnittstellen selbst zu schaffen, doch sind die dabei entstandenen Lösungsansätze im Falle von Moho schlecht dokumentiert¹⁶ und bieten nur wenig Anpassungsmöglichkeiten, um die Bewegungsdaten an Rigs zu binden oder zu bearbeiten. Eine Möglichkeit, neue Motion Capture Daten aufzunehmen, fehlt gänzlich. Bei After Effects wurde auf der anderen Seite versucht, mit den Sensordaten der Xbox Kamera-Erweiterung mit Tiefensensor namens *Kinect*, eine Möglichkeit zu schaffen, die Bewegungsdaten direkt in After Effects zu überführen.¹⁷ Durch die Einstellung der Kinect in ihrer ursprünglichen Form und der Neuausrichtung zur reinen Verwendung in IoT- und Augmented-Reality-Anwendungen wie Microsofts *HoloLens*¹⁸, ist auch diese Möglichkeit nicht praktikabel.

Ungeachtet dieser Umstände, bildet auch das Retargeting, also die Umwandlung oder Angleichung der Bewegungsdaten an das zugrunde liegende zweidimensionale Rig, eine Herausforderung. Es müssen Tiefeninformationen in Skalierungsparameter für die Größe überführt werden und Bewegungen, die in der Tiefe stattfinden, orthogonal auf das zweidimensionale Rig projiziert werden [HDK07], was keines der gängigen 2D Animationsprogramme

¹⁰<https://www.imdb.com/title/tt2294629/> (Stand: 14.03.2019)

¹¹<https://vimeo.com/89814800> (Stand: 14.03.2019)

¹²<https://www.youtube.com/watch?v=nqhHGBZdsqc> (Stand: 14.03.2019)

¹³<https://www.toonboom.com/> (Stand: 14.03.2019)

¹⁴<https://my.smithmicro.com/anime-studio-pro.html> (Stand: 14.03.2019)

¹⁵<https://www.adobe.com/de/products/aftereffects.html> (Stand: 14.03.2019)

¹⁶<https://github.com/SimplSam/moho-bvh-bones> (Stand: 14.03.2019)

¹⁷<http://www.kinecttopin.com/kinecttopin/> (Stand: 14.03.2019)

¹⁸<https://www.techrepublic.com/article/microsoft-shuts-down-the-kinect-to-concentrate-on-the-hololens-and-augmented-reality/> (Stand: 14.03.2019)

beherrscht. Eine Ausnahme bildet hierzu das von IKinema entwickelte *WebAnimate19*¹⁹, das es seit einem Update im Jahr 2013 ermöglicht, 3D Motion Capture Daten, vergleichsweise einfach, auf 2D Rigs zu übertragen. Jedoch ergeben sich auch hier weiterhin einige Nachteile für die Nutzung in der Videoproduktion. So müssen in WebAnimate alle 2D Charaktere im *Paper-Cut Stil 3.5.4* zur Verfügung stehen und der Charakter muss aus den Einzelteilen erst wieder zusammengesetzt werden, bevor die Erstellung eines Rigs überhaupt möglich ist. Bei der nachfolgenden Animation des Charakters fehlen darüber hinaus Möglichkeiten, unsaubere Übergänge zwischen den Schnittpunkten der Grafiken zu kaschieren. Diese Problematiken bilden, zusammen mit der Beschränkung auf Rastergrafiken, die bei der Vergrößerung zu unscharfen Bildern führt, erhebliche Beeinträchtigungen für die Nutzung in der Videoproduktion.

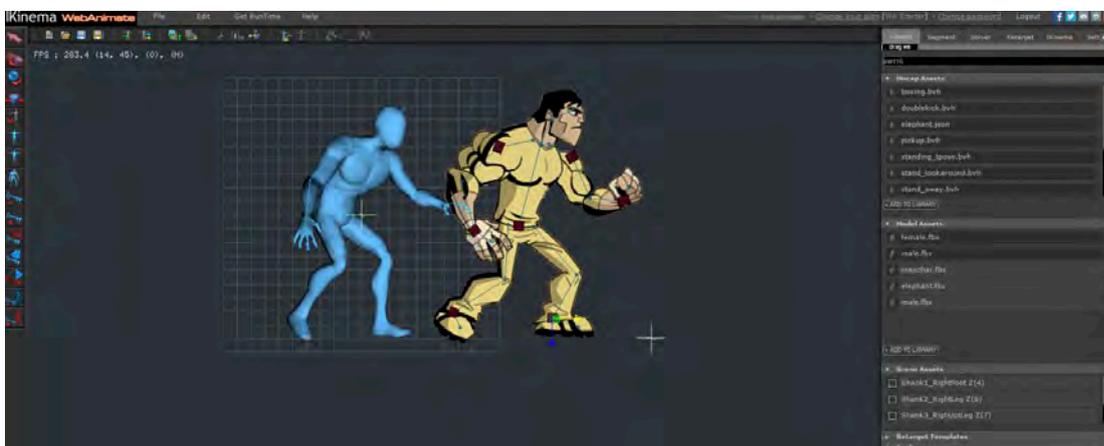


Abbildung 1.3: Retargeting von 3D Motion Capture Daten auf einen 2D Charakter mit Hilfe der Software WebAnimate von IKinema.
(https://ikinema.com/index.php?mod=press_release&show=26 Stand: 14.03.2019)

Aufgrund dieser Problematiken gibt es bisher keine hinreichenden Vergleiche im 2D Bereich, wie der Einsatz von Motion Capturing und Pose to Pose, sich in der Qualität der Ergebnisse und in Relation zur benötigten Zeit, voneinander unterscheiden. Auch ist noch zu eruieren, inwieweit die Übertragbarkeit von Motion Capture Daten, auf 2D Rigs mit unterschiedlichen Proportionen, gegeben ist.

Produktionsstudios und Animatoren fehlen deshalb aussagekräftige Vergleiche für diese Techniken, weshalb sie schlecht abschätzen können, ob sich der jeweilige Einsatz dieser für eine Animation eignet.

¹⁹https://ikinema.com/index.php?mod=press_release&show=26 (Stand: 14.03.2019)



Abbildung 1.4: Visualisierung eines Charakter Rigs

1.3 Zielsetzung

Um die Möglichkeiten von Motion Capture und Pose to Pose anhand zweidimensionaler Charaktere bewerten zu können und deren Vor- und Nachteile vorzustellen, beschäftigt sich diese Arbeit sowohl mit der Realisierung der Animation, als auch mit der anschließenden Bewertung der Ergebnisse. Ein Leitfaden für Produktionsfirmen und Animatoren, der auf den hierbei angestellten Untersuchungen basiert, bildet dabei den Abschluss dieser Ausarbeitung und soll die neu gewonnen Erkenntnisse in einer zusammenfassenden Form vorstellen.

Für die Umsetzung und anschließende Beurteilung der Animation nach objektiven und subjektiven Kriterien, werden zwei von der Seite dargestellte, zweidimensionale Charaktere, mit unterschiedlichen Proportionen erstellt. Einer davon ist möglichst nah an den Proportionen, des für das Motion Capture benötigten Darstellers, angelehnt, während der andere deutlich abweichende Proportionen aufweist, um die Übertragbarkeit der Animation zwischen unterschiedlichen Charakteren zu untersuchen.

Als anspruchsvoller, menschlicher Bewegungsablauf, den es nach beiden Techniken zu animieren gilt, wird der Walk Cycle genutzt, welcher durch die Beschränkung auf den zweidimensionalen Bereich, in der Seitenansicht realisiert wird.

Für die Umsetzung der Animation wird auf das kostenlose skriptbasierte Animations und Rigging Toolkit Duik²⁰, in Kombination mit Adobe After Effects zurückgegriffen, da es zum einen weite Verbreitung im Bereich der 2D Animation aufweisen kann und zum Anderen After Effects Möglichkeiten bietet, um 2D Motion Capture, über die interne *Motion Tracking* Funktion zu realisieren. Durch die zuvor erwähnten, fehlenden Schnittstellen für 3D Motion Tracking, beschränkt sich diese Arbeit auf die, innerhalb der Software, zur Verfügung stehenden 2D Tracking-Funktionen.

Um die Referenzen, also das Ausgangsmaterial für beide Animationen zu vereinheitlichen, dienen für beide Verfahren die Aufnahmen des Motion Captures als Basis. Hierdurch wird

²⁰<https://rainboxprod.coop/en/tools/duik/> (Stand: 14.03.2019)

sichergestellt, dass Unterschiede in den Animationen, nur auf das zugrunde liegende Verfahren und nicht auf das Referenzmaterial zurückzuführen sind.

Während des gesamten Prozesses der Animation, werden messbare Faktoren, wie der Zeitaufwand, die benötigten Mittel und Unterschiede innerhalb des Arbeitsablaufes und des Ergebnisses, protokolliert. Die hieraus gewonnenen Resultate werden mit einer subjektiven Bewertung der insgesamt 4 Animationen - zwei Verfahren mit je zwei Charakteren - in Relation gesetzt, um als Endergebnis einen umfassenden Vergleich beider Verfahren, für die Erstellung eines zweidimensionalen Walkcycle zu präsentieren. Die hieraus gewonnenen Erfahrungen sollen dazu dienen, den Einsatz von Pose to Pose, beziehungsweise Motion Capture, für zukünftige Einsatzzwecke im 2D Bereich, besser abwägen zu können.

1.4 Aufbau der Arbeit

Die Struktur dieser Arbeit lässt sich in drei übergeordnete Abschnitte unterteilen. In den ersten drei Kapiteln wird mit der Einleitung ein Bezug zum Thema hergestellt und das Problem, sowie der Bereich, den die Arbeit umfasst, skizziert. Der aktuelle Stand der Technik auf dem Gebiet und die notwendigen Grundlagen zum Verständnis der in der Arbeit thematisierten Bereiche, in diesem Fall 2D Animationen, Motion Capture und klassische Keyframe Animation, bilden den Rest des ersten Abschnitts. Die darauf aufbauenden Kapitel 4, 5 und 6 umfassen den Schwerpunkt dieser Arbeit und befassen sich mit der Charaktererstellung, der Aufnahme von 2D Motion Capture Daten und der Aufarbeitung dieser. Die Animation der Charaktere nach dem Pose to Pose Verfahren und mit Hilfe der zuvor erstellten Motion Capture Daten, stellen den Kern dieses Abschnitts dar. Die folgenden letzten beiden Kapitel 7 und 8 beschäftigen sich mit der Analyse und Evaluation der erstellten Animationen und fassen die daraus resultierenden Ergebnisse zusammen.

Um den Inhalt der einzelnen Kapitel besser nachvollziehen zu können, wird nachfolgend jedes Kapitel nochmals separat betrachtet.

In der Einleitung, dem ersten Kapitel dieser Arbeit, werden die Einsatzgebiete der klassischen Keyframe Animation und des Motion Captures beschrieben. Im Besonderen wird dabei auf die Herausforderungen bei der Animation von menschlichen Bewegungsabläufen, im Bereich der 2D Animation, eingegangen. Der Vergleich der beiden Techniken, Pose to Pose und Motion Capture, für diesen Einsatzzweck werden als Schwerpunkt der Arbeit definiert und ein Ausblick auf die folgenden Kapitel gegeben.

Im zweiten Kapitel, wird auf den aktuellen Stand der Technik in diesem Bereich näher eingegangen. Es werden die verschiedenen Techniken zur Animation von Charakteren vorgestellt, wobei zwischen datenbasierten und modellbasierten Technologien unterschieden wird. Ebenfalls gibt dieses Kapitel einen Einblick in die aktuellen Techniken zur Manipulation bestehender Animationen und stellt 2D Animationen vor, die auf für 3D-Inhalte konzipierten

Techniken basieren. Auch wird auf mit dieser Arbeit verwandte Untersuchungen, sowie deren Ergebnisse eingegangen, um eine Abgrenzung zu den hier angestellten Untersuchungen vorzunehmen.

Im dritten Kapitel „Grundlagen“, liegt der Fokus auf der Aufbereitung des Kenntnisstandes im Bereich der Animation, um sicher zu stellen, dass die darauf aufbauenden Inhalte der Folgekapitel nachvollziehbar bleiben. So wird zuerst auf die Gehbewegung des Menschen sowohl aus der wissenschaftlichen, als auch aus der Sicht der Animation eingegangen, um anhand dieser die 12 Principles of Animation und deren Bedeutung zu erläutern. Eine kurze Einführung in das Thema Rigging, dessen Bedeutung im Bezug auf die Animation und die Vorstellung verschiedener Techniken, die im Rahmen der angestellten Untersuchungen zum Einsatz kommen, werden vorgenommen. Hierzu gehören verschiedene im 2D Bereich etablierte Werkzeuge und Verfahren, sowie eine Einführung in die unterschiedlichen Ansätze und Systeme zur Realisierung von Motion Capture Aufnahmen. Den Abschluss des Kapitels bildet eine Erläuterung einiger ausgewählter Eigenschaften und Werkzeuge in After Effects, die fortlaufend in den Kapiteln 4 bis 7 zum Einsatz kommen.

Das erste, mit praktischer Arbeit verknüpfte Kapitel 4, beschäftigt sich mit der Erstellung zweier Charaktere, die für die Animation und deren anschließender Analyse benötigt werden. Hierbei wird zunächst der Entstehungsprozess der beiden Charaktere mitsamt Konzeption und Illustration durchgeführt. Daran anschließend, beschäftigt sich das Kapitel mit der Vorbereitung der Charaktere für die Animation, also dem Rigging dieser und beschreibt den hierbei zugrunde liegenden Ablauf.

Kapitel 5 befasst sich mit dem Entstehungsprozess der 2D Motion Capture Daten, für die spätere Animation. Neben dem Aufbau des Sets, der Vorstellung der genutzten Hardware und der eigentlichen Aufnahme eines mit Markern versehenen Darstellers, beschäftigt sich dieses Kapitel vor allem mit der Überführung der aufgenommenen Markerpunkte, in für After Effects nutzbare 2D Koordinaten. Das Ergebnis dieses Kapitels repräsentieren die per Motion Tracking erzeugten 2D Motion Capture Punkte, die im nachfolgenden Kapitel für die Animation des Charakters genutzt werden.

Die Animation der zwei Charaktere, sowohl mit Pose to Pose, als auch durch Zuhilfenahme von Motion Capture Daten, wird im Kapitel 6 vorgenommen. Für beide Verfahren werden alle Arbeitsschritte detailliert erläutert und der jeweilige Aufwand festgehalten. Ein besonderer Fokus liegt dabei auch auf der Übertragbarkeit der Animationen auf einen zweiten Charakter, mit abweichenden Proportionen. Die Ergebnisse dieses Kapitels bilden insgesamt vier Animationen, die auf die Animation nach zwei Verfahren, mit je zwei unterschiedlichen Charakteren, zurückzuführen sind.

Das Kapitel 7 „Bewertung und Evaluation“ beschäftigt sich mit der Analyse und Evaluation, der im vorangegangenen Kapitel entstandenen Animationen. Dabei werden sowohl objektive, als auch subjektive Kriterien herangezogen, um einen umfassenden Vergleich der beiden genutzten Animationsverfahren zu schaffen und deren Vor- und Nachteile zu eruieren.

Das Abschließende Kapitel 8 „Zusammenfassung und Ausblick“ fasst die, durch die Arbeit gewonnenen Erkenntnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Arbeiten und Forschungsziele, die auf der in dieser Arbeit geschaffenen Basis aufbauen können.

1.5 Zusammenfassung

Die Erstellung natürlicher Bewegungsabläufe verursacht bis heute großen Aufwand bei der Animation menschlicher Charaktere. Produktionsfirmen müssen dabei abwägen, ob die kostspielige Motion-Capture Technik oder das deutlich günstigere, dafür zeitaufwendige Pose to Pose Verfahren, für die Animation besser geeignet ist. Gerade im Bereich der 2D Animation, wo Budgets meist sehr klein sind, stellt sich die Frage, inwieweit die Vorteile von Motion Capture auch im 2D Bereich Bestand haben und welche Vorzüge und Nachteile deren Einsatz gegenüber der klassischen Keyframe Animation bietet. Diese Arbeit beschäftigt sich mit genau dieser Frage und vergleicht beide Verfahren anhand eines zweidimensional dargestellten Walk Cycles, um die jeweiligen Vor- und Nachteile zu erschließen.

Neben der Vorstellung aktueller Techniken zur Animation von Charakteren und den in der 2D Animation zur Verfügung stehenden Werkzeugen, bietet diese Arbeit einen Einblick in den gesamten Entstehungsprozess einer Walk Cycle Animation. Von der Illustration zweier Charaktere mit unterschiedlichen Proportionen, über die Aufnahme eines mit Markern versehenen Darstellers, der Überführung der Marker in für die Animation verwendbare 2D Koordinaten, bis hin zur eigentlichen Animation nach dem Pose to Pose Verfahren und mit Hilfe der zuvor erstellten Motion Capture Daten, beschreibt und analysiert diese Arbeit jeden einzelnen Arbeitsschritt, um einen umfassenden Vergleich zu schaffen. Anzumerken ist hierbei, dass für die Erhebung der Motion Capture Daten aus Kostengründen und wegen fehlender Schnittstellen in den etablierten 2D Animationsprogrammen auf ein 2D basiertes Motion Tracking Verfahren mit zwei Kameras gesetzt wird. Während jedes Abschnitts wird dabei der jeweilige Aufwand dokumentiert und Abweichungen, durch das genutzte Verfahren im Ablauf der Animation, hervorgehoben. Die insgesamt vier Animationen werden, sowohl nach objektiven, als auch, über eine Evaluation erfolgend, subjektiven Kriterien analysiert und bewertet. Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass mit der Pose to Pose Animation in kürzerer Zeit ein laut Evaluation marginal ansprechenderer Walk Cycle erstellt werden konnte, was vor allem auf die, im Gegensatz zum Motion Capture, fehlende Notwendigkeit der Aufbereitung der Videoaufnahmen zurückzuführen ist. In Bezug auf die Unterschiede bei der Übertragbarkeit der Animation auf einen anderen Charakter mit veränderten Proportionen lässt sich urteilen, dass unabhängig vom Animationsverfahren allgemein alle als Rotation im Rig definierten Bewegungen einfacher überführt werden können, wobei nach der Übertragung die auf Motion Capture basierende Animation laut Evaluation ein ansprechenderes Ergebnis, als die übertragene Pose to Pose Animation liefert.

Kapitel 2

Stand der Technik

Im Laufe der Zeit haben sich viele verschiedene Techniken und neue Ansätze entwickelt, um die in der heutigen Zeit meist digital vorliegenden Charaktere zu bewegen, immer mit dem Ziel, noch glaubwürdigere Bewegungsabläufe zu schaffen, die deren realen Vorbildern in nichts nachstehen. Neben der Vorstellung mehrerer Ansätze zur Animation von Charakteren, bietet dieses Kapitel auch einen Einblick in den aktuellen Forschungsstand in diesem Bereich und präsentiert relevante Arbeiten, die verschiedene Möglichkeiten aufzeigen, mit denen bestehende Animationen verändert, verfeinert oder auch neue Bewegungen, durch Überlagerung anderer erstellt werden können. Ebenfalls beschäftigt sich dieses Kapitel mit explizit für 3D geschaffenen Anwendungen und Werkzeugen, die durch ihren fortgeschrittenen Entwicklungsstand oder auch aus ästhetischen Gründen, im 2D Bereich zur Anwendung kommen. In diesem Zusammenhang werden neben praktischen Beispielen auch einzelne Arbeiten hierzu vorgestellt und es wird, auf mit dieser Arbeit verwandte Untersuchungen, in Bezug auf Motion Capture und Keyframe Animation, eingegangen. Den Schluss dieses Kapitels bildet eine Zusammenfassung, der im Bereich der Forschung und Technik gewonnen Einblicke und eine Abgrenzung zu den Forschungszielen dieser Arbeit.

2.1 Techniken zur Animation von Charakteren

Für gelungene, nachvollziehbare Bewegungen von Charakteren ist, neben der eigentlichen Animation, die Nutzung eines ebenbürtigen Rigs unerlässlich. Es stellt das Bindeglied zwischen dem modellierten oder illustrierten Charakter und der Animation dar. Im Buch „Body Language: Advanced 3D Character Rigging“ [AM08] heißt es hierzu:

„Character Rigging is one of the most difficult tasks in the production timeline. It is also one of the most essential. Failure to correctly rig a character will frustrate animators and lead to delays or, even worse, unrealistic results.“

Durch diese Abhängigkeit entwickeln sich parallel zur immer exakter und detaillierter werdenden Animation und durch den Einsatz neuer Techniken auch die Charaktermodelle und Rigs stetig weiter, um dem steigenden Bedarf an Details gerecht zu werden. Diesen Trend

2. STAND DER TECHNIK

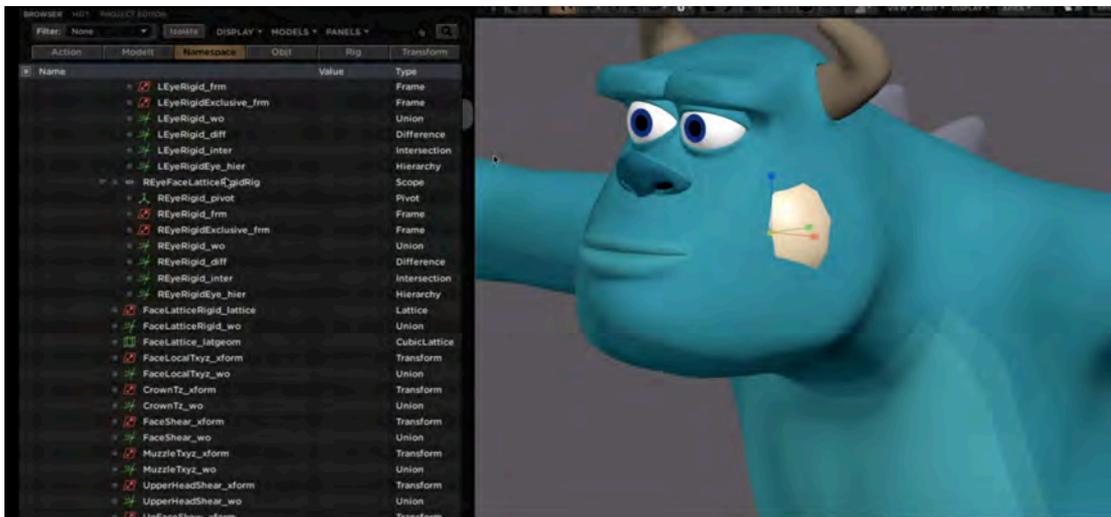


Abbildung 2.1: Links: Der Ausschnitt einer Liste an Deformatoren. Rechts: Der Einflussbereich und die Position eines Deformators im Gesicht des Charakters, dargestellt als weiße Kugel. (<https://youtu.be/QOc8PMB7GWU> Stand: 16.05.2019)

bestätigt Pixars Rigging Technical Director, Brian Green in einer Kollaboration mit Khan Academy, indem er beschreibt, dass alleine für das Gesicht des Charakters Sulley aus „Die Monster AG“¹, über 500 Deformatoren für eine realistische Animation zum Einsatz kommen.² Um diesen hohen Aufwand für die Erstellung von Rigs zu verringern, werden im Bereich der Forschung seit Jahren Techniken mit dem Ziel vorgestellt, den Prozess des Rigging durch Automation zu beschleunigen und zu erleichtern.

Einen Ansatz, um die Skelettstruktur eines Modells anhand der Silhouette zu generieren und somit Zeit zu sparen, stellt dabei das Paper „Automatic rigging for animation characters with 3D silhouette“ [PYX⁺09] vor. Hier wird auf Basis von zwei senkrechten Projektionen, eine dreidimensionale Silhouette erstellt, aus deren Mittel anschließend ein Kurven-Skelett errechnet werden kann. Über die Untersuchung, der so entstandenen Skelett-Kurven, nach Biegungen über einen bestimmten Grenzwinkel hinaus, werden einzelne Gelenke erkannt und deren Position im Skelett definiert. Durch die lineare Komplexität ist der Algorithmus dabei deutlich effizienter als ähnliche Verfahren, aber auch eingeschränkt durch die Form und Pose der Modelle.

Neben der Erstellung der Skelett-Struktur, ist das Verbinden von dieser mit der Oberfläche des Modells, dem sogenannten *Skin-Weighting*, eine weitere aufwendige Arbeit. Einen Beitrag zur möglichen Automation dieses Arbeitsschrittes beim Riggen wird in „Automatic skinning and weight retargeting of articulated characters using extended position-based dy-

¹<https://www.imdb.com/title/tt0198781/>

²<https://www.khanacademy.org/partner-content/pixar/pixar-rigging/intro-to-rigging/v/rig-overview>
(Stand: 15.05.2019)

namics“ [PCYQ18] beschrieben. Durch die Kombination von populären Skinning Verfahren und der Addition weiterer Einschränkungen, für eine realistische Verformung der Oberfläche, wird ein Algorithmus präsentiert, mit dem das Skinning eines Charakters vollständig automatisiert werden kann. Weiter noch wird eine Technik vorgestellt, mit der das Skin-Weighting auf weitere Charaktere, mit deutlich abweichenden Proportionen, ohne Nachbearbeitung übertragen werden kann.

Während der Erstellung des Films „The Chronicles of Narnia: The Lion, The Witch and The Wardrobe“³, wurde aus Zeitgründen mit *Blockparty* [SW06] ein Werkzeug entwickelt, mit dem, aus der Geometrie einer Kreatur und einem Template selber Struktur, die Position der einzelnen Skelett-Bestandteile, sowie deren Deformatoren und Muskeln errechnet werden können. Durch den modularen Aufbau der einzelnen Templates ist es möglich, auch verschiedene Strukturen miteinander zu kombinieren, um beispielsweise aus dem unteren Teil eines Pferdes und dem oberen Teil eines Menschen einen Zentauren, ohne großen Aufwand, vollständig zu riggen. (Siehe Abbildung 2.2) Für den Film wurden letztlich alle 32 Kreaturen mit *Blockparty*, auf Basis von nur drei kompletten Kreatur-Templates (Pferd, Mensch, Katze) erstellt. Entwickelt wurde *Blockparty* von Industrial Light & Magic⁴, einem der bekanntesten Studios für visuelle Spezialeffekte, mit dem Ziel, durch einen modularen Aufbau repetitive Aufgaben beim Rigging zu beschleunigen und die einzelnen Module universell einsetzen und verknüpfen zu können. 2013 wurde mit „BlockParty 2: visual procedural rigging for film, TV, and games“ [RJD13] das proprietäre System, für den Einsatz in Maya, weiterentwickelt. Die Entwickler des Frameworks und die ursprünglichen Ideengeber von *Blockparty* wurden 2018 mit einem Technical Achievement Award⁵ ausgezeichnet.

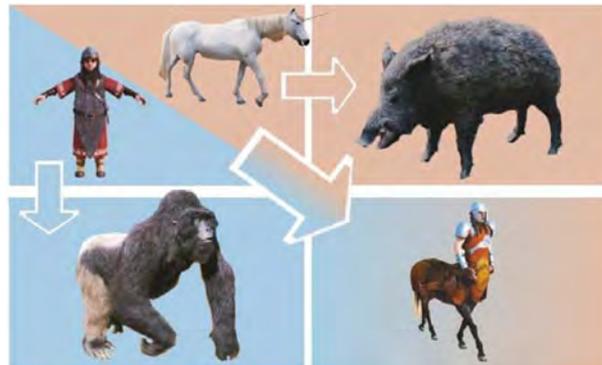


Abbildung 2.2: Mit *Blockparty* kann aus der Vorlage eines Menschen das Rig eines Gorillas, beziehungsweise aus einem Pferd das Rig für Wildschwein erstellt werden. Durch die Kombination der Vorlagen kann aus den beiden Ausgangsrigs eines Menschen und eines Pferdes ein Zentaurus entwickelt werden. (Quelle: [RJD13])

³<https://www.imdb.com/title/tt0363771/>

⁴<https://www.ilm.com/>

⁵<https://www.fxguide.com/quicktakes/scientific-and-technical-achievements-oscars-announced/>

Die nachfolgend vorgestellten Techniken setzen für die Animation alle auf ein entsprechendes Rig, das einem die notwendige Kontrolle über die Verformung des Charakters gibt. Die vorwärts- und rückwärtsgerichtete Kinematik gehören zu den fundamentalen Techniken in diesem Bereich und werden im Kapitel Grundlagen erklärt.

2.1.1 Datenbasierte Technologien

Alle heute zur Verfügung stehenden Animationstechniken lassen sich im wesentlichen in zwei Kategorien [GLA⁺19], die datenbasierten und die modellbasierten Technologien, unterteilen. Dieser Abschnitt beschäftigt sich näher mit dem Konzept der datenbasierten Animation. Sie umfasst alle Animationstechniken, bei denen für die Animation Zustände von Objekten zu einer bestimmten Zeit, zum Beispiel in Form von Koordinaten, Rotationen oder weiteren Eigenschaften, als Information gespeichert werden, um mit Hilfe dieser einen Charakter oder andere Objekte zu animieren.

Keyframe Animation

Die Keyframe Animation bildet die trivialste Form der datenbasierten Technik und ist zugleich auch die am weitesten verbreitete Form der Animation. Sie bietet durch ihre Simplizität dem Animator die größte Kontrolle, ist dadurch aber auch mit einem hohen Aufwand verbunden. Das Konzept der Schlüsselbilder, auf dem die Keyframe Animation aufsetzt, hat dabei seine Wurzeln in der noch Bild für Bild per Hand gemalten Welt der Zeichentrickfilme. Hierbei werden zuerst die Schlüsselposen gezeichnet und anschließend, für eine flüssige Bewegung im Film, um die dazwischen liegenden Bilder ergänzt. Im Buch „The Illusion of Life“ [TJ81] heißt es hierzu, dass für die Produktion eines typischen Animationsfilms im Schnitt pro Schlüsselbild 3 bis 4 Zwischenbilder benötigt werden und deren Erstellung damit einen signifikanten Teil der Produktionskosten ausmacht. Übertragen auf die heutige digitale Keyframe Animation, bei der die Charaktere für die jeweiligen Schlüsselposen ausgerichtet und die fehlenden Bewegungen zwischen den einzelnen Posen durch verschiedene Interpolationsverfahren ergänzt werden, ergeben sich neue Möglichkeiten, diesen Vorgang zu beschleunigen.

Mit „BetweenIT: An Interactive Tool for Tight Inbetweening“ [WNS⁺10] einem, unter anderem von Disney und der ETH-Zürich entwickelten Algorithmus, wird ein Lösungsansatz für die teilautomatisierte Interpolation von linienbasierten Objekten zwischen zwei Keyframes präsentiert. Auch wenn weiterhin manuelle Eingriffe bei beispielsweise Verdeckungen vorgenommen werden müssen, konnte die benötigte Zeit, gegenüber der klassischen handgezeichneten Animation, um den Faktor 16 reduziert werden.

Eine weitere Herausforderung bei der Interpolation bildet, gerade im 3D Bereich, das Verhindern von Überlappungen, sogenanntem *Clipping*, verschiedener Körperteile, Kleidung oder anderer Objekte. Im Paper „Self-collision avoidance through keyframe interpolation and optimization-based posture prediction“ [DK14] wird ein Verfahren vorgestellt, das sich

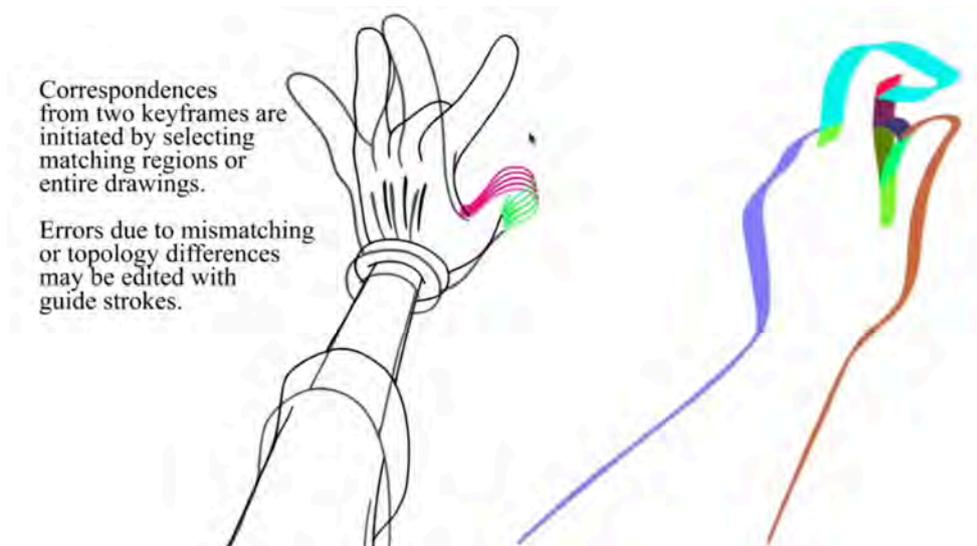


Abbildung 2.3: Links: Überlagerung zweier Strichzeichnungen. Die farbigen Linien zeigen die mit dem Verfahren interpolierten Zwischenschritte. (<https://youtu.be/DuZRNR-6iRo?t=50> Stand: 20.05.2019) Rechts: Farbige Repräsentation der einzelnen Linien und deren interpoliertem Bewegungsverlauf zwischen zwei Zeichnungen. (<https://youtu.be/DuZRNR-6iRo?t=130> Stand: 20.05.2019)

diesem Problem annimmt. Gegenüber der ursprünglichen Praxis, bei der meist zusätzliche Keyframes ergänzt werden müssen, um natürliche Bewegungen zu erzeugen und Kollisionen mit anderen Oberflächen und Objekten zu vermeiden, entfällt dieser Schritt durch die präsentierte Technik. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass durch die Kombination mit dem Vorhersagesystem, das für die Geschmeidigkeit der Bewegung zuständig ist, die Möglichkeit neu erzeugter Kollisionen entsteht. Weiter noch beschränkt sich die Kollisionsvermeidung nur auf den oberen Körperteil eines menschlichen Charakters und ist daher nicht universell einsetzbar.

Im Bezug auf Character Rigs, wird bei der Keyframe Animation die Ausrichtung der Gliedmaßen, zu einer bestimmten Zeit, in den Eigenschaften der jeweiligen Gelenke und Knochen des Rigs, über beispielsweise die Rotation und Position, festgehalten. Der Aufwand für die Animation nach diesem Verfahren steigt dabei zumeist kongruent zur Komplexität des Rigs und der zu animierenden Bewegung. Die Keyframe Animation ist, gerade im 2D Animationsbereich, bis heute vorherrschend und durch den Verzicht einer Dimension gegenüber 3D deutlich einfacher umzusetzen.

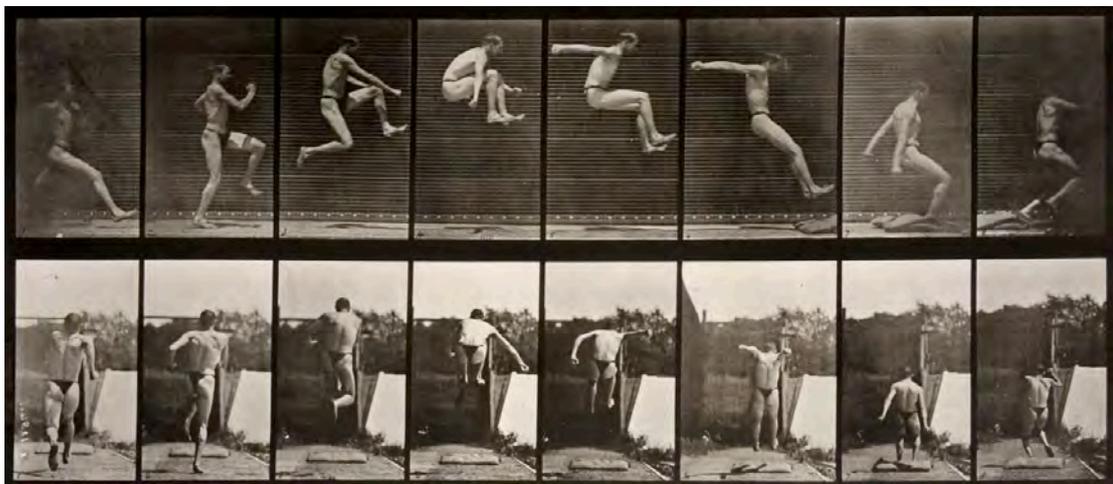


Abbildung 2.4: Eine für Eadweard-Muybridge typische Serienbildaufnahme (<https://huxleyparlour.com/exhibitions/eadweard-muybridge/> Stand: 20.05.2019)

Motion Capture

Motion Capture ist mittlerweile ein fester Bestandteil in vielen Branchen und beschreibt den Prozess, der Aufzeichnung der Bewegungen von Objekten oder Personen. Den ersten Vorläufer dieser Technik bildete, bereits in den 1870er Jahren, die unter anderem von Eadweard Muybridge vorangetriebene Chronofotografie [Muy85], bei der, mit Hilfe möglichst schneller Serienbildaufnahmen, die Bewegung von Tieren und Personen festgehalten wurde. Den ersten Ansatz, um in kürzerer Zeit real anmutende Bewegungsabläufe in der Cartoon-Filmbranche zu realisieren, bildet das 1915 von Max Fleischer patentierte, Verfahren der Rotoskopie [Fle]. Hierbei werden die zu zeichnenden Szenen zuerst von echten Darstellern auf Film aufgezeichnet und anschließend, über eine Glasscheibe, auf den Tisch des Illustrators projiziert, der diese dann nachzeichnen kann. Nach Ablauf des Patents 1934 griffen viele Studios, wie auch Walt Disney, diese Technik auf. Darauf folgende Filme wie „Schneewittchen und die sieben Zwerge“⁶, die mit dieser Technik produziert wurden, setzten zur damaligen Zeit neue Maßstäbe in der Animation von Charakteren.

Durch die Digitalisierung und stetige Weiterentwicklung der Technik entstand letztlich das Motion Capture in seiner heutigen Form, das in Bereichen wie Spielen, Filmen, Fernsehen und Medizin immer häufiger zum Einsatz kommt. Einer der wesentlichen Unterschiede zu den Vorläufern des Motion Captures bildet die Abstraktion der Bewegung vom Darsteller selbst. Michael Gleicher beschreibt in seinem Artikel: „Animation From Observation: Motion Capture and Motion Editing“ [Gle99] Motion Capture wie folgt:

„motion capture creates a representation that distills the motion from the appearance; that it encodes the motion in a form that is suitable for the kinds of

⁶<https://www.imdb.com/title/tt0029583/>

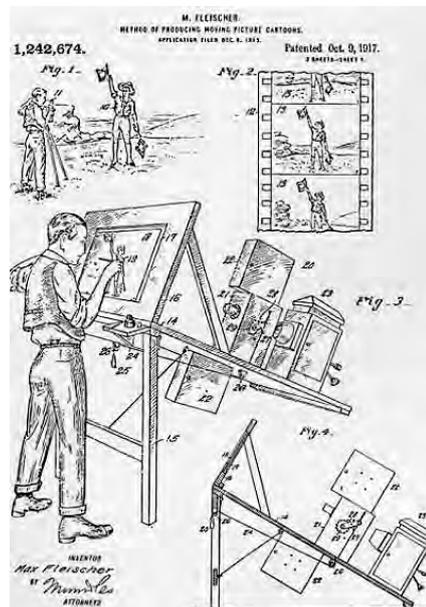


Abbildung 2.5: Aufbau zum Abpausen der zuvor aufgenommenen Videos nach Max Fleischer (<http://www.digitalmediafx.com/Features/maxfleischer.html> Stand: 20.05.2019)

processing or analysis that we need to perform.“

So werden in heutigen Motion Capture Verfahren Bewegungen meist als digitale Punkte, die sich im Raum verschieben, abgebildet und können deutlich vielseitiger eingesetzt werden. Durch diese Abstraktion ist es möglich, die aufgezeichneten Bewegungsdaten, auf beliebige virtuell erstellte Charaktere, zu übertragen und zu verändern. Weidong Geng und Gino Yu stellen 2003 in ihrem Paper „Reuse of Motion Capture Data in Animation: A Review“ [GY03] verschiedene Techniken, wie das Retargeting, oder Ansätze zur Überblendung oder Kombination mehrerer Bewegungen vor, um einmal aufgezeichnetes Motion Capture Material wiederverwenden zu können. Dabei wurde der Ansatz formuliert, dass vor der Erstellung einer neuen Animation zuerst auf bestehende Motion Capture Datensätze zurückgegriffen wird, um auf deren Grundlage die neue Animation zu erstellen. Eine Auswahl der gebräuchlichsten Techniken, zur Manipulation bestehender Animationen, werden im Abschnitt 2.1.3 vorgestellt.

Neben verschiedenen optischen Verfahren für die Realisierung von Motion Capture, gibt es auch weitere Techniken, die auf mechanischen oder Inertialsensoren basierenden Systemen aufbauen. Eine genauere Vorstellung dieser und weiterer Techniken zur Realisierung von Motion Capture wird im Kapitel 3 Grundlagen vorgenommen.



Abbildung 2.6: Performance Capture in Alita: Battle Angel. Links die fertige Filmszene, rechts die entsprechende Performance Capture Aufnahme mit Anzug und Kameras. (<https://youtu.be/FUjytzDaLIQ?t=78> Stand: 20.05.2019)

Performance Capture

Während das Motion Capture sich im Bereich der Bewegungserfassung eines Menschen auf den Körper, Kopf, Arme und Beine beschränkt, erweitert das Performance Capture diese um Mimik und Fingerbewegungen. Der Einsatz dieser Technik im Film „Battle Angel“⁷ von James Cameron, repräsentiert dabei, das zur Zeit am weitesten entwickelte Beispiel in diesem Bereich. Im Gegensatz zu, ebenfalls für ihr Performance Capture bekannten Filmen, wie „Avatar“⁸, „Planet der Affen“⁹ oder „Gollum“ in „Der Herr der Ringe“¹⁰, wurde in „Battle Angel“ alleine für die Erfassung der Mimik, auf zwei High Definition Kameras gesetzt.¹¹ In einem Interview zum Film beschreibt Producer Jon Landau, gerade die Aufzeichnung solcher Details als enorm wichtig, um dem Zuschauer über die detaillierte Aufzeichnung und Verarbeitung der Bewegung, Emotionen vermitteln zu können. Ebenfalls hiermit in Verbindung zu nennen, ist das von Disney Research stetig weiterentwickelte Performance Capture System „Medusa“¹², das zuletzt 2019 mit einem Technical Achievement Award ausgezeichnet wurde.¹³ Im Speziellen bietet „Medusa“ die Möglichkeit, ein sehr hochauflösendes dreidimensionales Abbild des Gesichts eines Darstellers und seiner Performance zu machen. Zum Einsatz kam „Medusa“ unter anderem zur Animation von „Thanos“ oder auch „Hulk“ in den „Avengers“ Filmen¹⁴. Die Kosten, um solche Details einzufangen, sind dabei enorm und auch

⁷<https://www.imdb.com/title/tt0437086/>

⁸<https://www.imdb.com/title/tt0499549/>

⁹<https://www.imdb.com/title/tt0133152/>

¹⁰<https://www.imdb.com/list/ls072068350/>

¹¹<https://www.cbr.com/alita-battle-angel-motion-capture-avatar/>

¹²<https://studios.disneyresearch.com/medusa/>

¹³<https://www.thewaltdisneycompany.com/innovations-from-disneyresearchstudios-receive-academy-sci-tech-award/>

¹⁴<https://www.imdb.com/list/ls033328716/>



Abbildung 2.7: Medusa Face Capture (<https://studios.disneyresearch.com/2011/08/07/high-quality-passive-facial-performance-capture-using-anchor-frames/> Stand: 20.05.2019)

der Einsatz einfacherer Motion Capture Techniken, stellt für kleinere Firmen einen großes Investment dar, weshalb es Anstrengungen von Seiten der Community und Forschung gibt, diese Technik einer breiteren Masse zugänglich zu machen.

Kostengünstiges Motion Capture

Eine der Möglichkeiten, um die Kosten zu reduzieren, ist die Verwendung von Standardkomponenten aus der Unterhaltungs- und Spieleindustrie, wie zum Beispiel die Controller der Nintendo Wii. Deren Infrarotkamera, die normalerweise für die relative Positionsbestimmung zum Fernseher genutzt wird, kann so beispielsweise auch für die Realisierung eines optischen Trackingsystems umfunktioniert werden. [ASLP10]

Das Paper „Performance Capture of Interacting Characters with Handheld Kinects“ [YLH⁺12] präsentiert ein weiteres Beispiel, indem auf die mit Tiefensensor ausgestatteten Webcam *Kinect* von Microsoft zurückgegriffen wird, um die Bewegungen der Darsteller kostengünstig aufzuzeichnen. Im Gegensatz zu klassischen, optischen Trackingverfahren, kann hierbei, durch die Erfassung von Tiefeninformationen, auf Markierungen verzichtet werden, was die Kosten nochmals verringert. Auch für After Effects, einem etablierten Programm zur 2D Animation, gibt es durch die Community ein Projekt, das den Einsatz der Kinect für Motion Capture Aufnahmen ermöglicht, um damit Animationen innerhalb der Software zu steuern.¹⁵ Durch die Einstellung der Kinect von Microsoft und 2019 vollzogenen Neuausrichtung zu einer Cloud basierten Bild- und Spracherkennungshardware¹⁶, ist die Verwendung dieser, für die Produktion von Videos und Filmen, in Zukunft aktuell in Frage zu stellen. Ebenfalls ist die Auflösung und damit die Genauigkeit des Trackings, gegenüber der üblicherweise für Filme und Spiele genutzten Verfahren deutlich geringer. Untermuert wird diese Aussage auch in einem Versuch, die Kinect zur Erfassung von Gehbewegungen zu Analyse Zwecken in der Medizin einzusetzen. [PWBN14] Hier heißt es:

„The Kinect™ has basic motion capture capabilities and with some minor adjustments will be an acceptable tool to measure stride timing, but sophisticated

¹⁵<https://github.com/N1ckFG/KinectToPin/releases> (Stand: 20.05.2019)

¹⁶<https://winfuture.de/news,103109.html> (Stand: 20.05.2019)

2. STAND DER TECHNIK



Abbildung 2.8: XSens Motion Capture mit Inertialsensoren. Der Graph unten stellt die von den Sensoren gemessenen Veränderungen in Orientierung und Position dar. (<https://www.xsens.com/fascination-motion-capture/> Stand: 20.05.2019)

advances in software and hardware are necessary to improve Kinect™ sensitivity before it can be implemented for clinical use.“

Neben den optischen Systemen gibt es auch andere Möglichkeiten, um Bewegungen vergleichsweise kostengünstig zu erfassen. Inertialsensoren, wie sie zum Beispiel auch in Smartphones oder Wearables zur Bestimmung der Orientierung des Geräts zur Anwendung kommen, stellen eine günstige Hardwarebasis, zur Umsetzung eines Motion Capture Systems dar. Nach vorangegangenen Versuchen, bei denen man sich unter anderem auf das Verfolgen des Oberkörpers mit statischen Posen beschränkt [SBSS13], wird im Paper „Design and Development of a Real-Time, Low-Cost IMU Based Human Motion Capture System“ [RSST17] ein System präsentiert, das zusätzlich auch Arm- und Beinbewegungen erfasst und diese in Echtzeit einer Spiele-Engine, zur Animation eines Avatars, zur Verfügung stellen kann. Das System besteht aus mehreren identisch aufgebauten, tragbaren Modulen, die jeweils einen Inertialsensor und Magnetometer besitzen, deren Daten über einen Mikrocontroller abgerufen und über WLAN an einen Computer, mit der darauf laufenden Game-Engine, übertragen werden. Neben den deutlich geringeren Kosten ist diese Art des Trackings, unabhängig von äußeren Einflüssen, wie sich ändernden Lichtverhältnissen, die gerade bei optischen Erfassungssystemen zu Problemen führen können, einsetzbar. Durch die Implementierung für eine Game-Engine ist noch zu eruieren, inwieweit die vorgestellte Technik auch in der Film- oder Videoproduktion einsetzbar ist. Im kommerziellen Bereich gilt die Lösung von XSens¹⁷ als

¹⁷<https://www.xsens.com>

führend.

Beschränkt man sich auf die Erfassung im zweidimensionalen Raum, bieten mittlerweile auch einige Video Bearbeitungsprogramme, wie After-Effects, die Möglichkeit, einzelne Punkte in einer Videoaufnahme per Software zu verfolgen, um diese anschließend für die Animation weiter zu verwenden. Durch den Wegfall speziell für Motion Capture entwickelter Hard- und Software und der damit verbundenen Kosten, wird diese Methode auch für die, in dieser Arbeit angestellten, Untersuchungen in Kapitel 5 eingesetzt.

Limitierungen durch Motion Capture und das Uncanny Valley

Auch abgesehen vom Kostenfaktor gibt es Gründe, wieso selbst in großen Produktionen wie „Frozen“, auf die Verwendung von Motion Capture bewusst verzichtet wird. Durch den an Trickfilme angelehnten Stil, solcher Produktionen rückt der reine Realismus in den Hintergrund und Animationstechniken wie Squash and Stretch und Follow through and overlapping action, aus den 12 Principles of Animation [TJ81, S.47-69], haben einen deutlich größeren Einfluss auf die Animation. Der dabei entstehende typische Stil von Animationsfilmen, kann durch die Einschränkung auf physikalisch korrekte Abläufe und Bewegungen [RV16] beim Einsatz von Motion Capture nicht imitiert werden. Ein Paradebeispiel hierfür stellt der 2004 veröffentlichte Film „Der Polarexpress“ dar. Trotz des Einsatzes von Performance Capture und den dadurch realistischen Bewegungen, empfanden viele die Animationen als leblos oder gruselig.^{18,19,20} Der Film wird daher oft als Beispiel für das, von Masahiro Mori zuerst formulierte, Phänomen des Uncanny Valley [MMK12] herangezogen. Es beschreibt eine Kurve, bei der die Akzeptanz einer menschlichen Figur beim Zuschauer, ab einem bestimmten Grad an Realismus zuerst stark abnimmt, bevor diese kurz vor Erreichung der Realität wieder zunimmt. In „Overcoming the Uncanny Valley“ [Gel08] beschreibt Tom Geller mögliche Lösungsansätze für dieses Problem und geht dabei unter anderem auch auf den Film „Der Polarexpress“ ein. So bezieht er sich auf Aussagen von Kenn McDonald, Lead Character Animator beim Film „Der Polarexpress“ und Matt Aitken, Visual-Effects Supervisor bei Weta Digital, der unter anderem an „Gollum“ in „Herr der Ringe“ beteiligt war und beschreibt die Stilisierung von Charakteren, als notwendige Möglichkeit zur Umgehung des Uncanny Valleys. Weiter bezieht er sich auf Hal Hickel, Animation Supervisor bei Industrial Light & Magic, nach dessen Aussage die Herausforderungen des Uncanny Valleys, durch den Einsatz von Motion Capture für die Animation von Körperbewegungen mittlerweile überwunden sind und sich der Fokus nun im Bereich der Animation, vor allem in Richtung des Gesichts und der Augen, verlagert. Auch zum Film „Der Polarexpress“, heißt es von Kenn McDonald weiter, dass ein großer Aufwand betrieben wurde, um natürliche Augen zu kreieren, diese Arbeit im Film letztlich aber nicht wirklich sichtbar war. Als Konsequenz hieraus wurde, für den zuvor bereits als zur Zeit weitesten Vorstoß im Bereich des Performance Capture beschriebenen Film „Battle Angel“, ein enormer Detailgrad alleine für die Augen, der am Computer erstell-

¹⁸https://www.salon.com/2004/11/10/polar_express/ (Stand: 11.05.2019)

¹⁹<http://www.cnn.com/2004/SHOWBIZ/Movies/11/10/review.polar.express/> (Stand: 11.05.2019)

²⁰<http://laurawilkens.com/thoughts/2015/12/14/lets-talk-about-the-polar-express> (Stand: 11.05.2019)

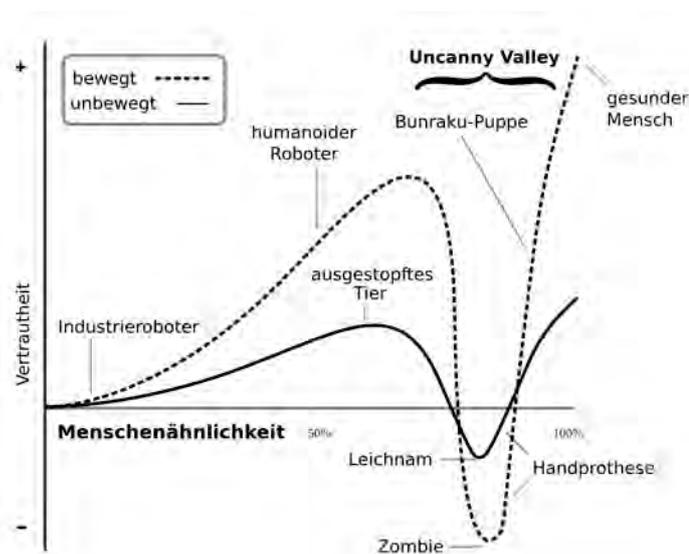


Abbildung 2.9: Visualisierung des Uncanny Valleys als Akzeptanzkurve (https://de.wikipedia.org/wiki/Uncanny_Valley Stand: 20.05.2019)

ten Protagonistin gesetzt. Producer, Jon Landau, beschreibt in einem Interview dabei, dass das von Weta Digital erstellte Modell eines Auges allein

„...more geometry and more definition ...“

als der gesamte Charakter „Gollum“ aus den „Herr der Ringe“ Filmen besitzt.

2.1.2 Modellbasierte Technologien

Im Gegensatz zur datenbasierten Technik, bei der die Animation durch Speicherung von Zuständen zu einer bestimmten Zeit realisiert wird, bilden bei der modellbasierten Animation Formeln, Funktionen und Vorschriften einen definierten Rahmen, durch den die Bewegung beschrieben wird. Aufgrund dieser Form der Animation ist es möglich, auch Objekte zu animieren, deren Bewegungsabläufe im Vorhinein nicht bekannt sind oder die sich mit bestimmten Faktoren beeinflussen lassen. Meist wird dieses Verfahren genutzt, um äußerst komplexe Animationen, wie beispielsweise Wasserbewegungen zu beschreiben und diese zu vereinfachen. [SS17] Auch in der Charakter-Animation findet diese Technik ihre Verwendung. Die im Kapitel 3 Grundlagen beschriebene und in der Einleitung erwähnte, rückwärtsgerichtete Kinematik 3.4.2 (IK), bei der Teile eines Körpers, auf Basis der Bewegung eines hierarchisch untergeordneten Objekts mitbewegt werden, ist ein Beispiel hierfür. Oftmals werden mehrere unterschiedliche Formen der modellbasierten Animation miteinander verknüpft, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen.

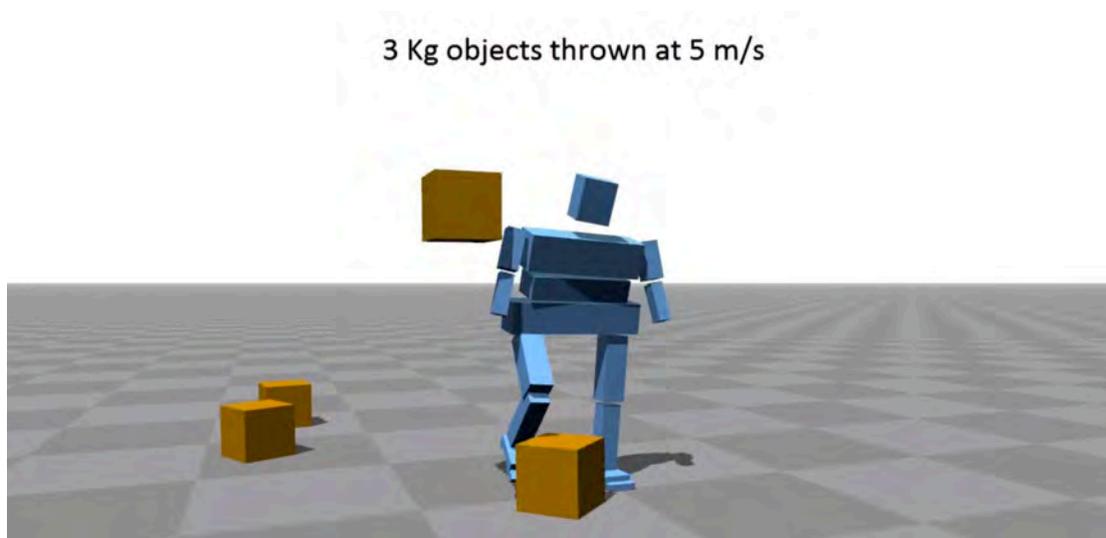


Abbildung 2.10: Darstellung eines laufenden Charakters, der mit Würfeln abgeworfen wird, wobei die Animation über eine physik-basierte Simulation erfolgt. ([Gei13] <http://www.goatstream.com/research/thesis/index.html> Stand: 20.05.2019)

Physikbasierte Animation

Die physikbasierte Animation wird häufig eingesetzt, um Interaktionen zwischen zwei oder mehr Objekten oder Körpern plausibel darzustellen. In Videospiele ist die sogenannte „Ragdoll“ eine klassische Vertreterin, die nach diesem Prinzip animiert wird. Eine „Ragdoll“ stellt dabei ein Abbild des virtuellen Charakters dar, bei der die einzelnen Glieder der Figur nur über die Verbindung der Gelenke lose zusammengehalten werden. Durch die Simulation von Kräften, wie Gravitation oder dem Zusammenstoß mit einem anderen Objekt in der Spielwelt, wird die „Ragdoll“ auf Basis der Physiksimulation in der Spielwelt beeinflusst und entsprechend animiert. Ein weiteres Beispiel für den Einsatz solcher Techniken bildet die Simulation von Passagieren bei Crashtest-Simulationen. Im Gegensatz zu Videospiele, die an eine zeitliche Limitierung für die Berechnung gebunden sind, liegt der Fokus hier auf einem möglichst hohen Grad an Realismus, der durch einen höheren Zeitaufwand bei der Berechnung möglich wird. Die virtuellen Dummies werden dabei, im Rahmen technischer Limitierungen, den Eigenschaften realer Menschen nachempfunden, um anschließend durch die komplexe Simulation des Crashes physikalisch korrekt animiert zu werden.

Im Bereich der Forschung wird ebenfalls für die Animation von Charakteren auf physikbasierte Modelle zurückgegriffen. Shailen Agrawal, Shuo Shen und Michiel van de Panne setzten bei ihrer Untersuchung zum Thema: „Diverse Motion Variations for Physics-based Character Animation“ [ASP13] auf eine Physiksimulation, um aus einer Referenzbewegung valide Abwandlungen desselben Bewegungsablaufes zu erzeugen. Auch gibt es Anstrengungen, Bewegungen von Charakteren nur auf Basis von Algorithmen und Physiksimulationen zu generieren. In der Studie „Animating Virtual Characters using Physics-Based Simulation“

[Gei13] befasst sich Thomas Geijtenbeek genauer mit dieser Thematik und zeigt Anhand von Videobeispielen²¹, die dabei entstandenen Erfolge.

Prozedurale Animation

Die zuvor beschriebene, physikbasierte Animation ist ein Teilgebiet der prozeduralen Animation. Sie ist ein Sammelbegriff und umfasst alle algorithmisch beschreibbaren Animationen. Hierzu zählen mathematische Beschreibungen durch Formeln, logische Ausdrücke und definierte Regeln, durch die ein Objekt oder Charakter animiert werden. Zum Einsatz kommt diese Technik vor allem, um hochkomplexe Abläufe, mit vielen einzelnen Objekten möglichst effektiv zu animieren. Im Bereich der Charakter Animation ist hier vor allem die Software Massive²² (Multiple Agent Simulation System in Virtual Environment) zu nennen, deren Spezialisierung auf dem Gebiet der Animation von großen Menschenmengen liegt. Ursprünglich für die riesigen Schlachten in den „Herr der Ringe“ Filmen entwickelt, löst diese Software das Problem der Animation hunderttausender Charaktere, die in gewaltigen Schlachten gegeneinander kämpfen. Über eine Datenbank mit vorgefertigten Bewegungsabläufen, Kleidung und Figuren, werden dabei zufällige Charaktere erstellt, die durch den Einsatz von KI ein zuvor definiertes Ziel erfüllen. Je nach Situation wird dabei zwischen den einzelnen vordefinierten Bewegungen gewechselt, um die Verfolgung des Ziels nachvollziehbar darzustellen. Massive Software ist mittlerweile Marktführer im Bereich der automatisierten Animation großer Mengen von Kreaturen. So wurden mit der Software neben der Animation von riesigen Zombiehorden in „World War Z“²³, auch große Fischschwärme oder Erdmännchen in „Life of Pi“²⁴ mit dieser Technik animiert.

Machine Learning

Durch den Zugang zu immer mehr Rechenleistung und die mit der Zeit entstandenen großen Mengen an Motion Capture Daten, ist mittlerweile auch der Einsatz von maschinellem Lernen im Bereich der Charakter-Animation möglich. Ein Ansatz, der die Nutzung klassischer Animationstechniken oder die aufwendige Nachbearbeitung von Motion Capture Daten überflüssig werden lässt und dabei auf Deep Learning Techniken zurückgreift, wird im 2016 veröffentlichten Paper „A Deep Learning Framework for Character Motion Synthesis and Editing“ [HSK16] beschrieben. Hier wird auf Basis einer großen Sammlung an kategorisierten Motion Capture Daten ein neuronales Netzwerk trainiert, mit dessen Hilfe anschließend sehr natürliche Bewegungen generiert werden können, die zum Beispiel einen menschlichen Charakter zeigen, der einem zuvor definierten Kurvenverlauf folgt. Dem Animator wird so die Möglichkeit gegeben, über einfachste Parameter, wie einer Linie oder der Bewegung von Positionsreglern, die Bewegung des gesamten Charakters zu bestimmen, ohne dabei die eigentliche Animation von diesem übernehmen zu müssen. Weiter noch bietet das beschriebene Framework die Möglichkeit, verschiedene Stile einer Bewegung mit dem Timing

²¹<https://www.goatstream.com/research/thesis/index.html> (Stand: 11.05.2019)

²²<http://www.massivesoftware.com>

²³<https://www.imdb.com/title/tt0816711/>

²⁴<https://www.imdb.com/title/tt0454876/>



Abbildung 2.11: Charakter, der mit Hilfe eines neuronalen Netzwerkes seine Gehbewegung dem Untergrund anpasst. ([HKS17] <https://youtu.be/UI0Gilv5wvY?t=184> Stand: 20.05.2019)

einer anderen Bewegung zu verknüpfen, ohne diese zuvor aneinander angeglichen zu haben. Hieraus resultierend können neue Bewegungsmuster erstellt werden, die durch den Stil der Bewegung weitere Rückschlüsse auf beispielsweise den Charakter oder Gemütszustand einer Figur zulassen. Das Framework ist darüber hinaus performant genug, um auch für die Animation von größeren Mengen an Charakteren in Echtzeit eingesetzt werden zu können. Die simultane Animation von 200 Gehbewegungen während eines Stresstests, die mit 30 000 Bildern pro Sekunde berechnet werden konnte, bestätigten diese Aussage.

Dasselbe Team entwickelte hierauf aufbauend 2017 ein neuronales Netzwerk, das es erlaubt, die Bewegung eines gehenden, laufenden oder gebückten Charakters in Abhängigkeit von der Unebenheit des Bodens in Echtzeit zu animieren. (Siehe Abbildung 2.11) [HKS17] Das System erahnt dabei anhand der momentanen Pose, der Geometrie des Untergrundes, sowie der Richtungs- und Geschwindigkeitsvorgabe, für das nächste Bild die passende Folgepose, um eine natürliche Bewegung zu erzeugen. Zum Einsatz soll diese Technik vor allem in der Spieleindustrie kommen, in der die Animation von Charakteren durch die vielen unterschiedlichen Gegebenheiten eine große Herausforderung darstellt. Spiele wie „Assasins Creed“ benötigten dabei rund 15 000 unterschiedliche Animationen²⁵, um die Spielwelt lebendig wirken zu lassen.

Einen weiteren Ansatz für den Einsatz von maschinellem Lernen für die Animation von

²⁵https://twvideo01.ubm-us.net/o1/vault/gdc2018/presentations/Holden_Daniel_CharacterControlWith.pdf (Stand: 08.04.2019)

Charakteren bildet das Projekt „DeepMimic“ [PALP18], das anhand einer Referenzbewegung Bewegungsabläufe erlernen und auf veränderte Umstände und Ziele anpassen kann. „Physics-based motion capture imitation with deep reinforcement learning“ [CMM⁺18] verfolgt ebenfalls einen ähnlichen Ansatz.

2.1.3 Techniken zur Manipulation bestehender Animationen

Neben den unterschiedlichen Techniken zur Erstellung von Animationen, gibt es auch unterschiedliche Möglichkeiten und Ansätze, um diese zu verändern. Im Gegensatz zur modellbasierten Animation, bei der die Bewegungen auf Basis von Formeln, Funktionen und Vorschriften bestimmt und angepasst werden können, ergeben sich für die datenbasierte Animation unterschiedliche Techniken, um diese zu verändern. Im Wesentlichen lässt sich dabei zwischen der Anpassung von zeitlichen Abständen zwischen zwei gespeicherten Zuständen und der Veränderung, der zu einer Zeit gespeicherten Parameter selbst unterscheiden. Je nach Verfahren, können dabei entweder nur zeitliche, parametrische oder beide Aspekte verändert werden.

Keyframe Anpassung

Die Anpassung von Keyframes ist die einfachste und vielseitigste Form zur Veränderung bestehender Animationen. Durch Verschiebung bestehender Keyframes, können zeitliche Anpassungen vorgenommen und durch die Veränderung, der vom Keyframe gespeicherten Werte, auch Einfluss auf das Erscheinungsbild der einzelnen Posen genommen werden. Im Gegensatz zu den anderen Techniken steigt der Aufwand, je nach Anpassung, mit der Anzahl der zu verändernden Keyframes. Die Technik wird daher oft eingesetzt, um spezifische Teile einer Animation zu überarbeiten oder es werden Algorithmen eingesetzt, um diesen Schritt zu automatisieren. Ein praktisches Beispiel für die Verwendung solch eines Algorithmus, um den Stil von handgezeichneten Animationen auf den Bewegungsverlauf eines dreidimensionalen Charakters zu übertragen, wird im Paper „Leveraging the talent of hand animators to create three-dimensional animation“ [JSH09] beschrieben. Als Basis zur Umsetzung, dienen dabei eine Motion Capture Aufnahme und eine illustrierte Variante derselben Bewegung. Der im Paper beschriebene Algorithmus verändert anschließend einzelne Keyframes der Motion Capture Aufnahme, um diese an die einzelnen Posen der handgezeichneten Animation anzugleichen. Neben der Anpassung von Keyframes, kann in den meisten Fällen auch auf die Art der Interpolation zwischen diesen Einfluss genommen werden.

Animationspfad Anpassung

Um mehrdimensionale Positionsveränderungen möglichst einfach darzustellen, wird für die Animation solcher Bewegungen häufig auf Animationspfade zurückgegriffen. Mit Hilfe des Pfades wird dabei der Bewegungsverlauf eines Objekts visualisiert und bietet dem Animator dadurch weitreichende Möglichkeiten, um Veränderungen über mehrere Keyframes hinweg, deutlich effizienter umzusetzen. Einen neuartigen Ansatz auf dem Gebiet der Anpassung von Animationspfaden für humanoide Charaktere, stellt die Software *SketchiMo* [CRL⁺16] dar.

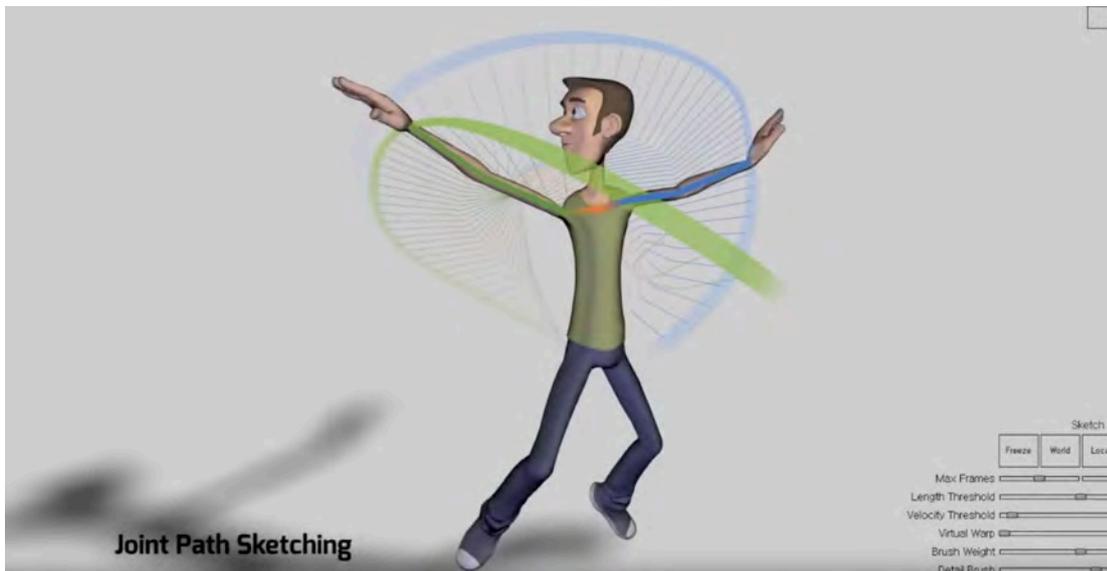


Abbildung 2.12: SketchiMo ermöglicht es dem Animator, die Bewegungen des Charakters, über das einzeichnen einfacher Linien, anzupassen. (<https://youtu.be/hcOQ0H-ISRM?t=66> Stand: 20.05.2019)

Sie ermöglicht es, durch das Zeichnen von zweidimensionalen Pfaden, Einfluss auf einen bestehenden, dreidimensional vorliegenden Bewegungsablauf zu nehmen. Die zweidimensional skizzierten Pfade werden dabei in Abhängigkeit von der Blickrichtung im Viewport, durch die Software korrekt auf den dreidimensionalen Animationspfad umgerechnet und die Auswirkung auf die Pose des Charakters dargestellt. Zur Visualisierung des Bewegungsablaufs kann zwischen verschiedenen Bezugssystemen gewählt werden, um die Bewegungen aus unterschiedlichen Sichten zu zeigen und, durch mehrfaches Zeichnen über dieselbe Stelle, können darüber hinaus Anpassungen am Timing einer Bewegung vorgenommen werden. Entwickelt wurde *SketchiMo* von *Weta Digital Ltd.*²⁶, das zu den weltweit führenden Unternehmen für visuelle Effekte in der Filmbranche gehört.

Neben der Visualisierung und Beschreibung von Bewegungsabläufen bestimmter Körperpartien, werden Animationspfade in der Charakter-Animation auch eingesetzt, um beispielsweise einen Weg zu definieren, den der Charakter anschließend verfolgt. Hierdurch ist es möglich, unabhängig von der Animation der Gehbewegung, die Position des Charakters, zu einer bestimmten Zeit, zu verändern und so eine bessere Kontrolle über die Position des Charakters, in einer Szene zu erlangen und diese zu verändern. Eine große Herausforderung bei diesem Verfahren, das oft in der Spieleindustrie eingesetzt wird, bildet die Angleichung der Gehbewegung, mit der zurückgelegten Distanz auf dem Untergrund. Oftmals entsteht dabei der Eindruck, dass die Füße des Charakters über den Boden gleiten, statt die Illusion des Auftretens zu erzeugen. Besonders kritisch ist in diesem Zusammenhang das Gehen um enge

²⁶<https://www.wetafx.co.nz>



Abbildung 2.13: Die Animation nicht menschlicher Charaktere über menschliche Motion Capture Daten ([YAH10])

Kurven. Mögliche Lösungsansätze sind, die Nutzung einer enormen Anzahl an vorgefertigten Bewegungsabläufen oder der zuvor beschriebene Einsatz von maschinellem Lernen 2.1.2.

Rig-Anpassungen und Retargeting

Dadurch, dass Rigs als Bindeglied zwischen der Animation und der visuellen Repräsentation des Objektes stehen, haben sie auch einen großen Einfluss auf das Endergebnis einer Animation. Über Anpassungen von Eigenschaften, wie der Steife eines Gelenks oder auch der Dehnbarkeit von Körperteilen, können so visuell unterschiedliche Ergebnisse erzeugt werden. [HTC+13] Vor allem in Animationsfilmen gelten Möglichkeiten wie das Biegen, Stauchen und Dehnen von Körperteilen zu den essentiellen Werkzeugen, um einen Charakter zu animieren. Entfallen diese Möglichkeiten, entsteht bei derselben Animation ein anderer, meist unerwünschter Effekt.

Eine weitere Technik, zur Anpassung bestehender Animationen im Zusammenhang mit Rigs, bildet das sogenannte Retargeting, das vor allem in Verbindung mit Motion Capture Daten, aber auch in der Spieleindustrie häufig zum Einsatz kommt. Das Retargeting beschreibt dabei die Übertragung und Anpassung der Bewegungsdaten auf die Proportionen des Ziel-Rigs. Dies ermöglicht es, dieselbe Animation auf Rigs, mit unterschiedlichen Proportionen zu übertragen und sie so, mehrfach für unterschiedliche Charaktere, zu verwenden. [YAH10] Beim Prozess des Retargetings muss dabei die Entscheidung getroffen werden, wie zwischen den ursprünglichen Bewegungsdaten und dem Ziel-Rig übersetzt werden soll. Die Übersetzung beschränkt sich dabei auf die Länge und Position eines Knochens im Rig. Rotationen müssen für das Retargeting nicht überführt und können übernommen werden²⁷, da sie dimensionslos sind. Die *Unreal Engine*²⁸ bietet für das Retargeting beispielsweise drei unterschiedliche Verfahren an. Hier kann zwischen den Proportionen des Ursprungs-Rigs, den

²⁷<https://docs.unrealengine.com/en-us/Engine/Animation/AnimationRetargeting>

²⁸<https://www.unrealengine.com/en-US/>

Proportionen des Ziel-Rigs und dem Verhältnis zwischen den beiden Rigs²⁹ gewählt werden. Solange die hierarchische Struktur zwischen verschiedenen Rigs identisch ist, kann über eine komplexere Form des Retargetings auch zwischen unterschiedlichen Skeletten übersetzt werden. In „Animating Non-Humanoid Characters with Human Motion Data“ [YAH10] wird so, für die Animation der berühmten Pixar-Lampe, die Bewegung eines Menschen genutzt.

Im 2D Bereich stellt *WebAnimate*³⁰ von *IKinema* eine Ausnahme dar, indem es die Möglichkeit bietet, 3D Motion Capture Daten auf zweidimensionale Charaktere zu übertragen. Voraussetzung hierfür ist es, den Charakter vollständig in der Software neu aufzubauen, wobei jedes Körperteil neu platziert und positioniert werden muss. Durch fehlende Schnittstellen zu den gängigen 2D Animationsprogrammen können die einzelnen Animationen nur als gerendertes Video exportiert werden. Zudem beschränkt sich das Programm auf Rastergrafiken und Interaktionen mit weiteren Objekten und Charakteren sind nicht möglich.

Animation Layers / Motion Blending

Durch die Überlagerung verschiedener Animationen ist es möglich, vorhandene Animationen zu verändern. Diese Technik bezeichnet man im Fachjargon als *Motion Blending*. In der Animation kommt diese Technik vor allem zum Einsatz, um verschiedene Bewegungen miteinander zu verknüpfen und separat anpassen zu können. Ein typisches Beispiel, für den Einsatz dieser Technik, ist die Animation eines Unterwasser lebenden Charakters. Hier wird das Auf- und Absinken der Figur separat animiert und anschließend mit den übrigen Animationen, wie Gestiken und Flossenbewegungen, überblendet, um beide Bewegungen miteinander zu kombinieren. Den Einfluss einer Bewegung, auf die zusammengesetzte Animation bezeichnet man dabei als *Weighting*. Neben der Erstellung neuer Animationen aus bestehenden Animationen, wird Motion Blending vor allem für die sogenannte Motion Transition eingesetzt. Diese beschreibt eine temporäre Überblendung zweier oder mehr Bewegungen [Slo07], um so einen flüssigen Übergang zwischen diesen zu erzeugen. Hierfür haben sich mehrere Verfahren etabliert, die alle ihre Vor- und Nachteile in Bezug auf die Weichheit der Übergänge, parametrische Fehler und die benötigte Zeit zur Berechnung haben. Das Paper „An Analysis of Motion Blending Techniques“ [FHKS12] beschreibt, analysiert und vergleicht vier verschiedene Techniken zur Überblendung zwischen Animationen, mit dem Ergebnis, dass es kein Verfahren gibt, das alle Vorteile in sich vereinen kann.

In der Videospielebranche versucht man, dem Problem durch den Einsatz vieler Animationen, die möglichst alle Fälle abdecken, entgegenzuwirken. Zur Auswahl der passenden Animation, zu der überblendet werden soll, wird dabei auf eine sogenannte *State Machine* mit separatem *Blend-Tree* gesetzt.³¹ Die *State Machine* bestimmt dabei, zu welcher Animation gewechselt werden soll, während der *Blend-Tree* das *Weighting* einzelner Animationen, für einen bestimmten *State*, genauer definiert. Durch die hohe Komplexität dieser Auswahlssysteme ist

²⁹<https://docs.unrealengine.com/en-us/Engine/Animation/AnimationRetargeting>

³⁰https://ikinema.com/index.php?mod=press_release&show=26 (Stand: 14.03.2019)

³¹https://twvideo01.ubm-us.net/o1/vault/gdc2018/presentations/Holden_Daniel_CharacterControlWith.pdf

die Pflege aufwendig, weshalb auch hier zunehmend auf maschinelles Lernen gesetzt wird.

Auch Augmented Reality Anwendungen, wie *PuppetPhone* [ACS18] von Disney, bei dem ein virtueller Charakter über das Schwenken des Smartphones gesteuert werden kann, setzen auf solch ein System, um zwischen den einzelnen Animationen zu wechseln.

2.2 Verwendung von 3D im 2D Kontext

Durch die zunehmende Popularität und Verbreitung von 3D Inhalten, werden auch die entsprechenden Softwarelösungen stetig weiterentwickelt und bieten dadurch teils neuartige Funktionen, die auch für die Umsetzung von 2D Produktionen von Relevanz sind. Während ursprünglich gezeichnete Serien wie „Biene Maya“, „Heidi“ oder auch „Wickie und die starken Männer“ mittlerweile von Studios wie *Studio100*³² durch moderne CGI Technik neu aufgelegt werden, gibt es auch Serien, die ihrem klassischen 2D Stil treu bleiben, aber für die Produktion auf für 3D konzipierten Softwarelösungen, wie *Autodesk Maya*³³ zurückgreifen.

Einen der populärsten Vertreter in diesem Bereich bildet die Serie „South Park“³⁴, die neben ihren Charakteren, vor allem für ihren Stop-Motion Paper-Cut Animationsstil bekannt ist. Nachdem in der Pilotfolge die Figuren aus farbigem Konstruktionspapier ausgeschnitten und im Stop Motion Verfahren animiert wurden, folgte nach dem Erfolg der ersten Folge, der Umstieg auf die 3D Produktionssoftware *PowerAnimator*, dem Vorläufer von *Maya*, das heute als Industriestandard für die Animation im CGI Bereich gilt. Laut Eric Stough, damals Verantwortlicher für die Animation, wurde dieser Schritt gewählt, um den ursprünglichen Stil von aufeinanderliegendem Papier bestmöglich zu imitieren³⁵. Da *PowerAnimator* durch seine 3D Fähigkeiten, die zur damaligen Zeit realistischsten Schatten erzeugen konnte und darüber hinaus auch Funktionen zur Erstellung von visuellen Effekte bot, entschied man sich für den Einsatz von 3D Software, obwohl die Serie einen 2D Look bietet. Bis heute wird für die Produktion auf den Nachfolger *Autodesk Maya* für die Animation gesetzt³⁶.

2.2.1 Live 2D

Eine Mischform aus 3D und 2D bildet die hauptsächlich für die Animation von Animes genutzte Software, *Live2D*³⁷. Sie verbindet den Stil der klassisch gezeichneten Animation, mit der Nutzung von Parallax-Effekten, um so die Illusion eines dreidimensionalen Charakters zu erzeugen. Für die Darstellung des Charakters wird auf Illustrationen aus unterschiedlichen

³²<https://www.studio100animation.net>

³³<https://www.autodesk.de/Maya?>

³⁴<https://www.imdb.com/title/tt0121955/>

³⁵https://web.archive.org/web/20090329014416/http://digitalcontentproducer.com/mag/video_crappy_possible_method/ (Stand: 23.03.2019)

³⁶<http://southpark.cc.com/blog/2016/03/11/fan-question-do-you-hand-draw-every-scene>

³⁷<https://www.live2d.com/en/products/cubism3>



Abbildung 2.14: Die Illusion eines dreidimensionalen Charakters wird in Live2D mit Parallax-Effekten und zweidimensionalen Flächen erzeugt. (<https://combobreaker.de/artikel/1172/live2d-anime-look-in-3d/> Stand: 20.05.2019)

Perspektiven zurückgegriffen, die anschließend im dreidimensionalen Raum, in unterschiedlicher Entfernung zueinander, übereinander gelegt werden. Je nach Blickwinkel verändert sich die Position, der in der Tiefe verteilt liegenden Illustrationen zueinander und erzeugt dadurch einen Tiefeneffekt, auch Parallax-Effekt genannt. Um diesen über eine komplette, dreidimensionale Darstellung hinweg anwenden zu können, wird ab einem definierten Grenzwinkel, bei der Betrachtung zwischen verschiedenen Illustrationen gewechselt, um den gezeichneten 2D Look von allen Seiten aufrecht zu erhalten. Im Gegensatz zur klassischen Frame by Frame Animation, kann der Aufwand durch den Einsatz dieser Technik deutlich reduziert werden, ohne dabei auf das Modellieren von dreidimensionalen Charakteren angewiesen zu sein.

Die Technik, zweidimensionale Bilder in dreidimensionalen Räumen zu verteilen, um so bei Kamerafahrten, der Umgebung einen Tiefeneffekt zu verleihen, kommt dabei in mittlerweile fast allen CGI Produktionen beim Compositing zur Anwendung. Neben der reinen Kostenersparnis, sind vor allem, der dadurch beschleunigte Produktionsprozess, ein Grund für die weite Verbreitung der Technik. Serien wie „The Dragonprince“³⁸ kombinieren dabei 3D Elemente mit zweidimensionalen Bildern, um Produktionszeiten gering und trotzdem einen illustrativen Look beizubehalten.

2.2.2 Cel Shading

Das aus dem 3D Bereich stammende Cel Shading beschäftigt sich mit der visuellen Darstellung, von dreidimensional vorliegenden Objekten, um einen gemalten zweidimensionalen Look zu erzeugen. Im Gegensatz zu klassischen Shadern, beschränkt man sich beim Cel Shading auf wenige Helligkeitsstufen und Farben, um einen flachen gemalten Bildeindruck zu erzeugen. Für die Darstellung der typischen schwarzen Umrandungen und Konturen, wird vor der Berechnung der sichtbaren Polygone, auf ein invertiertes *Backface Culling* zurückgegrif-

³⁸<https://www.imdb.com/title/tt8688814/>



Abbildung 2.15: Cel Shading im Futurama Intro (<https://youtu.be/6F1QNfmiqHc?t=9>
Stand: 20.05.2019)

fen. Durch die umgekehrte Darstellung, der normal nicht sichtbaren Polygone eines Objekts in schwarz, entsteht eine schwarze Hintergrundebene, die, durch das mehrfache Verschieben der Polygone, etwas größer als die eigentlich zum Objekt gehörende Fläche ist. Durch die nachfolgende Überlagerung der Hintergrundebene mit den sichtbaren Polygonen, entstehen so an den Rändern Konturen, die in Abhängigkeit von der Stärke der Verschiebung, in der Größe variiert werden können.

Ein Beispiel für den Einsatz von Cel Shading in der Videoproduktion bildet die zwischen 1999 und 2003 eingesetzte Introsequenz von „Futurama“³⁹ [Luq]. Aufgrund der vielen Objekte und unterschiedlichen Bewegungen, wurde für die Erstellung des Intros auf eine vollständige Produktion in 3D mit Cel Shading gesetzt, um den Aufwand gegenüber der klassisch gezeichneten Animation zu verringern. Auch in der Videospieleindustrie, wird für die Visualisierung vieler Spiele auf Cel Shading zurückgegriffen. „The Legend of Zelda: Breath of the Wild“, „Dragon Ball FighterZ“ oder „Borderlands“ sind einige Beispiele hierfür.

2.3 Verwandte Arbeiten

Ein überwiegender Teil der Veröffentlichungen zum Thema Motion Capture beschäftigt sich mit der Weiterentwicklung der Technik und der Erschließung neuer Gebiete und Branchen, die vom Einsatz dieser profitieren. Im Bereich der Animation angesiedelte Untersuchungen, die sich mit der Bedeutung und dem Einfluss von Motion Capture, im Bezug zur klassischen

³⁹<https://www.imdb.com/title/tt0149460/>

Keyframe Animationen auseinandersetzen, sind hingegen äußerst selten.

Einen wichtigen Beitrag zu diesem Thema bildet eine 2003 veröffentlichte Umfrage, mit dem Titel „Keyframe animation and motion capture for creating animation: a survey and perception from industry people“ [IAEN03]. Die Ergebnisse stellten klar, dass beide Varianten dem Animator unterschiedliche Vorzüge bieten können. Während Motion Capture, nach dem initial höheren Aufwand, ein effizientes Werkzeug zur Animation menschlicher Bewegungen darstellt, versteht sich die Keyframe Animation in diesem Zusammenhang als essentieller zweiter Schritt, um die aufgenommenen Bewegungsdaten zu verfeinern. Als eigenständiges Verfahren betrachtet, beschreiben die Autoren in ihrer Zusammenfassung, dass die Keyframe Animation dem Animator mehr Möglichkeiten bietet, Charakteren, durch die Anwendung der Animation Principles, Charakter und Ausdruck zu verleihen. Daraus abgeleitet, formulieren die Autoren, dass Motion Capture die Keyframe Animation nicht ersetzen kann, sie aber je nach Situation, für bestimmte Animationen ökonomischer und schneller, qualitativ hochwertige Ergebnisse liefert.

Seit der Veröffentlichung haben sich viele neue technologische Verfahren und Errungenschaften bei der Animation von Charakteren etabliert. Da es keine neueren Umfragen gibt, die die damals getroffenen Aussagen bestätigen können, sind diese aufgrund des Fortschritts seit der Veröffentlichung, in Frage zu stellen und sollten neu bewertet werden. Ebenfalls fehlen konkrete Zahlen, die die subjektiven Aussagen der Befragten bestätigen und stützen.

Ein weiteres 2018 veröffentlichtes Paper nähert sich dem Vergleich von Motion Capture und der klassischen Keyframe Animation, im Bezug auf die Auswirkungen bezüglich der Kreativität bei der Animation eines Charakters an [Mou18]. Für die Untersuchungen wurden für beide Animationstechniken jeweils 25 Studenten, mit zwei Jahren Animationstraining herangezogen, die einen dreidimensionalen, geriggtten Charakter, innerhalb einer Stunde in unterschiedlichen Laufposen darstellen sollten. Der Keyframe Animation konnten in diesem Zusammenhang originellere und betontere Stimmungsvarianten bei den Posen, gegenüber dem Motion Capture Verfahren nachgewiesen werden. Der Einsatz von Motion Capture überzeugte vor allem bei der Flüssigkeit der Bewegungen und der Anzahl an Ergebnissen, die innerhalb der festgelegten Zeit umgesetzt werden konnten.

Nicht berücksichtigt wurden bei den Untersuchungen, die jeweiligen Vorbereitungszeiten für den Einsatz der Technik, sowie Kostenfaktoren und mögliche Auswirkungen bei der Animation eines gesamten Bewegungsablaufes. Durch die Nutzung eines dreidimensionalen Charaktermodelles, können die Ergebnisse als möglicher Anhaltspunkt für die in dieser Arbeit vorgestellten Untersuchungen im 2D Bereich dienen und werden im Kapitel 7 Bewertung und Evaluation nochmals aufgegriffen.

2.4 Zusammenfassung

Die Animation von Charakteren stellt trotz großer Fortschritte, gerade im 3D-Bereich, noch immer eine große Herausforderung dar. Angefangen beim Rig, da es als Bindeglied zwischen der Animation und der grafischen Repräsentation des Modells fungiert, muss es dem Animator die notwendigen Freiheiten und Möglichkeiten geben, um dem stetig steigenden Detailgrad gerecht zu werden. Während im Bereich der 2D Animation weitestgehend noch immer auf die Keyframe Animation gesetzt wird, wird für die Produktion von Filmen und Serien immer häufiger auf Motion Capture beziehungsweise Performance Capture, das auch die Mimik und Fingerbewegungen mit aufzeichnet, gesetzt. In der Industrie gelten sie als essentielle Werkzeuge für die Animation von Charakteren, deren Nutzung aber zugleich auch mit hohen Kosten und initialem Aufwand verbunden ist. Versuche, die Technik durch geringere Kosten einer breiteren Masse zur Verfügung zu stellen, beschränken sich meist auf die Verfolgung einer bestimmten Körperregion oder sind durch eine geringe Genauigkeit oder die Beschränkung auf einen Anwendungsfall, nicht für den Einsatz in der Videoproduktion geeignet. Darüber hinaus fehlen Möglichkeiten, Motion Capture Daten in die, im 2D Bereich genutzten, Animationsprogramme zu überführen und häufig eingesetzte Animationstechniken, wie Squash and Stretch umzusetzen.

Einen weiteren Ansatz zur Animation von Charakteren stellen Algorithmen dar, die auf Basis von Formeln und Funktionen, die zu vollziehende Bewegung beschreiben. Hierdurch ist es dem Animator möglich, komplexe Bewegungsabläufe über einfache Parameter, wie einem Schieberegler oder Pfad, zu animieren. Gleichzeitig muss er durch diese Abstraktion aber auch auf die vollständige Kontrolle über das Rig verzichten und ist somit bei der Bestimmung der Bewegung eingeschränkt. Die am weitest entwickelten Algorithmen setzen auf eine Mischung von Physiksimulationen und Machine Learning, um glaubhafte Bewegungsabläufe zu erzeugen. Voraussetzung hierfür sind vor allem große Mengen an Motion Capture Daten, die dem lernenden Algorithmus als Referenz dienen. Die Forschungsergebnisse und Weiterentwicklungen in diesem Bereich finden vor allem in der Videospiegelbranche Verwendung, die schon eine spielinterne Physiksimulation integriert haben oder werden für die Simulation von großen Menschenmengen, die mit herkömmlichen Methoden deutlich zu aufwendig in der Animation wären, eingesetzt.

Für die Verwendung von datenbasierten Animationstechniken, zu denen die Keyframe Animation und das Motion Capture zählen, sind nach der initialen Erstellung meist noch Anpassungen notwendig, um den gewünschten Bewegungsablauf zu erzielen. Je nach Verfahren werden dabei entweder das Aussehen oder das Timing angepasst. Über Techniken, wie das Retargeting, können darüber hinaus bestehende Animationen auf andere Modelle übertragen oder durch die Vermischung mehrerer Bewegungen, neue erstellt werden.

Da sich diese Arbeit mit der Animation von Charakteren im zweidimensionalen Raum auseinandersetzt, werden auch aktuelle Techniken hierfür vorgestellt. Hierzu zählen das für 3D konzipierte Cel Shading, um einen 2D Look zu erzeugen und Techniken, wie Live2D, die durch die Verteilung von zweidimensionalen Illustrationen in einem dreidimensionalen Raum,

perspektivische Effekte erzeugen.

Auch werden zwei mit dieser Arbeit verwandte Untersuchungen vorgestellt, die sich von verschiedenen Gesichtspunkten aus mit einem Vergleich von Motion Capture und der Keyframe Animation auseinandersetzen. Im Gegensatz zu diesen, liegt der Fokus in dieser Arbeit auf der 2D Animation und berücksichtigt sowohl subjektive, als auch objektive Kriterien, beim Vergleich der beiden Methoden. Hierzu zählen Aspekte, wie der initiale Aufwand, Kostenfaktoren und die Bewertung einer gesamten Animation, am Beispiel eines Walk Cycles. Hinzu kommt werden außerdem Möglichkeiten zur Übertragbarkeit von Bewegungsabläufen, im zweidimensionalen Raum untersucht und ein Leitfaden erstellt, der die Vor- und Nachteile der beiden Methoden aufzeigt.

Kapitel 3

Grundlagen

Zum besseren Verständnis der, in den nachfolgenden Kapiteln angestellten Untersuchungen, bedarf es einiger fundamentaler Kenntnisse zu den im 2D Bereich genutzten Animationstechniken, den verschiedenen Formen zur Realisierung von Motion Capture und zum Bewegungsablauf eines gehenden Menschen. Neben der Erläuterung und einer Einführung in diese Themen, werden in diesem Kapitel auch die Grundlagen des Charakter Riggings und die 12 Principles of Animation, deren Aussagen bis heute von großer Relevanz bei der Animation sind, vorgestellt. Auch wird ein Überblick über bestimmte Aspekte der Software After Effects eingegangen, die sowohl für die Erstellung der Motion Capture Daten, als auch für das Rigging, die Animation und letztlich deren Analyse zum Einsatz kommt.

3.1 Die Gehbewegung des Menschen

Der Vorgang des Gehens beim Menschen, ist ein hochkomplexer, sich wiederholender Prozess, der noch immer Teil neuer wissenschaftlicher Arbeiten und damit nicht vollumfänglich erforscht ist. Bekannt ist, dass es Unterschiede beim Bewegungsablauf zwischen einem Menschen auf dem Laufband und einem frei gehenden gibt [Lud15]. Zur besseren Veranschaulichung, beschränkt sich die Beschreibung der Gehbewegung in dieser Arbeit auf die verschiedenen Phasen des Bewegungsablaufs, wobei die Bewegungen der Arme, losgelöst von der Bewegung der Beine und Füße betrachtet werden.

Die beim Gehen entstehende Bewegung der Beine und Füße, lässt sich bis zur Wiederholung des Ablaufs in zwei Phasen, die *Stance Phase* (Stand Phase) und die *Swing Phase* (Schwung Phase), unterteilen. Die *Stance Phase* beschreibt dabei den Teil der Bewegung, bei der der Fuß im Kontakt mit dem Boden steht, während die *Swing Phase* den restlichen Anteil der Bewegung, der sie zur Ausgangsposition zurückführt, beschreibt. Die *Stance Phase* nimmt dabei etwa 62% [AFHSH15] der Gesamtzeit eines Zyklus ein und lässt sich in fünf weitere Abschnitte unterteilen. Die *Swing Phase* besteht aus drei Abschnitten und bildet damit die restlichen 38% bis zum vollendeten Zyklus.

3.1.1 Die acht Abschnitte des Gait Cycle

Nachfolgend werden die insgesamt acht Abschnitte eines kompletten Zyklus beim Gehen eines Menschen (*Gait Cycle*) beschrieben. Dieser Abschnitt bezieht sich dabei nur auf die Bewegung der Beine und Füße.

Der **Initiale Contact (IC)** beginnt beim Kontakt der Ferse mit dem Boden und bildet damit zugleich den Anfang der *Stance Phase*, bei der das Bein fast vollständig gestreckt ist. Beim Auftreffen auf den Boden, wird die Geschwindigkeit des Fußes reduziert und die kleine Kontaktfläche sorgt für einen instabilen Stand.

Die **Loading Response (LR)** beschreibt die Zeitspanne unmittelbar nach dem *IC* bis zur *Midstance Phase*. Das Gewicht wird als Vorbereitung für die nächste Phase zunehmend verlagert, um anschließend als alleiniges Standbein zu dienen. In diesem Zusammenhang wird auch der Fuß nach vorne gekippt, um durch die vergrößerte Auflagefläche mehr Stabilität zu bieten und das Knie winkelt sich leicht an, um die Gewichtsverlagerung besser ausgleichen zu können. Der Körper ist in dieser Phase des Zyklus an der tiefsten Position.

Die **Midstance (MST)** beginnt, sobald der gegenüberliegende Fuß den Boden verlässt und das Gewicht vollständig auf einem Bein liegt. Durch das Momentum richtet sich der Körper nach vorne und das Gewicht verlagert sich zunehmend von der Ferse auf den Ballen. Die Phase endet, sobald die Ferse den Boden verlässt.

Die **Terminal Stance (TST)** beschreibt die Zeit nach der *Midstance*, in der über den Fußballen und die Zehen der Körper nach vorne beschleunigt wird, während sich der andere Fuß noch in der *Swing Phase* befindet. In diesem Stadium verlagert sich das Gesamtgewicht vor das Zentrum des vom Fuß ausgehenden Drucks zur Vorwärtsbewegung. Innerhalb dieses Übergangs ist der Körper an der höchsten Position in der Gehbewegung.

Der nachfolgende **Preswing (PSW)** beschreibt die letzte Phase, bei der, der sich abstoßende Fuß noch nicht den Boden verlassen hat und der gegenüberliegende Fuß sich im *Initial Contact* befindet. Die Phase endet zeitgleich mit dem Verlassen des Bodens durch die Fußspitze und bildet den Übergang zur *Swing Phase*.

Der **Initial Swing (ISW)** beschreibt das Heben des Beins durch den Oberschenkel, das Einknicken des Knies und das pendelartige nach vorne Fallen Lassen des Unterschenkels, bis zum Zeitpunkt, an dem das Bein auf der Höhe des gegenüberliegenden Beines angelangt ist.

Der **Midswing (MSW)** folgt hierauf und beschreibt die Fortführung der Bewegung, bis der Unterschenkel eine vertikale Position erreicht und sich vor dem gegenüberliegenden Bein befindet. Ebenfalls rotiert der Fuß wieder in eine senkrecht zum Unterschenkel stehende Position.

Der **Terminal Swing (TSW)** stellt die letzte Phase des Zyklus dar und beschreibt das

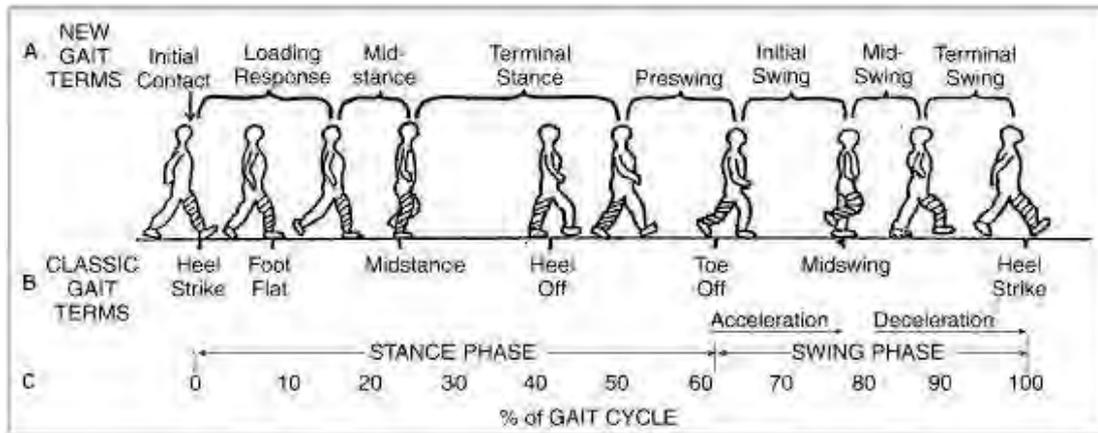


Abbildung 3.1: Visualisierung der acht Abschnitte des Gait Cycles (<https://www.orthobullets.com/foot-and-ankle/7001/gait-cycle> Stand: 20.05.2019)

Ausstrecken und Absenken des nach vorne geschwungenen Beines, bis dieses wieder die *Initial Contact Pose* erreicht.

3.1.2 Konträre Körperbewegungen beim Gehen

Neben der für die Fortbewegung benötigten Abläufe der Beine und Füße, vollziehen die Arme eine unterstützende und stabilisierende Funktion [BMBD10], die konträr zu den Bewegungsabläufen der Beine stattfindet. Das bedeutet, dass beispielsweise der rechte Arm einer gehenden Person den Bewegungen des linken Beines folgt, um den Drehimpuls beim Abstoßen vom Boden entgegen zu wirken. Beim nach vorne Schwingen des Arms knickt der Ellbogen an seiner höchsten Position, durch den Pendeleffekt des Unterarms, leicht ein, bis er bei etwa drei viertel der rückwärtigen Bewegung wieder in seine Ursprungslage zurückkehrt. Der Oberkörper bewegt sich dabei synchron zu den Bewegungen der Arme und stabilisiert damit ebenfalls.

3.2 Pose to Pose beim Walk Cycle

Der Walk Cycle gilt bei der Animation als äußerst anspruchsvoll, da selbst kleine Abweichungen gegenüber dem gewöhnlichen Bewegungsablauf, dem Betrachter auffallen. Im Gegensatz zu den acht Phasen der Gehbewegung aus der wissenschaftlichen Sicht, beschränkt man sich bei der Pose to Pose Animation, je nach gewünschtem Detailgrad, meist auf vier Schlüsselposen. Diese sind dabei vor allem an die Höhenunterschiede während der Gehbewegung angelehnt und heißen: *Contact*, *Down*, *Passing* und *Up*. In der Keyframe Animation werden zuerst diese Schlüsselposen nacheinander animiert und anschließend die dazwischenliegenden Bewegungsabläufe verfeinert und weitere Details ergänzt. Dabei wird vom, in der Hierarchie am höchsten liegenden Element aus begonnen, da dieses alle darunter liegenden Elemente

beeinflusst.

Um Zeit bei der Animation zu sparen, wird häufig nur die Bewegung eines Beins animiert, um diese anschließend gespiegelt auf die andere Seite zu übertragen. Durch die exakte Symmetrie reduziert sich bei diesem Vorgehen der Realismus und die Bewegung kann stilisiert wirken. In den 12 Principles of Animation wird dieses Phänomen als *Twinning* bezeichnet und sollte vermieden werden.

3.2.1 Die vier Phasen eines Walk Cycles

Bei der Animation eines Walk Cycles nach dem Pose to Pose Verfahren wird meist mit der **Contact Pose** begonnen und damit zugleich auch die Endpose definiert. Sie ist vergleichbar mit der *Initial Contact Pose* und beschreibt das erste Berühren des Fußes mit dem Boden. Gleichzeitig gilt die Höhe der Figur in dieser Position als Referenz für die nachfolgenden Posen.

Je nach der Vorliebe des Animators wird der zu animierende Charakter anschließend für die *Passing* oder *Down Pose* ausgerichtet. Die *Passing Pose* bietet den Vorteil, dass sie sich auf derselben Höhe befindet wie die *Contact Pose* und daher nur Arme und Beine neu positioniert werden müssen, während die *Down Pose* den logischen Nachfolger der *Contact Pose* darstellt. Die **Down Pose** ist vergleichbar mit der *Loading Response Pose*, bei der durch das Verlagern des Gewichts auf den Fuß, der gesamte Körper etwas einsinkt. In der Animation wird dieses Abfedern des Gewichts durch das Heruntersetzen der Hüfte und damit des gesamten Oberkörpers erzeugt.

Die folgende **Passing Pose** beschreibt den Zustand, bei dem der vordere Fuß auf derselben Höhe wie der, sich in der *Swing Phase* befindende, hintere Fuß ist. Sie ist vergleichbar mit der zuvor beschriebenen *Midstance*. In der Kombination mit der *Contact Pose* kann durch diese beiden Posen bereits ein rudimentärer Walk Cycle erstellt werden. Dabei werden die beiden Posen nacheinander abgespielt und anschließend deren invertierte Darstellung ergänzt, um einen vollständigen Zyklus zu erzeugen.

Die letzte der vier zu animierenden Posen ist die **Up Pose**. Sie ist der Nachfolger der *Passing Pose* und beschreibt das Abstoßen mit dem Standfuß vom Boden, während der andere Fuß sich im letzten Drittel der *Swing-* oder der *Contact Phase* befindet. Wie beim *Terminal Stance* beschrieben, ist der Charakter in dieser Position an der höchsten Stelle innerhalb der Gehbewegung angelangt und fällt anschließend, beim nach vorne Ziehen des Beines, wieder bis auf die Höhe der *Contact Pose* ab. Durch die Stärke des Impulses beim Abstoßen, wird dabei die Geschwindigkeit des Charakters, sowie die energetische Ausstrahlung beim Gehen maßgeblich beeinflusst.

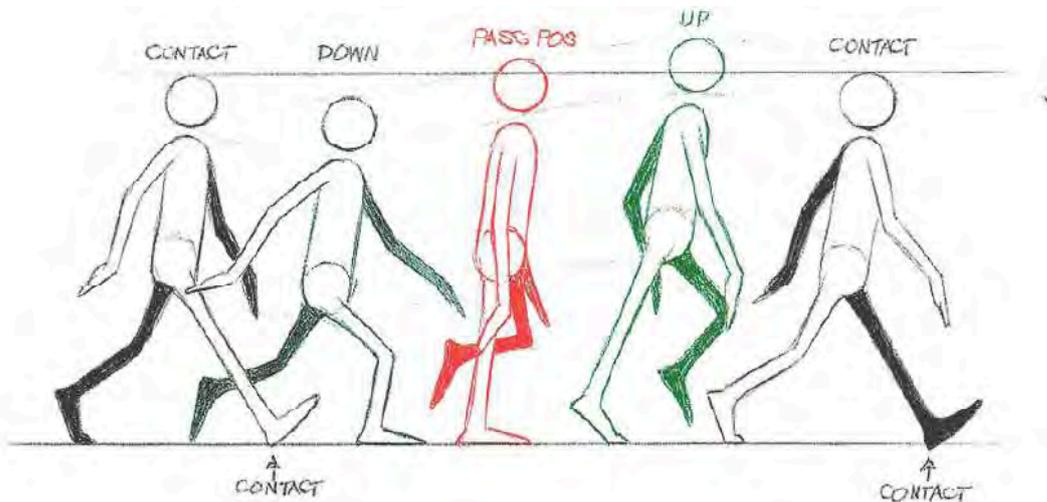


Abbildung 3.2: Die vier Phasen eines Walk Cycles (<http://tharosthedragon.blogspot.com/2015/02/animation-tips-from-programmer-how-to.html> Stand: 20.05.2019)

3.2.2 Herausforderungen bei der Integration in eine Szene

Eine geläufige Praktik in der Animation ist es, den Walk Cycle separat zu animieren und anschließend in die gegebene Szene zu integrieren. Eine Herausforderung stellt in diesem Zusammenhang die Übereinstimmung der Gehbewegung mit der auf dem Untergrund zurückgelegten Distanz dar. Nicht selten führt dies dazu, dass die Füße eines Charakters über den Boden gleiten und der Eindruck einer festen Verankerung mit dem Boden verloren geht. Um diesen Effekt zu vermindern, gibt es mehrere Möglichkeiten. Eine der geläufigsten in der 2D Animation ist es, den Charakter auf der selben Position im Bild zu belassen und stattdessen den Hintergrund zu bewegen. Alternativ hierzu, kann die Position des Charakters bei jedem Gleiten über den Grund manuell angepasst oder der ganze Walk Cycle im Vorhinein an die Position in der Szene justiert werden.

3.3 12 Principles of Animation

Die 12 Principles of Animation [TJ81] sind eine 1981 veröffentlichte Zusammenstellung der wichtigsten Erkenntnisse der führenden Animatoren von Disney, um realistische Animationen von Charakteren mit Persönlichkeit zu erzeugen. Neben der Berücksichtigung einiger physikalischer Prinzipien, werden vor allem Möglichkeiten aufgezeigt, mit denen, durch die Art und das Timing der Animation, der Charakter dem Betrachter als lebendiges Wesen präsentiert werden kann. Diese Prinzipien haben bis heute Bestand und kommen gerade in der Keyframe-Animation, die auch Teil dieser Arbeit ist, besonders häufig zum Einsatz. Nachfolgend werden daher alle Prinzipien, soweit möglich, anhand der für diese Arbeit relevanten Gehbewegung eines Menschen erläutert.

3. GRUNDLAGEN

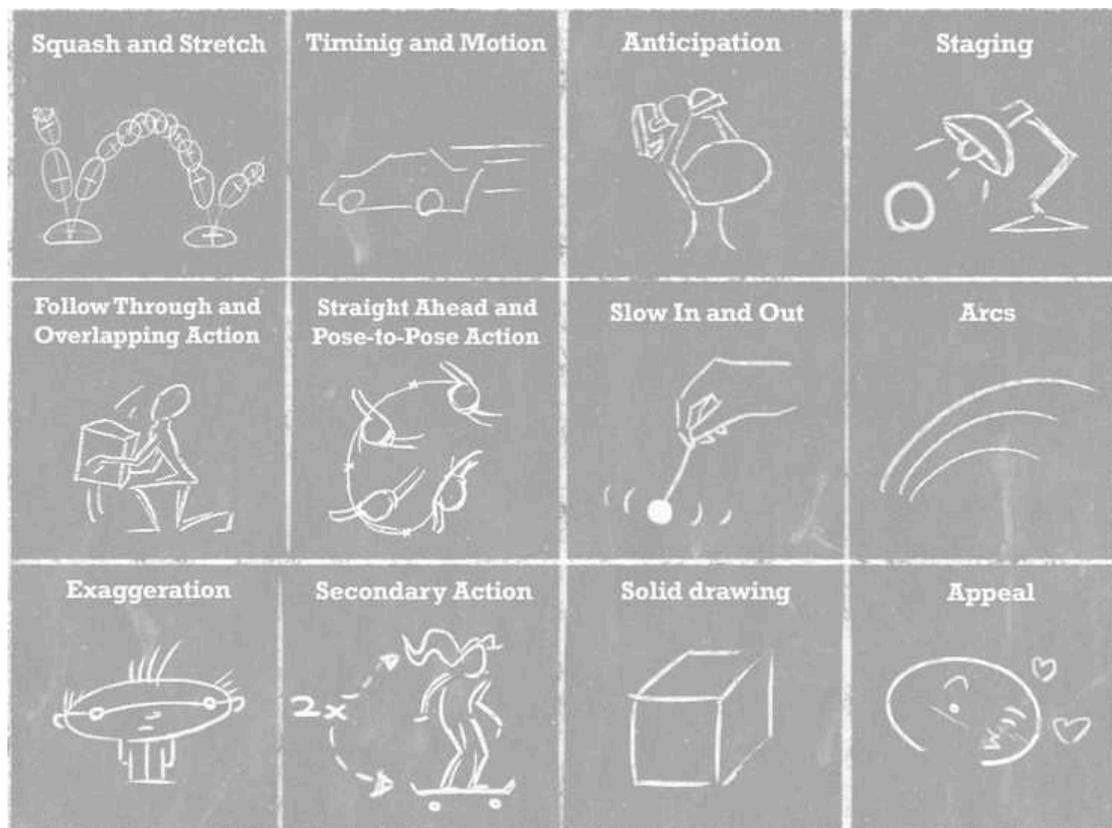


Abbildung 3.3: Die 12 Principles of Animation (<https://kryptonians.net/2017/01/05/the-twelve-principle-of-animation/> Stand: 20.05.2019)

3.3.1 Squash and Stretch

Durch das Zusammendrücken und Strecken eines Objektes während der Bewegung, kann diesem ein Gefühl von Geschwindigkeit und Gewicht zugeordnet werden. Das bekannteste Beispiel in diesem Zusammenhang ist ein Ball, der auf den Boden fällt. Durch das in die Länge Ziehen des Balles während des Fallens, kann das Gefühl von Geschwindigkeit betont werden. Während des Zusammendrückens des Balles beim Auftreffen auf den Boden, wird dem Zuschauer ein Gefühl für die Dichte, beziehungsweise Elastizität des Objekts gegeben. Somit ist es möglich, Rückschlüsse auf das Gewicht zu ziehen. Beachtet werden muss dabei die physikalische Grundlage, dass das Volumen des sich verändernden Objekts konstant bleibt. In der Charakteranimation wird diese Technik vor allem eingesetzt, um ein Gefühl für Geschwindigkeit und Kräfte zu vermitteln oder bestimmte Aspekte einer Bewegung zu betonen. (Siehe 3.3.10 Exaggeration)

3.3.2 Anticipation

Die Vorbereitung einer Aktion durch eine vorgelagerte, gegenläufige Bewegung, lässt die eigentliche Aktion für das Publikum plausibler und ausdrucksstärker erscheinen. Bevor ein Charakter beispielsweise springt, sollte er zuerst in die Hocke gehen, um Energie für den eigentlichen Sprung aufzubauen. Durch diese einleitende Bewegung kann der Zuschauer besser erahnen, was als nächstes passiert und nachvollziehen, woher die Energie für den Sprung stammt. Beim Walk Cycle kann *Anticipation* eingesetzt werden, um zum Beispiel das Abstoßen vom Boden einzuleiten, indem die Ferse durch den Druckaufbau zuerst nach unten gedrückt wird. In einer abstrakten Form kann diese vorgelagerte Bewegung auch eingesetzt werden, um den Blick des Publikums auf einen bestimmten Bildausschnitt zu richten. Schaut ein Charakter zum Beispiel in eine bestimmte Ecke, so liegt der Fokus der Zuschauer anschließend ebenfalls auf dieser.

3.3.3 Staging

In der Animation ist es wichtig, den Blick des Zuschauers so zu leiten, dass die Aufmerksamkeit jederzeit auf dem wichtigsten Ausschnitt innerhalb einer Szene liegt und das Gezeigte klar und verständlich ist. Hiermit im Zusammenhang ist vor allem die Positionierung der Handlung innerhalb des Bildausschnitts, sowie das Timing, zu dem eine Handlung passiert, von großer Bedeutung. In Anlehnung an die in dieser Arbeit erstellten Walk Cycles besagt das *Staging*, dass zu jeder Zeit der gesamte Charakter in seiner Bewegung zentriert sichtbar und keine ablenkenden Elemente im Hintergrund der Szene enthalten sein sollten, um den Fokus vollständig auf die Bewegung des Charakters zu legen.

3.3.4 Straight ahead action and pose to pose

Straight ahead und *pose to pose* sind zwei unterschiedliche Methoden zur Animation von Zeichnungen. Während beim *straight ahead* Ansatz vom Anfang bis zum Ende der Animation alle Bilder nacheinander gezeichnet werden, werden bei *Pose to Pose* zuerst Schlüsselposen zwischen der Start- und Zielpose definiert und anschließend die Lücken zwischen den einzelnen Posen gefüllt. *Straight ahead* ist vor allem für unvorhersehbare oder dynamische Bewegungen wie Flammen, Wasser oder eine Flagge im Wind geeignet. *Pose to Pose* hingegen bietet dem Animator mehr Kontrolle über das Aussehen des Objekts oder Charakters zu einer bestimmten Zeit und damit über den gesamten Bewegungsverlauf der Animation. Es wird zwischen drei verschiedenen Arten von Posen unterschieden. *Keys* repräsentieren dabei die Start- und Endpose einer Animation. *Extremes* bilden die signifikantesten Posen im Bewegungsablauf zwischen den *Keys*. *Breakdowns* konkretisieren anschließend das Verhalten zwischen den einzelnen *Extremes* und bilden, gemeinsam mit den anderen Posen, die Vorlage für das Ergänzen der *Inbetweens*, um eine flüssige Bewegung in der fertigen Animation zu erzeugen.

In der computerbasierten Animation entfällt diese Unterteilung in unterschiedliche Arten von Posen und man beschränkt sich auf das Ausrichten der Charaktere nach den *Extremes*. Das Füllen der Lücken wird hierbei durch die Interpolation der Animationssoftware automatisch

übernommen. Eine Ausnahme hiervon bildet das sogenannte *Blocking*, das als erster Schritt in der Produktion aufwendiger Pose to Pose Animation, vor allem im 3D-Bereich, zum Einsatz kommt. Die einzelnen Blöcke sind dabei mit den ursprünglichen *Keys* zu vergleichen und auf eine Interpolation zwischen den einzelnen Posen wird bewusst verzichtet, um den Fokus auf die Posen der Charaktere während der Vollführung der Bewegung zu legen. Die Pose to Pose, beziehungsweise Keyframe Animation, stellt bis heute die am weitesten verbreitete Form der Animation, sowohl im 2D als auch 3D Bereich, dar.¹

3.3.5 Follow through and overlapping action

Um Bewegungen natürlicher wirken zu lassen, sollten diese den Regeln der Physik entsprechen. *Follow through and overlapping action* beschreiben, wie diese Regeln im Bezug auf lose, mit dem zu animierenden Objekt verbundene Dinge angewendet werden sollten, um die Bewegung organischer wirken zu lassen.

Follow through beschreibt, dass Teile eines Körpers ihre Bewegungen fortsetzen, nachdem der Hauptkörper zum Stillstand gekommen ist und erst nach einer gewissen Zeit in ihre Ursprungsposition zurückkehren. Beim Walk Cycle kann diese Technik zum Beispiel an Haaren, Kleidung oder Armen angewendet werden. Durch das Nachschwingen der Arme, während die Schulter ihre Rotationsrichtung bereits umgekehrt hat, entsteht der Eindruck von Momentum und trägt somit zur allgemeinen Glaubwürdigkeit der Bewegung bei.

Overlapping action definiert die Differenz zwischen der Bewegung des Hauptkörpers und des mit ihm verbundenen Objekts. Am Beispiel der Armbewegung während eines Walk Cycles, ist dies der Unterschied in der Geschwindigkeit und Position der Hände relativ zur Schulterrotation. Ein weiteres physikalisches Prinzip, das in diesem Zusammenhang häufig zum Einsatz kommt, ist die Trägheit (*drag*) eines Objekts. Sie beschreibt das Verzögern des Starts einer Bewegung relativ zu der des Hauptkörpers, von dem diese ausgeht. Zieht man zum Beispiel an einer Schnur, an der ein Ball befestigt ist, so bewegt sich der Ball durch seine Trägheit erst wenige Augenblicke, nachdem an der Schnur gezogen wurde. Beim Walk Cycle kann durch die Anwendung dieser Technik zum Beispiel den Armen oder Haaren ein Gefühl von Steifigkeit gegeben werden.

3.3.6 Slow in and slow out

Die Bewegungen von Menschen und Tieren beginnen langsam, bevor sie an Geschwindigkeit gewinnen und werden zum Ende der Bewegung hin zunehmend langsamer, bis sie letztlich zum vollständigen Stillstand gelangen. *Slow in and slow out* beschreibt die Nachbildung dieses Ablaufs für die Animation von Objekten und im besonderen Charakteren. In der digitalen Animation wird dieses Verhalten über die Veränderung der sogenannten *Motioncurves* realisiert, die den Wert einer Eigenschaft, wie der Position, zu einer bestimmten Zeit abbilden. Durch die Veränderung des Interpolationsverfahrens zwischen den einzelnen Keyframes von *linear* zu *spline* / *Bézier* verändert sich die *Motioncurve*, sodass die Wertveränderung in

¹http://minyos.its.rmit.edu.au/aim/a_notes/anim_pose.html (Stand: 13.04.2019)

der Mitte zweier Keyframes am höchsten ist und mit Annäherung an einen Keyframe stetig kleiner wird.

Bei einem Walk Cycle ist der Einsatz dieser Technik besonders deutlich an den mitschwingenden Armen wieder zu finden. Sie erreichen ihre höchste Geschwindigkeit zwischen den beiden Extremes, bei denen sie am weitesten nach vorne, beziehungsweise nach hinten gerichtet sind. Die Geschwindigkeit nimmt von der Mitte aus kontinuierlich ab und bei der Entfernung von der Extreme-Pose weiter zu.

3.3.7 Arc

Durch die Beobachtung der Bewegungsabläufe vieler unterschiedlicher Wesen wurde festgestellt, dass diese dazu tendieren, sich zur Vollziehung einer Bewegung einem kreisförmigen Pfad anzunähern. In der Animation wird diese Erkenntnis eingesetzt, um die Bewegungen zwischen den einzelnen Keyframes ebenfalls als einen kreisförmigen Bewegungsverlauf abzubilden. Ohne die Berücksichtigung dieses Prinzips wirken Animationen mechanisch und steif. Gewollt ist dies meist nur bei der Animation von beispielsweise Maschinen, die auch in der realen Welt dazu tendieren, sich nach diesen linearen Abläufen zu bewegen.

Bei einem Walk Cycle wird das Konzept der kreisförmigen Bewegungsabläufe auf alle Teile der Animation angewendet, um ein möglichst lebensechtes Ergebnis zu erzielen.

3.3.8 Secondary Action

Durch das Ergänzen weiterer Animationen, die die Handlung der Hauptbewegung unterstützen, kann mehr Tiefe erzeugt werden. Am Beispiel eines Walk Cycles stellt die Bewegung der Beine die Haupthandlung dar, während alles, was vom Oberkörper, sowie den Armen und dem Kopf ausgeht, als *Secondary Action* beschrieben werden kann. Sie unterstützen die Hauptbewegung und geben dieser mehr Charisma und Ausdruck.

Im Gegensatz zur *Overlapping Action* ist die *Secondary Action* eine eigenständige Bewegung, die die Hauptbewegung unterstützt und sich nicht in Abhängigkeit von ihr verändert. Selbst wenn sich ein Charakter nicht bewegt, so sollte über die *Secondary Action* eine leichte Bewegung des Körpers zu jeder Zeit sichtbar sein, um den Anschein einer lebendigen Figur zu wahren.

3.3.9 Timing

Wie lange einzelne Bilder einer Animation sichtbar sind und wie stark sie sich vom vorhergehenden Bild unterscheiden, beeinflusst maßgeblich die Geschwindigkeit der Bewegung und damit auch, wie diese wahrgenommen wird. Durch die konstante Bildwiederholrate in Filmen beeinflusst die Anzahl der Bilder zugleich auch die Länge und damit die Geschwindigkeit einer Animation. Eine aus 10 Bildern bestehende Bewegung erscheint dadurch doppelt so schnell wie eine, die aus 20 Bildern besteht. Durch den Einsatz unterschiedlich vieler Bilder zur

Abbildung einer Bewegung kann diese vollkommen unterschiedlich wahrgenommen werden. Bei einem Walk Cycle kann so zum Beispiel ein gewöhnlicher Lauf durch die Verwendung weniger Bilder zu einem gehetzt wirkenden verändert werden.

In der Filmbranche gelten 24 Bilder pro Sekunde als Standard. Je nachdem wie viele unterschiedliche Bilder innerhalb dieser Sekunde gezeigt werden, bezeichnet man diese in der Animation unterschiedlich. Die bekanntesten Verfahren stellen hierbei *Drawing On Ones*, bei der für jedes gezeigte Bild ein neues gezeichnet wird und *Drawing On Twos*, bei der jedes gezeichnete Bild für zwei Bilder im Film bestehen bleibt. *Drawing On Twos* kommt durch den deutlich reduzierten Aufwand und als Stilmittel noch heute beispielsweise in der Serie „South Park“² oder im Film „Spider-Man: A New Universe“³, der 2019 mit dem Oscar als bester animierter Spielfilm ausgezeichnet wurde und damit die sechs jährige Siegesserie von Disney unterbrach⁴, zum Einsatz. In der digitalen Keyframe Animation entfällt durch die Interpolation diese Unterteilung, da für jedes Bild, das nicht von einem Keyframe definiert ist, automatisch ein *Inbetween* erstellt wird.

3.3.10 Exaggeration

Die überzeichnete Darstellung von Bewegungen ist ein oft genutztes Werkzeug in der Animation, um dem Effekt des langweilig Aussehens einer Animation entgegen zu wirken, der vor allem bei der Imitation einer realen Bewegung häufig auftreten kann. Je nachdem wie ausgeprägt die Übertreibung eingesetzt wird, können hierdurch künstlerische oder real anmutende Bewegungen erzeugt werden. Im Falle der Autoren der 12 Principles of Animation [TJ81] dient der Einsatz von *Exaggeration* bei der Animation der Disney Charaktere, um deren Handlungen überzeugender aber weiterhin der Realität treu bleibend darzustellen.

Beim Walk Cycle gibt es viele Möglichkeiten dieses Prinzip anzuwenden. So kann beispielsweise durch das Herausstrecken der Brust oder das Schleifen lassen der Arme über den Boden, der Stil der Gehbewegung verändert werden.

3.3.11 Solid drawing

Beim Prinzip des *Solid drawing* geht es um das Bewusstsein des Animators für Volumen, Gewicht und Balance bei der Animation von Figuren im dreidimensionalen Raum. Durch Kenntnisse und Erfahrungen in diesem vor allem illustrativen Bereich, soll der Animator ein Gespür für Perspektive, Licht und Schatten entwickeln, auf das er anschließend bei der Animation zurückgreifen kann, um diese weiter zu verbessern. Auch beschreiben die Autoren in diesem Zusammenhang, dass der Einsatz von symmetrischen Linien und dem sogenannten *Twinning*, bei dem beide Seiten einer Figur dieselbe Bewegung vollführen, vermieden werden sollte, um die Lebendigkeit eines Charakters zu erhalten.

²<https://www.imdb.com/title/tt0121955>

³<https://www.imdb.com/title/tt4633694/>

⁴<https://variety.com/2019/film/news/spider-man-into-the-spider-verse-wins-oscar-best-animated-film-1203145826/>

3.3.12 Appeal

Ein Charakter sollte neben der Animation auch in seiner Darstellung für den Zuschauer interessant und ansprechend aussehen. Dabei ist es weniger von Relevanz eine bestimmte Definition von Schönheit zu erreichen, die den Vorstellungen des Zuschauers entspricht, sondern dem Charakter, durch die Hervorhebung bestimmter Merkmale, ein interessantes und außergewöhnliches Aussehen mit Wiedererkennungswert zu geben. Durch die Variation der Merkmale sollten sich darüber hinaus die Aspekte, die einen Charakter prägen und ausmachen, in seinem Erscheinungsbild widerspiegeln.

3.4 Character Rigging

Der Prozess des Riggings beschreibt die Erstellung von Strukturen und Möglichkeiten, über die der Animator die Bewegungen des Charakters bestimmen kann. Das *Character Rigging* ist ein fester Bestandteil jeder Animations-Pipeline und ermöglicht erst die effiziente Animation von Charakteren. Die wichtigsten Schritte bei der Erstellung eines Rigs werden nachfolgend vorgestellt, um einen besseren Einblick in die einzelnen Themengebiete des Prozesses zu bieten.

Um modellierte oder illustrierte Figuren und Charaktere entsprechend ihrer Anatomie und physikalischer Gesetze bewegen und verformen zu können, gilt es im Vorhinein entsprechende Strukturen zu erstellen, über die der Animator letztlich die Bewegung des *Meshes* kontrollieren kann. Beim Aufbau dieser Strukturen wird beim Rigging ein Skelett aus Knochen (*Bones*) und Gelenken (*Joints*) erstellt, das je nach Möglichkeit dem realen Vorbild oder dem zu animierenden Modell selbst, nachempfunden ist. Wie bei einer Marionette beschränkt man sich auf die Strukturen, die für die Vollziehung einer Bewegung relevant sind.

Nach der Erstellung des Skeletts folgt die Verknüpfung mit dem zu animierenden Modell. Während im 2D Bereich hierfür auf Werkzeuge zur Verformung, wie beispielsweise *Puppet Pins*, oder die Verknüpfung von Positions-, Skalierungs- und Rotationsparametern mit dem Skelett zurückgegriffen wird, werden im 3D Bereich die entsprechenden Oberflächen mit dem korrespondierenden Skelettteil verknüpft. Das sogenannte *Skin-Weighting* beschreibt in diesem Zusammenhang den Einflussbereich eines Skelettteils auf die Oberfläche des Modells.

Während, durch die Erstellung des Skeletts, vor allem die grundlegenden Bewegungen eines Charakters kontrolliert und definiert werden können, sind für die Animation auch Möglichkeiten zur Kontrolle von Muskelgruppen von großer Bedeutung, um zum Beispiel die Mimik eines Charakters zu beeinflussen. Da diese Bewegungen nicht auf der Bewegung von Knochen basieren, werden zur Realisierung auf virtuelle Muskelsysteme oder *Deformatoren*, die in einem bestimmten Wirkungsbereich die Oberfläche des Modells verändern (Siehe Abbildung 2.1), zurückgegriffen. Dem Animator werden letztendlich Controller zur Verfügung gestellt, über die er, in einer möglichst intuitiven Form, die einzelnen Strukturen und Eigenschaften des Rigs nutzen kann, um über diese Einfluss auf die Pose des Modells zu nehmen. In Bezug auf zusammenhängende Gliedmaßen, wie Arme und Beine, haben sich mit der vorwärts-

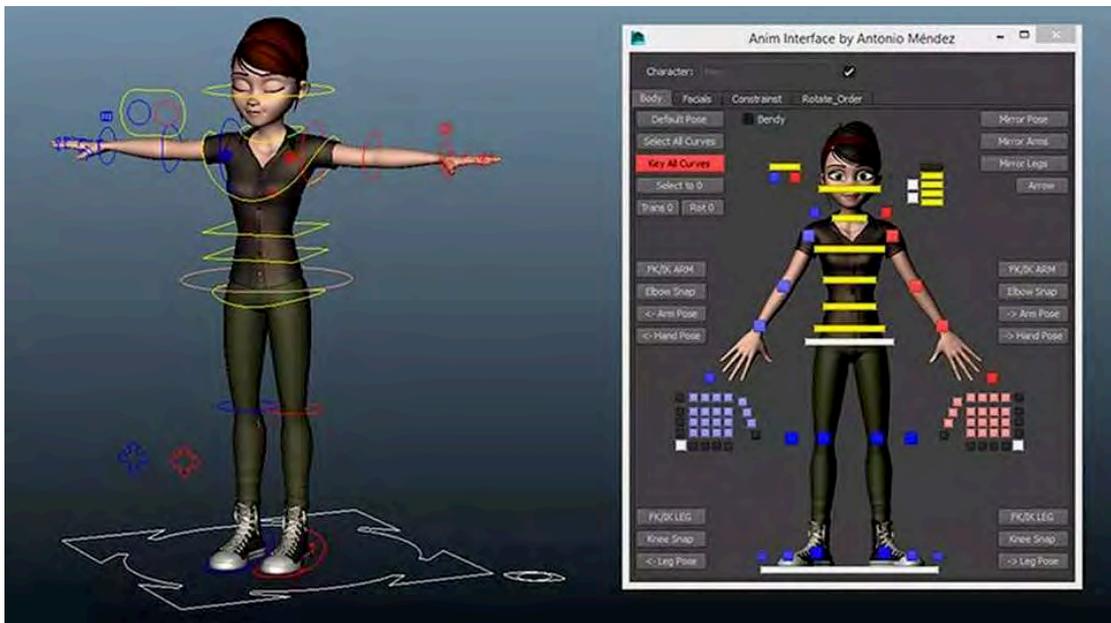


Abbildung 3.4: 3D Character-Rig mit Controllern und Controll-Panel (<http://www.cgmeetup.net/home/mery-rig-free-maya-character-rig-female-character-rig/> Stand: 20.05.2019)

und rückwärtsgerichteten Kinematik, dabei zwei unterschiedliche Konzepte etabliert, nach denen sich, über ein Gelenk miteinander verbundene Glieder, auf unterschiedliche Weisen vom Animator kontrollieren lassen.

3.4.1 Vorwärtsgerichtete Kinematik

Die Verbindungen der Knochen und Gelenke in einem Rig erzeugen eine kinematische Kette, durch die sich die Bewegung einzelner Gelenke auf die Position aller damit verbundenen Knochen und Gelenke auswirken. Bei der vorwärtsgerichteten Kinematik, oft auch *Forward Kinematic* oder kurz *FK* genannt, werden bei der Bewegung eines Gelenks alle hierarchisch darunter liegenden Elemente der Kette ebenfalls beeinflusst.

Verdeutlicht werden kann dieses Vorgehen zum Beispiel am Modell eines menschlichen Armes, bestehend aus Schulter, Oberarm, Unterarm und Hand. Die Schulter ist in diesem Fall das höchste Glied in der Hierarchie und beeinflusst bei einer Bewegung alle darunterliegenden Elemente. Die Position des Oberarms, Unterarms und der Hand sind damit abhängig von der Rotation der Schulter, während die relative Position dieser untergeordneten Glieder zueinander konstant bleibt, solange keines dieser Gelenke ebenfalls seine Position verändert. Eine zusätzliche Rotation des Ellbogens wirkt sich somit nur auf die darunterliegenden Elemente, also den Unterarm und die Hand aus, während der Oberarm und die Schulter durch die höhere Ordnung in der Hierarchie nicht beeinflusst werden.

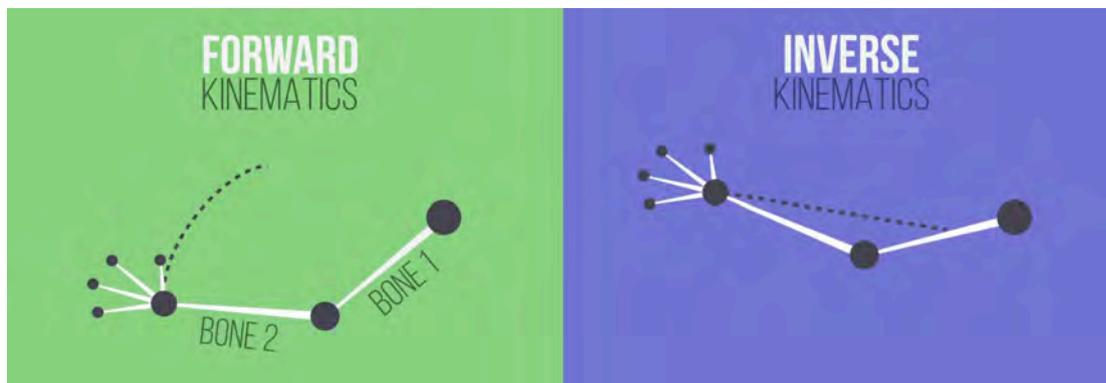


Abbildung 3.5: Vorwärts- und rückwärtsgerichtete Kinematik (Die Überschriften des Bildes wurden gegenüber dem Originalbild verkleinert und neu positioniert. <https://youtu.be/0a9qlj7kwiA?t=161> Stand: 20.05.2019)

In der Charakter-Animation wird diese Technik oft eingesetzt, um beispielsweise ganze Charaktere über einen Controller bewegen zu können. Hierbei wird als oberstes Element in der Hierarchie ein entsprechend verschiebbarer Controller genutzt, über den alle darunter liegenden Teile des Rigs automatisch mitbewegt werden. Bei der späteren Animation nach dem Pose to Pose Verfahren kommt die vorwärtsgerichtete Kinematik zur Animation der Arme, beziehungsweise beim Motion Capture sowohl für die Arme, als auch die Beine zum Einsatz.

3.4.2 Rückwärtsgerichtete Kinematik

Das Konzept der rückwärtsgerichteten Kinematik, meist auch *Inverse Kinematic* oder *IK* genannt, baut auf dem selben zuvor bereits beschriebenen Prinzip der kinematischen Verkettung auf. Im Gegensatz zum *FK* verläuft aus der hierarchischen Sicht beim *IK* die Weitergabe der Bewegungen genau entgegengesetzt. Am Beispiel des Modells eines Arms bedeutet dies, dass nun sowohl der Unter- als auch Oberarm in Abhängigkeit von den Bewegungen der Hand gesteuert werden.

In der Praxis bietet dieses Verhalten vor allem Vorteile, wenn es darum geht, das Ende einer kinematischen Kette zielgerichtet an eine bestimmte Position zu bewegen, beispielsweise um eine Hand nach etwas greifen zu lassen. In diesem Fall entfällt gegenüber dem *FK*-Verfahren die separate Animation jedes Gelenks, da alle Gelenke der Kette sich über einen Algorithmus automatisch in Abhängigkeit der Bewegungen der Hand ausrichten.

Durch die Reduzierung der Komplexität für den Animator steigt in Relation hierzu der Rechenaufwand, um über einen Algorithmus die einzelnen Gelenkpositionen, beziehungsweise Rotationen zu bestimmen. Auch kann es vorkommen, dass die Richtung, in die ein Gelenk einknickt, manuell definiert werden muss, wenn sich der Abstand zwischen dem führenden

Element, in diesem Beispiel die Hand, und dem obersten Glied der Kette, in unserem Fall die Schulter, verkürzt.

3.5 2D Animationstechniken

Da sich diese Arbeit im weiteren Verlauf vor allem mit der Animation im zweidimensionalen Bereich beschäftigt, werden nachfolgend die typischen Methoden und Techniken vorgestellt, mit denen klassische Bilder und Illustrationen im zweidimensionalen Rahmen animiert werden. Mit Ausnahme der Frame by Frame Animation wird mittlerweile auch in diesem Bereich häufig auf Rigs für die Animation zurückgegriffen. Je nach Software und Art der Illustration gibt es verschiedene Methoden zur Bewegung und Anpassung dieser. Zu den geläufigsten Softwarelösungen, die in diesem Bereich eingesetzt werden, gehören *After Effects*⁵, *Toon Boom Harmony*⁶ und *Moho*⁷, das ehemals *AnimeStudio* hieß⁸. Alle unterstützen dabei sowohl raster-, als auch vektorbasierte Illustrationen und sind ebenenbasiert aufgebaut.

3.5.1 Frame by Frame

Trotz, im Vergleich zur Keyframe Animation, immensem Aufwand werden noch immer Filme im klassischen Frame by Frame Verfahren animiert, bei dem jedes Bild einzeln gezeichnet und durch die schnelle Abfolge vieler einzelner Bilder, mit kleiner Veränderung, der Eindruck einer flüssigen Bewegung entsteht. Neben den großen Freiheiten in der Gestaltung der Bewegung können beim Frame by Frame Ansatz künstlerische Stile und Effekte umgesetzt werden, die mit den zur Verfügung stehenden, modernen Techniken nur schwer oder gar nicht realisierbar sind. Eines der bekanntesten Beispiele der letzten Jahre aus dem 2D-Bereich stellt das Projekt „Loving Vincent“⁹ dar. 125 Maler aus der gesamten Welt haben im Rahmen der Produktion des Films 65.000 Ölgemälde im Stile von Vincent van Gogh erstellt, um so seine Lebensgeschichte und die Umstände seines Todes in einem Film aufzugreifen. Damit die Animationen lebhaft und realitätsnah wirken, wurde auf das ursprünglich von Max Fleischer entwickelte Prinzip der Rotoskopie [Fle] zurückgegriffen, bei der eine reale Aufzeichnung der Darsteller als Referenz für die Zeichnung dient.

3.5.2 Key Frame Animation

Wie bereits in 3.3.4 „Straight ahead action and pose to pose“ beschrieben, gilt die Keyframe Animation als die am weitesten verbreitete und vorherrschende Form der Animation. Durch den Wegfall einer Dimension gegenüber der Animation im dreidimensionalen Raum, können

⁵https://www.adobe.com/Creative_Cloud/AfterEffects

⁶<https://www.toonboom.com/products/harmony>

⁷<https://my.smithmicro.com/anime-studio-pro.html>

⁸<https://www.smithmicro.com/company/news-room/press-releases/2016/08/10/smith-micro-s-new-moho-12-formerly-anime-studio-delivers-cutting-edge-animation-and-convenience-for-professionals-and-workgroups> (Stand: 23.04.2019)

⁹<https://www.imdb.com/title/tt3262342/>



Abbildung 3.6: Loving Vincent Behind the Scenes (<https://twitter.com/saoirseneews/status/789978064818089984> Stand: 20.05.2019)

deutlich schneller ansprechende Ergebnisse erzielt werden. Auch wenn in vielen Produktionen mittlerweile auf Umsetzungen in 3D gesetzt wird, deckt der Bereich der 2D Keyframe Animation weiterhin weite Teile der in Videos eingesetzten Animation ab.

Vektor / Bézierkurven-Modifizierung

Vektorgrafiken bieten durch ihre beschreibende Form eine hohe Flexibilität und können verlustfrei skaliert werden, ohne zusätzlichen Speicherplatz zu benötigen. Zusammen mit dem seit Jahren anhaltenden Trend, vor allem im UX-Design, auf abstrakte, flache, zweidimensionale Formen zu setzen, gehören Vektorgrafiken zu einem etablierten Medium, das auch für die Illustration von Charakteren häufig zum Einsatz kommt. Die Form eines Charakters besteht dabei aus einzelnen Primitiven, Punkten, oder aus Punkten zusammengesetzten Pfaden, deren Verlauf über die, von Bézierkurven bekannten Kontrollpolygone, zusätzlich beeinflusst werden können. Die farbliche Beschreibung erfolgt über das Füllen, der von einem Pfad aufgespannten Fläche oder der Kontur eines Pfades, dessen Breite variiert werden kann.

In der Animation werden diese einzelnen, beschreibenden Komponenten genutzt, um sie über einen zeitlichen Verlauf zu verändern und so eine Bewegung zu erzeugen. Ein Bein eines Charakters kann zum Beispiel als eine aus drei Punkten bestehende Linie definiert werden. Während der erste und letzte Punkt den Anfang und das Ende des Beins, sowie die Breite definieren, repräsentiert der mittlere Punkt das Knie. Für die Animation kann die Position der einzelnen Punkte zueinander verändert werden, um das Bein in die gewünschte Pose zu bringen. Je nach Aufbau ist es hiermit auch möglich, über die Kontrollpolygone sowohl abknickende, als auch sich biegende Gelenke zu erstellen, um einen anderen Stil zu erhalten und Punkte oder Formen mit einem Rig verknüpfen zu können. In dieser Arbeit wird ebenfalls auf Vektorgrafiken für die Charaktererstellung zurückgegriffen, um diese anschließend mit einem Rig zu verknüpfen und zu animieren.

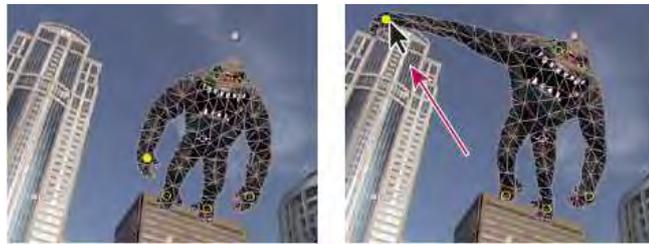


Abbildung 3.7: Animation mit Marionettenwerkzeugen (<https://helpx.adobe.com/de/after-effects/using/animating-puppet-tools.html> Stand: 20.05.2019)

3.5.3 Verformung von Illustrationen

Im Gegensatz zu Vektorgrafiken ist die Verformung von Rastergrafiken nur über Verzerrungsfilter möglich und bietet nur begrenzte Anpassungsmöglichkeiten. Einer der am häufigst genutzten Filter, der zur Verformung von Illustrationen eingesetzt wird, ist das *Marionettenwerkzeug*. Über ein Drahtgittergeflecht, das die gesamte Grafik überspannt und als Bindeglied zwischen der Deformation und der zu deformierenden Grafik fungiert, können lokale Änderungen vorgenommen werden, die über das Gitter auf die Illustration übertragen werden. Über die sogenannten Pins, die im Gitter platziert werden, kann auf unterschiedliche Weise Einfluss auf die Verformung genommen werden. Jeder Pin hat dabei einen Einflussbereich und kann Translationen, Rotationen, Streckungen oder Stauchungen definieren. Bei Überlappungen kann darüber hinaus auch bestimmt werden, welcher Teil sichtbar ist.

Zum Einsatz kommen *Deformationsfilter* bei der Animation von Charakteren, um bestimmte Körperteile bei einer Bewegung in ihrer Form zu verändern. Durch ihren hohen Rechenaufwand und vergleichsweise schwierige Handhabung, ist diese Methode nur in seltenen Fällen, bei denen die zu animierende Figur auf einer einzigen Ebene liegt, für die Animation eines gesamten Charakters geeignet.

3.5.4 Cutout Animation

Das Unterteilen in einzelne Körperteile, die anschließend an den Verbindungsstellen übereinander gelegt werden, ist eine häufig eingesetzte Technik, um Charaktere mit einem Rig im zweidimensionalen Raum zu verknüpfen und zu animieren. Die Unterteilung erfolgt dabei immer an den Gelenken, wobei beide Enden einen gemeinsamen kreisförmigen Abschluss besitzen, deren Zentrum den Mittelpunkt eines drehbaren Gelenks repräsentiert. Durch die Kreisform im Bereich zwischen zwei Körperteilen wird ein harmonischer Übergang geschaffen, der auch bei einer Rotation des Gelenks bestehen bleibt.

Die ursprüngliche Idee dieses Konzepts stammt vom Ausschneiden und Zusammenfügen einzelner Teile eines Objekts aus Papier oder Pappe, um deren Bewegung zu veranschaulichen. In der digitalen Animation werden statt physischer Materialien, sowohl Raster- als auch Vektorgrafiken eingesetzt. Im Gegensatz zur reinen Animation von Vektorgrafiken können

mit der *Cutout Animation* nur abknickende Gelenke erstellt werden, weshalb oftmals beide Techniken miteinander kombiniert werden.

3.6 Motion Capture

Die Abbildung der Bewegungsabläufe von realen Menschen in einer virtuell erstellten Welt stellt eine große Herausforderung in der Animation dar. Neben dem großen Zeitaufwand für das Erstellen der einzelnen Posen sind umfassende Kenntnisse und Erfahrung darin, wie sich ein Mensch bewegt, von Nöten, um einen digitalen Charakter mit natürlich wirkenden Bewegungen zu versehen. Motion Capture ist ein Werkzeug, das dazu entwickelte wurde, diese Schwierigkeiten zu überwinden, indem die Bewegungen eines real existierenden Darstellers zunächst aufgezeichnet und anschließend in eine virtuelle Welt überführt werden. Durch die Speicherung der Bewegungen, können diese für weitere Projekte ebenfalls wiederverwendet und so zusätzlich Zeit und Ressourcen eingespart werden. Wie realistisch die aufgezeichneten Bewegungen letztendlich sind, hängt dabei vor allem von der Genauigkeit der Bewegungserfassung und der Übertragbarkeit auf den virtuellen Charakter ab. Mit dem Einsatz von Motion Capture können im Vergleich zur *Key Frame Animation*, deutlich schneller [IAEN03] [Mou18] hoch komplexe Bewegungsabläufe erstellt werden, sobald die entsprechende Hard- und Software für die Aufzeichnung einsatzbereit ist. Einige Systeme unterstützen darüber hinaus die Projektion der aufgenommenen Bewegungen auf einen virtuellen Charakter in Echtzeit, um diese direkt überprüfen zu können.

Je nach System können die Bewegungen des Darstellers in unterschiedlicher Form festgehalten werden. Die meisten basieren auf optischen Verfahren, bei denen sie über teils spezielle Kameras aufgezeichnet und per Software analysiert und extrahiert werden. Der Einsatz von Inertialsensoren oder mechanischen Systemen zur Bewegungserfassung sind weniger populär. Unabhängig vom Verfahren teilen sich alle Motion Capture Systeme die Eigenschaft, dass diese nur physikalisch korrekte Abläufe aufzeichnen [RV16] und nur begrenzt für die Animation von Figuren, die in der realen Welt nicht existieren, eingesetzt werden können. In diesem Zusammenhang spielt das Retargeting, also die Übertragung von Bewegungsdaten auf die Proportionen und Skelettstruktur des Rigs eine wichtige Rolle, auf die im Abschnitt 2.1.3 „Rig-Anpassungen und Retargeting“ genauer eingegangen wird.

3.6.1 Optische Systeme

Optische, kameragestützte Motion Capture Systeme, gelten als die am weitesten verbreitete Technik zur Aufzeichnung von Bewegungen. Die Erfassung lässt sich dabei in zwei Schritte der Aufzeichnung der Bewegung, als optische Veränderung in einer Bildfolge und der Analyse dieser Veränderung per Software, um die eigentlichen Bewegungen aus der Aufnahme zu extrahieren, unterteilen. Konstante Lichtverhältnisse, ein hoher Kontrast zwischen Darsteller und Hintergrund und wenig reflektierende Oberflächen, sind für die einfachere Weiterverarbeitung der Daten zur Positionsbestimmung von hoher Wichtigkeit. Eine kurze Verschlusszeit und hohe progressive Bildrate sind ebenfalls von Vorteil, um Bewegungsunschärfe in den Aufnahmen zu reduzieren und damit die Genauigkeit bei der Erfassung zu erhöhen. Je

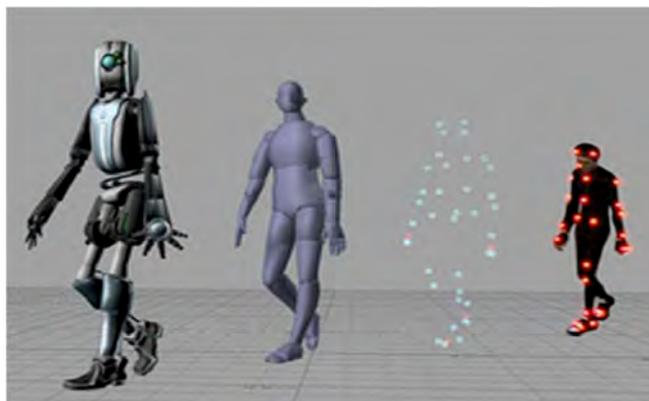


Abbildung 3.8: Optisches Motion Capture und die Übertragung auf Charaktermodelle (<http://modsim.metu.edu.tr/en/node/155> Stand: 20.05.2019)

nachdem, ob die Bewegungen im zwei oder dreidimensionalen Raum verfolgt werden, kommen mehrere synchronisierte Kameras zum Einsatz. Während für 3D Motion Capture häufig acht [Gf05] oder mehr um den Darsteller verteilte Kameras zum Einsatz kommen, genügen für eine Aufzeichnung im zweidimensionalen Raum meist eine oder zwei Kameras.

Marker-basiert

Um die Position der einzelnen Körperteile bei einer Aufzeichnung besser bestimmen zu können, werden spezielle reflektierende oder selbst leuchtende Markierungen, die an strategisch sinnvollen Positionen angebracht werden, eingesetzt. Durch die Verfolgung dieser erlangt man eine Abstraktion der Bewegung vom äußeren Erscheinungsbild des Darstellers. Die einzelnen Markierungen, die an einem eng anliegenden Anzug, den der Darsteller während seiner Performance trägt, befestigt sind, werden als digitale, dreidimensionale Wolke aus Punkten dargestellt, die anschließend mit dem Rig eines Charakters verknüpft werden kann. Der Vorgang von der Aufnahme bis zur Verwendbarkeit zur Animation eines Charakters lässt sich dabei in die fünf Schritte, *Initialization*, *Marker-Detection*, *Spatial-Correspondence*, *Temporal-Correspondence*, und *Post-Processing* unterteilen.

Initialization

Vor der ersten Aufnahme müssen bei der *Initialization* die Positionen der einzelnen Kameras im Raum, sowie das Verhalten der Linse, im Bezug auf Brennweite und Verzerrung, bekannt sein. Ein Referenzobjekt, das von allen Kameras simultan erfasst werden kann, dient dabei als Ausgangspunkt, um von diesem die Position der einzelnen Kameras und Eigenschaften der Linse festzustellen. Auf Basis dieser Daten können die Koordinaten der einzelnen Markierungen, im von den Kameras aufgespannten Weltkoordinatensystem, bestimmt werden.

Marker-Detection

Über Algorithmen und Filter werden im nächsten Schritt die 2D-Positionen der Marker im Bild jeder Kamera bestimmt. Um den Kontrast zwischen den Markern und den restlichen Bildteilen zu erhöhen, werden entweder passive Marker, die das Licht von einer in der Nähe der Kamera ausgehenden Lichtquelle mit möglichst wenig Streuung reflektieren oder aktive selbstleuchtende Marker eingesetzt. Letztere liefern eine noch höhere Genauigkeit, da das Licht eine kürzere Distanz zurücklegen muss und keine Energie bei der Reflektion verloren geht. Ist die Wellenlänge der Lichtquelle bekannt, können darüber hinaus die Kameras entsprechend angepasst werden, um nur diesen Wellenbereich aufzuzeichnen. Viele Systeme mit passiven Markern setzen auf Infrarotlicht und entsprechend hierfür empfindliche Bildsensoren. Bei selbstleuchtenden Markern kann über den Gebrauch unterschiedlicher Wellenlängen und Frequenzen eine Kodierung realisiert werden, durch die jeder Marker identifiziert werden kann, was die Zuordnung beschleunigt und erleichtert.

Spatial-Correspondence

Im nächsten Schritt werden Marker-Paare, die in mehreren Bildern gleichzeitig zu sehen sind, gesucht, um deren Position im dreidimensionalen Raum zu bestimmen. Durch die Triangulation mit den Positionen von mindestens zwei Kameras, kann so aus den Bildinformationen die exakte Position, einer am Anzug befestigten Markierung bestimmt werden. Als Ergebnis erhält man eine dreidimensionale Punktwolke für jedes Bild.

Temporal-Correspondence

Aus diesen einzelnen Punktwolken wird bei der *Temporal-Correspondence* eine zusammenhängende Bewegung erzeugt, durch die der Bewegungsablauf jeder Markierung über einen zeitlichen Verlauf ersichtlich wird.

Post-Processing

Im *Post-Processing* werden die einzelnen Marker mit Namen versehen, um diese einer bestimmten Körperpartie zuordnen zu können. In diesem Schritt werden auch Fehler bei der Erfassung korrigiert oder zusätzliche Bewegungen ergänzt, die vom Motion Capture nicht erfasst werden konnten. Beim *Solving* können für die Character Animation die einzelnen Translationsdaten in Gelenkrotationen überführt werden, um besser mit den Controllern des Rigs zu harmonisieren.

Algorithmus-basiert

Gegenüber der Marker-basierten Systeme entfällt bei der Algorithmus-basierten Erfassung jegliche Form von Markierungen oder speziellen Anzügen. Für die Erfassung dienen die Aufzeichnungen mehrerer Kameras, deren Bildinformationen nach übereinstimmenden Mustern untersucht werden, um so die einzelnen Objekte einer Szene voneinander zu unterscheiden und Rückschlüsse auf die vollzogene Bewegung zu ziehen. Den weitesten Vorstoß in diesem

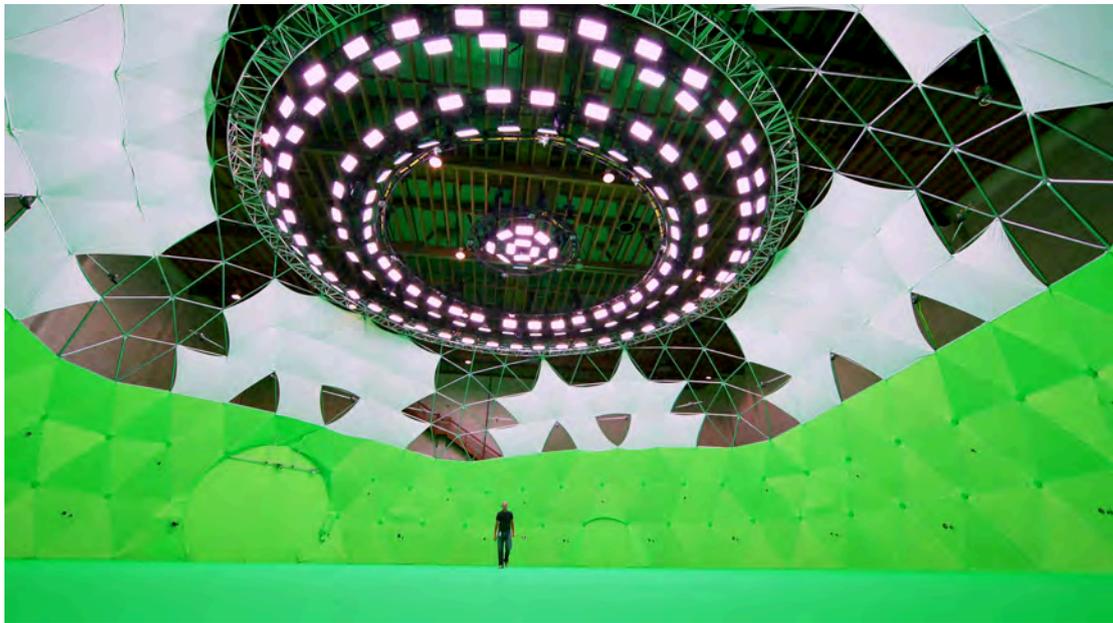


Abbildung 3.9: Intel Studios Dome zur Aufnahme von Volumetric Captures (<https://newsroom.intel.com/news/huge-geodesic-dome-worlds-largest-360-degree-movie-set/#gs.eg7kds> Stand: 20.05.2019)

Bereich stellt dabei das sogenannte Volumetric Capture dar, bei dem ein kompletter dreidimensionaler Raum aufgezeichnet wird. Intel stellte hierzu 2018 das Intel Studio vor¹⁰, das auf 96 Kameras für die Erfassung zurückgreift, um eine Szene aus allen Perspektiven gleichzeitig aufzuzeichnen und in eine dreidimensionale Wolke aus Punkten zu übersetzen. Ein einzelner Punkt innerhalb dieser Wolke wird als sogenanntes *Voxel* definiert, das einen volumetrischen Pixel, also die dreidimensionale Position eines Farbwerts in einem Raum, beschreibt. Eine erste technische Demonstration¹¹, bei der über fünfzehn Anläufe gebraucht wurden¹², um eine Szene aufzunehmen, legt nahe, dass die Technik noch weiter entwickelt werden muss, um für die Filmproduktion verwendbar zu sein. Abseits dieses Fortschritts kommen Algorithmus-basierte Erkennungsverfahren immer häufiger zum Einsatz, um Bewegungen, die nur schwer oder begrenzt mit der Verfolgung von einzelnen Markern nachvollzogen werden können, aufzuzeichnen. In der Filmbranche ist hier vor allem die Erfassung der Mimik eines Darstellers zu nennen.

¹⁰<https://newsroom.intel.com/news/huge-geodesic-dome-worlds-largest-360-degree-movie-set/> (Stand: 25.04.2019)

¹¹<https://www.youtube.com/watch?v=9qd276AJg-o>

¹²<https://youtu.be/tmKFUffO5G4?t=252>



Abbildung 3.10: Face Capture bei Alita: Battle Angel. Links eine Szene aus dem fertigen Film, rechts die Darstellerin mit am Kopf befestigten Kameras (<https://youtu.be/hOMuRopLgxx?t=193> Stand: 20.05.2019)

3.6.2 Performance Capture

Das Performance Capture erweitert das Motion Capture um weitere Aspekte einer Bewegung, die üblicherweise nicht mit aufgezeichnet werden. Hierzu gehören Fingerbewegungen oder auch die Mimik des Darstellers. Die eingesetzten Techniken sind dabei mit den bereits im Motion Capture genutzten Verfahren vergleichbar und werden durch spezialisierte Systeme zur Erfassung dieser besonders schwierig aufzuzeichnenden Bewegungen ergänzt. Über spezielle Helmkameras, die das Gesicht des Darstellers während seiner Performance aufzeichnen, kann über die zuvor beschriebene Algorithmus-basierte Erfassung ein dreidimensionales Bewegungsmuster extrahiert werden, das letztlich das Rig des Charakters bei der Animation antreibt. (Siehe Abbildung 3.10) Für die Erfassung der Hände kommen spezielle, meist mit Markern versehene Handschuhe zum Einsatz, deren Bewegungen separat aufgezeichnet werden.

3.6.3 Weitere Systeme

Inertialsensoren, die die Beschleunigung, Lage und Rotation messen, erlauben ebenfalls Rückschlüsse auf die vollzogenen Bewegungen und können damit als Motion Capture System eingesetzt werden. Durch die weite Verbreitung der Sensoren in Smartphones und Wearables und den Verzicht auf Kameras sind die Kosten gegenüber den optischen Systemen deutlich geringer und darüber hinaus unabhängig von den Lichtverhältnissen und dem begrenzten Sichtfeld einer Kamera einsetzbar. Zur Bestimmung der Bewegung werden die Sensoren, wie die Marker bei optischen Verfahren, an den einzelnen Körperteilen eines Darstellers angebracht, um deren Rotation zu erfassen. Zur Anbringung der Sensoren dienen meist ein Anzug oder elastische Bänder, wobei die Kabel der Sensoren an ein zentrales Modul angeschlossen werden, von dem aus die Daten per Funk an das Zielsystem übertragen



Abbildung 3.11: Links: Inertialsensoren Systemen von XSens (<https://www.xsens.com/news/new-software-release-mvn-animate-mvn-analyze-2018-2/> Stand: 20.05.2019) Rechts: Mechanisches Motion Capture System (Das Originalbild wurde zugeschnitten, sodass die Frau auf dem Bild nur noch 2 mal zusehen ist. <http://www.pccpolska.pl/motion-capture-co-powinienes-wiedziec-o-systemach-mocap/> Stand: 20.05.2019)

werden. Bei der Anwendung der aufgenommenen Daten für die Charakteranimation entfällt darüber hinaus das Solving, da die Bewegungen bereits als Rotationen der Gelenke vorliegen. Ein Nachteil dieser Technik stellt die fehlende Aufzeichnung von Positionsdaten dar, was zu Ungenauigkeiten und mit der Zeit zunehmenden Abweichungen von der Ausgangsposition führen kann.

Ein weitere Möglichkeit zur Aufzeichnung von Bewegungen stellen **mechanische Motion Capture Systeme** dar. Sie basieren auf einem, aus einzelnen miteinander verbundenen Starrkörpern bestehenden Außenskelett, welches der Darsteller trägt. Je nach Größe und Proportionen des Trägers, muss das Exoskelett angepasst und kalibriert werden, um die neuen Ausgangswerte und Gelenkpositionen festzustellen. Über Potentiometer, die eine Bewegung durch die Veränderung einer Spannung darstellen und Winkelmesser, können anschließend die Positionsveränderungen der einzelnen Skelettteile aufgezeichnet und so die Bewegung des Darstellers nachvollzogen werden. Die Übermittlung der Daten erfolgt dabei zumeist drahtlos, wobei die Signale vor der Übertragung zuerst in digitale Werte konvertiert werden. Der Aktionsradius, in dem sich der Darsteller während der Aufzeichnung aufhalten kann, ist dadurch nur von der Funkverbindung abhängig, was einen großen Vorteil gegenüber optischer Verfahren darstellt. Nachteile ergeben sich durch den für jeden Darsteller anfallenden Kalibrierungsaufwand und die eingeschränkte Bewegungsfreiheit aufgrund der außen liegenden Messinstrumente. Wie bei den *Inertialsensoren*, fehlt auch diesem System eine Möglichkeit

zur exakten globalen Positionsbestimmung.

3.7 Grundsätzliche Werkzeuge und Begrifflichkeiten in After Effects

After Effects¹³ ist eine von Adobe¹⁴ entwickelte Software, die vor allem für Compositing, Video-Effekte und Animationen zum Einsatz kommt und bietet dabei ein breites Spektrum an Möglichkeiten und Effekten, die durch zusätzliche Erweiterungen und der Unterstützung von JavaScript in Form von ECMAScript¹⁵ nochmals vielfältiger ausfallen, als dies bei den meisten anderen 2D Animationsprogrammen der Fall ist. Da After Effects für die hier vorgenommene Animation der Charaktere, der Erstellung von 2D Motion Capture Daten und der anschließenden Untersuchung der Walk Cycles zum Einsatz kommt, werden nachfolgend einige grundlegende Begrifflichkeiten, die in den nachfolgenden Kapiteln genutzt werden, erläutert und der grobe Aufbau von After Effects beschrieben.

3.7.1 Kompositionen und Ebenen

After Effects setzt wie viele gängige Grafik und Video Programme auf *Ebenen*, um Bild, Ton, oder Videomaterial übereinander anzuordnen. Da gerade bei der Animation und im besonderen bei der Charakter Animation häufig schnell sehr viele Ebenen übereinander liegen, können diese farblich markiert und versteckt werden, um so die Übersicht zu behalten.

Eine *Komposition* beschreibt einen Container, in dem alle Ebenen angeordnet sind und definiert die Auflösung, das Seitenverhältnis und und die Bildwiederholrate eines Videos. *Kompositionen* können weitere *Kompositionen* als *Ebene* in sich halten und somit ineinander geschachtelt werden.

3.7.2 Spaces und Parenting

After Effects unterscheidet zwischen drei unterschiedlichen Koordinatensystemen, die aufeinander aufbauen. Diese heißen *World*, *Comp* und *Layerspace*. Die Position einer Vektorform innerhalb After Effects lässt sich somit als Position in einer Ebene, die wiederum eine Position in der Komposition, die wiederum eine Position im Weltkoordinatensystem hat, bestimmen. Über spezielle als Expression definierte Funktionen kann zwischen den verschiedenen Systemen umgerechnet werden. Zusätzlich bietet jede Ebene die Möglichkeit, die eigene Position mit der eines anderen Objekts zu *parenten* beziehungsweise zu verknüpfen und so von deren Bewegungen beeinflusst zu werden. In diesem Falle wird die Position dieser Ebene als relative Position zur Position der Ebene, mit der sie verknüpft ist, angegeben. Dieses Verhalten wird zum Beispiel genutzt, um die Position eines Elements auf Null zu setzen, indem ein zweites Objekt an derselben Position erstellt und mit dem ursprünglichen verbunden wird.

¹³https://www.adobe.com/Creative_Cloud/AfterEffects?

¹⁴<https://www.adobe.com/>

¹⁵<https://en.wikipedia.org/wiki/ECMAScript>

3.7.3 Null-Objekte

Das *Null-Objekt* stellt innerhalb After Effects eine Ebene dar, die ausschließlich Transformationseigenschaften enthält und mit einer beliebigen anderen Ebene verknüpft werden kann, um denselben Bewegungsverlauf auf diese zu übertragen. In dieser Arbeit kommen diese unter anderem für die Speicherung der Positionen der einzelnen Markierungen beim Motion Capture, dem Rigging und dem Nullen von Ebenen zum Einsatz.

3.7.4 Expressions

Jede Ebene in After Effects enthält alle veränderbaren Parameter wie den Ankerpunkt, die Position, Rotation und Skalierung als Eigenschaften der Ebene, deren Werte über Keyframes, sogenannte *Expressions* oder einer Kombination beider beliebig verändert werden können. Expressions sind auf JavaScript basierender Code, über den Logiken realisiert und auf Werte der eigenen oder anderer Ebeneneigenschaften zugegriffen werden kann, um hieraus den neuen eigenen Wert zu bestimmen. Durch diese Möglichkeit kann der Benutzer komplexe Beziehungen zwischen mehreren unterschiedlichen Ebeneneigenschaften realisieren und fehlende Funktionalitäten wie beispielsweise 2.1.3 *Motion Blending* selbstständig ergänzen. Die in dieser Arbeit zum Einsatz kommende Skriptbibliothek Duik¹⁶ zum Riggen von Charakteren, nutzt für die Realisierung all ihrer Funktionen ausschließlich *Null-Objekte* und *Expressions*. Einmal erstellte Rigs können somit auch auf anderen After Effects Instanzen ohne installiertem Duik weiter verwendet werden.

3.7.5 Graph Editor

Der *Graph Editor* innerhalb After Effects stellt alle Wertveränderungen als zweidimensionalen Graphen dar, um deren zeitlichen Verlauf besser beurteilen und gegebenenfalls verändern zu können. Auch der Einfluss von Expressions auf die ursprünglichen Werte lässt sich in dieser Ansicht grafisch darstellen und überprüfen. Darüber hinaus kann in eine Geschwindigkeitsansicht gewechselt werden, die Aufschluss über die Geschwindigkeit gibt, mit der sich ein Wert über einen zeitlichen Verlauf verändert. In dieser Arbeit kommt der Graph Editor vor allem zur Bereinigung der Motion Capture Daten zum Einsatz.

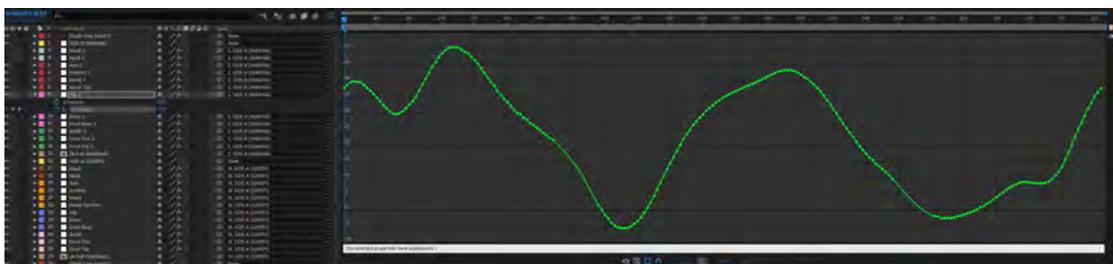


Abbildung 3.12: Graph Editor innerhalb After Effects

¹⁶<https://rainboxprod.coop/en/tools/duik/>

Kapitel 4

Charaktererstellung

Zur Untersuchung und dem Vergleich der beiden Verfahren für die Animation zweier unterschiedlicher Charaktere im zweidimensionalen Raum, müssen diese zuvor entsprechend erstellt und für die Verwendung in After Effects vorbereitet werden. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Illustration der beiden Charaktere und setzt sich damit auseinander, wie diese dargestellt und angelegt werden, um für die darauf aufbauenden Untersuchungen geeignet zu sein. Ebenfalls werden Unterschiede in den Proportionen zwischen beiden Charakteren für die Analyse zur Übertragbarkeit der Animation definiert und hierauf aufbauend auf den Prozess des Riggings beider Charaktere mit Hilfe der Skriptbibliothek Duik innerhalb After Effects eingegangen. Die beiden Rigs werden anschließend im Kapitel 6 von beiden Verfahren genutzt, um die Animation der Charaktere umzusetzen.

4.1 Illustration

Um die im Kapitel 6 erstellten Walk Cycles und die, durch die verschiedenen Animationsverfahren, entstehenden Unterschiede möglichst gut erfassen und bewerten zu können, muss das Erscheinungsbild des Charakters dementsprechend gewählt werden. In diesem Abschnitt wird dieses definiert und der Entstehungsprozess der beiden, von der Seite dargestellten, zweidimensionalen Charaktere beschrieben. Darüber hinaus werden Eigenschaften festgelegt, die in Bezug auf die ebenfalls zu untersuchende Übertragbarkeit von Animationen relevant sind und die es bei der Illustration zu berücksichtigen gilt.

4.1.1 Erscheinungsbild

Häufig wird für die Animation im zweidimensionalen Raum auf Vektor- statt Rastergrafiken gesetzt. Durch die damit einhergehende Reduzierung der Körper auf mathematisch beschreibbare Kurven, Formen und Farben, sind diese hervorragend geeignet, um den Fokus auf die Bewegungen des Walk Cycles zu setzen. Gekoppelt mit der größeren Flexibilität bei der Verformung von Gliedmaßen innerhalb After Effects, wird bei dieser Arbeit für die Erstellung der zwei menschlichen Charaktere auf Vektorgrafiken und einen einfarbigen Hintergrund gesetzt. Durch den Verzicht auf überlagernde Elemente, wie Mäntel, weite Pullis

oder Hosen, werden darüber hinaus die Bewegungsabläufe der einzelnen Gliedmaßen nachvollziehbarer und können in der späteren Analyse besser beurteilt werden.

Typisch für 2D Animationen sind frontale, dreiviertel oder seitliche Darstellungen, um einen Walk Cycle in einer Szene zu präsentieren. Gegenüber den ersten beiden Perspektiven bietet die Seitenansicht den besten Überblick, um den gesamten Ablauf der Bewegung zu erfassen und kritische Teile, wie das Abrollen des Fußes zu analysieren. Bezogen auf die Illustration werden somit beide Charaktere in einer seitlichen Darstellung umgesetzt und in der Animation darauf geachtet, dass sich sämtliche Teile des Körpers durchgängig innerhalb des Bildausschnitts befinden.

In Bezug auf die Übertragbarkeit wird neben einem Charakter, der den Proportionen des Motion Capture Darstellers entspricht und damit den Idealfall darstellt, ein zweiter mit abweichenden Proportionen benötigt, um die Möglichkeiten beim Retargeting zu untersuchen. Der zweite Charakter basiert dabei auf dem Erscheinungsbild des Ersten, wobei einzelne Aspekte wie die Länge, Breite und Position der Arme, Beine, des Kopfes und des Oberkörpers verändert werden. Der Stil bleibt somit gewahrt und Unterschiede in der Wahrnehmung der Bewegung lassen sich leichter auf die Animation zurückführen.

Den Abschluss der Illustration bilden zwei von der Seite dargestellte, schlichte, vektorbasierte Charaktere, die sich in ihren Proportionen voneinander unterscheiden.

4.1.2 Umsetzung

Da der zweite Charakter mit abweichenden Proportionen nur eine Abwandlung des ersten darstellt, wird nur die Figur mit den Proportionen des Darstellers vollständig illustriert. Als Referenz für den Stil während der Umsetzung dient eine typische flache Illustration eines von der Seite dargestellten Charakters, der während der Umsetzung neben der Zeichenfläche angeordnet ist. Für die korrekten Proportionen dient ein Bild, das die Seitenansicht des Darstellers vor neutralem Hintergrund als Referenz zeigt. Bei der vorangegangenen Aufnahme wurde darauf geachtet, dass die Kamera sich auf der mittleren Höhe des Darstellers befindet, um die durch die Linse entstehenden Verzerrungen zu verringern. Das Bild liegt bei der Umsetzung als fixierte Hintergrundebene mittig auf der Zeichenfläche, um die Konturen und Proportionen des Darstellers möglichst einfach übernehmen zu können. Die Auflösung der Zeichenfläche entspricht 1080×1080 Pixeln, was einem auf eine quadratische Fläche zugeschnittenen Full-HD Bild entspricht und somit einen Bezug zum Branchenstandard bei der Videoproduktion herstellt.

Um den Charakter zur Anwendung in der Animation möglichst einfach einsetzen zu können, wird dieser bereits bei der Illustration in einzelne Körperteile aufgeteilt, um diese im *Cutout* Prinzip zu animieren. Hierfür werden zunächst die Positionen aller später benötigten Gelenke als Kreise, deren Radius über die Kontur der Darsteller-Referenz begrenzt wird, definiert.



Abbildung 4.1: Ausgangslage für die Charaktererstellung. In der Mitte eine Aufnahme des Darstellers. (Referenzbild Links: <https://dribbble.com/shots/3146969-2D-flat-character-design> Stand: 20.05.2019; Referenzbild Rechts: <https://www.shutterstock.com/de/image-vector/running-man-animation-8-frame-sequence-478684621> Stand: 20.05.2019)

Für die Arme und Beine kommen jeweils drei Gelenke zum Einsatz. Sie definieren die Position und Größe der Schultern, Ellbogen und Handgelenke, beziehungsweise der Hüfte, der Knie und der Fußgelenke. Beim Oberkörper wird auf eine exakte Nachbildung der einzelnen Wirbel verzichtet und sich auf die Position spezifischer Körperteile, die maßgeblich die Form des Oberkörpers bestimmen, beschränkt. Hierzu zählen der Nacken, der Brustkorb, der Bauch und erneut die Hüfte. Im Gegensatz zu der zuvor definierten Position der Hüfte in Bezug zur Verbindung mit den Beinen, ist diese etwas erhöht und größer definiert. Der Grund hierfür liegt in der Anatomie des Menschen, wobei die Oberschenkelknochen im unteren Bereich der Hüfte verbunden sind, während die komplette Hüfte, die im Oberkörper definiert ist, auch das Becken mit einschließt. Der an den Nacken angeschlossene Hals wird mit zwei Kreisen definiert, wobei der erste die Verbindung zum Oberkörper darstellt und der zweite die Rotationsachse des Kopfes definiert. Der Kopf selbst wird ebenfalls aus einzelnen Kreisen definiert, die allerdings nicht mehr als Rotationsachsen, sondern zur reinen Bestimmung der Form genutzt werden. Dabei besteht er aus vier Kreisen, von denen zwei große die Größe und Form beschreiben und die beiden kleineren die Position und Größe der Nase und des Kinns definieren.

Die entstandenen Kreise werden für das spätere *Rigging* auf einer separaten Ebene festgehalten und ihr Mittelpunkt als drei Pixel großer, zweiter Kreis ergänzt. Die Größe von drei Pixeln wurde gewählt, um in After Effects die Ankerpunkte zur Bestimmung der Rotationsachse der einzelnen Körperteile besser positionieren zu können.

Im nächsten Schritt werden die von den Kreisen aufgespannten Flächen für die einzelnen Körperteile verfeinert und die Kontur zwischen den kreisförmigen Enden jedes Körperteiles an die Proportionen des im Hintergrund sichtbaren Darstellers angepasst. Die Arme bestehen somit aus dem Oberarm, Unterarm und der Hand. Analog hierzu bestehen die Beine

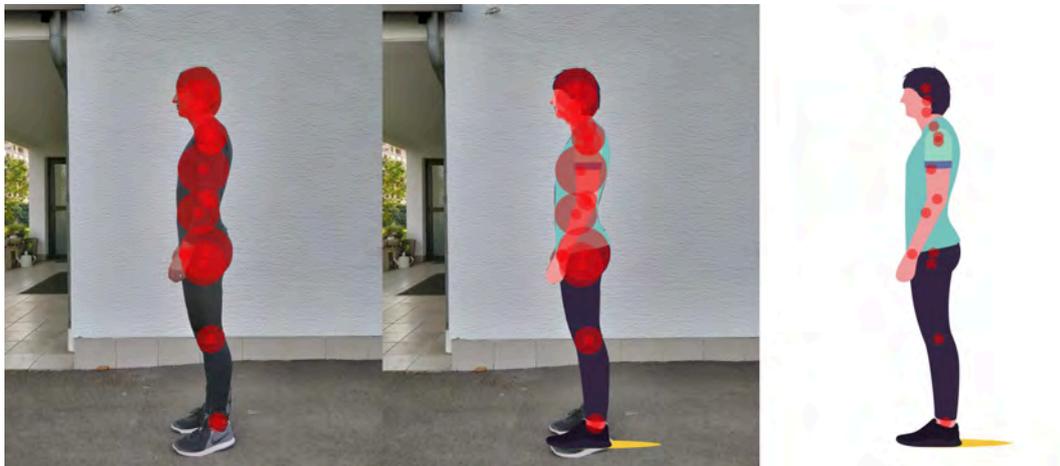


Abbildung 4.2: Definition der Rotationsachsen und der Form des Körpers über Kreise.

aus dem Oberschenkel, Unterschenkel und dem Fuß, beziehungsweise dem Schuh. Da die Fußstellung in der Referenzaufnahme nicht parallel zum Rest des Körpers ausgerichtet ist, wird auf eine zusätzliche Aufnahme eines ähnlichen Schuhs zurückgegriffen, der das seitliche Profil widerspiegelt. Die Illustration besteht aus einer Ebene mit zwei kombinierten Formen, die der Kontur des Schuhs und dem Verlauf der Sohle nachempfunden sind. Der Oberkörper besteht wie der Schuh, aus einer einzelnen Ebene, um diese als sich verformende, statt abknickende Gelenkstruktur umzusetzen und damit ein realistisches Verhalten dieser Körperpartie in der späteren Animation zu ermöglichen. Der Hals und der Kopf der Figur sind ebenfalls einzelne Ebenen, deren Form durch die Kontur des Darstellers geprägt ist. Die Arme, Beine und Schuhe werden nur einmal illustriert, um diese anschließend zu duplizieren und in der Ebenenreihenfolge entsprechend ihrer Position in der Z-Achse zu positionieren.

Um den Bezug zu einem menschlichen Charakter, der so auch in der Produktion eines gewöhnlichen 2D Animationsfilms zum Einsatz kommen könnte, herzustellen, werden dem Charakter Andeutungen von Kleidungsstücken sowie Haare hinzugefügt, die wie im Erscheinungsbild beschrieben, möglichst keine Körperbewegungen verdecken. Um die Proportionen möglichst nicht zu verändern, werden die Kleidungsstücke hauptsächlich über die Färbung bestimmter Regionen realisiert. An den Enden der Kleidungsstücke wird eine kleine Überlappung ergänzt, um die Körperform von der Kleidung zu unterscheiden. Auf ein Gesicht wird gänzlich verzichtet, um den Fokus auf den Körper zu richten und weil es nicht Teil der angestrebten Untersuchungen ist. Um das vordere vom dahinter liegenden Bein sowie Arm zu unterscheiden, werden diese Ebenen in den Helligkeitswerten der Farbe reduziert. Hauttöne sind fünf, Kleidungsstücke zehn Prozent dunkler als ihr vorgelagerter konträrer Part.

Für den zweiten Charakter wird eine Kopie des zuvor fertiggestellten Charakters erzeugt, der in seinen Proportionen verändert wird. Die erste Veränderung ist die Verkürzung der Beine

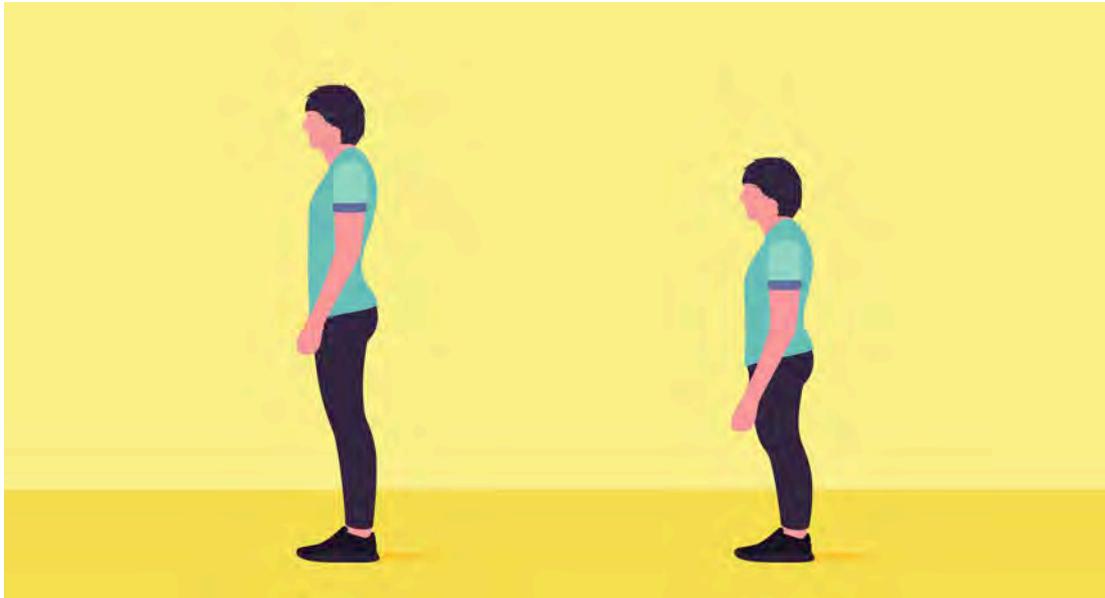


Abbildung 4.3: Die illustrierten Charaktere

um 18,5 Prozent, wobei die Dicke des Ober- und Unterschenkels, sowie des Fußgelenks beibehalten wird, um insgesamt den Eindruck eines dickeren Beins zu erzeugen. Der Schuh wurde in diesem Zusammenhang ebenfalls um 5 Prozent verkleinert. Der Oberkörper des Charakters wird um 14 Prozent in der Höhe reduziert, was eine Neupositionierung des Halses, des Kopfes und der Arme nach sich zieht. Die Größe dieser Körperteile ist identisch mit der des ersten Charakters. Die Kreise für die Bestimmung der Rotationsachsen wurden entsprechend der neuen Position und Größe angepasst, um diese im nachfolgenden Rigging zu verwenden. Insgesamt ist der zweite Charakter damit in seiner Gesamtheit etwa 15 Prozent kleiner als die Referenz, besitzt eine etwas kleinere Schuhgröße und andere Ausgangsposition für die Arme, den Hals und die Schultern.

4.2 Rigging

Das bei der Animation zugrunde liegende Rig bestimmt mit seinen Möglichkeiten, die es dem Animator zur Verfügung stellt, maßgeblich, wie detailliert und in welcher Form der damit verknüpfte Charakter in seinem Aussehen manipuliert werden kann, um somit eine Bewegung zu erzeugen. Für die angestellten Untersuchungen ist es unerlässlich, dass beiden zu untersuchenden Verfahren dasselbe Rig zur Verfügung steht, um einen fairen und aussagekräftigen Vergleich zu ermöglichen. Neben der Erstellung des Rigs für die beiden Charaktere, wird in diesem Kapitel auf die Unterschiede eingegangen, die je nach verwendeter Technik zur Übertragung des Motion Capture Materials auf das Rig benötigt werden. In diesem Zusammenhang wird auf zwei Varianten zur Verwendung von Motion Capture Aufnahmen eingegangen. Hinsichtlich der Übertragbarkeit beschränkt sich diese Ausarbeitung

auf die Auswirkungen der Proportionen des Charakters, wodurch das Rig in seinem Aufbau deckungsgleich zu dem des anderen Charakters ist. Der Prozess des Riggings wird, wie auch die Animation, vollständig in After Effects mit Hilfe der Skriptbibliothek DUIK umgesetzt und lässt sich in die nachfolgend beschriebenen fünf Abschnitte unterteilen.

4.2.1 Überführung und Vorbereitung der Illustrationen

After Effects unterstützt nativ das Dateiformat von Adobe Illustrator, indem die beiden Charaktere vorliegen, was den Import deutlich vereinfacht. Für das Rigging werden die Vektorformen der beiden Charaktere, sowie deren über Kreise definierte Rotationsachse (nachfolgend als *Guides* beschrieben) in After Effects importiert. Die Reihenfolge der Ebenen, die die einzelnen Körperteile der Charaktere darstellen, werden von den Guides überlagert und die beiden Charaktere in separaten Kompositionen angelegt. Für die Übersichtlichkeit erhält jede Ebene einen aussagekräftigen Namen und zueinander gehörende Ebenen, wie der Oberschenkel, Unterschenkel und Fuß, werden, zur Erkennung der Zugehörigkeit, mit derselben Farbe gekennzeichnet.

Eine gesonderte Vorbereitung benötigen die Körperteile, die später nicht über die Rotation in einer Achse, sondern als sich biegende, zusammenhängende Körperteile verändert werden sollen. Bezogen auf beide vorliegende Charaktere wird diese Form der Veränderung für den Oberkörper und die Schuhe benötigt. Die Guides definieren hierbei die Stellen, über die Einfluss auf die Form des Körpers genommen werden kann. In After Effects werden an diesen Stellen sogenannte *Marionetten-Pins* eingesetzt, um diese Punkte zu definieren. Am Oberkörper werden 4 Pins erzeugt, die die Position, an der die Oberschenkel mit der Hüfte verbunden sind, der Hüfte selbst, des Bauches und des Nackens bestimmen. An den Schuhen kommen Pins am Fußgelenk, dem Ballen und der Fußspitze zum Einsatz. Über einen zusätzlichen Verstärkungspunkt an der Ferse des Schuhs, der den Grad und Einflussbereich einer Verformung bestimmt, wird dieser vor Verformungen, die an der Fußspitze stattfinden, bewahrt.

Um die einzelnen *Marionetten-Pins* im nachfolgenden Schritt mit der Struktur des Skeletts verknüpfen und anschließend über das Bewegen dieser die Form verändern zu können, wird mit Hilfe von Duik aus jedem Pin ein *Bone* erstellt, der die Position des Pins als veränderbaren Translations-Controller zur Verfügung stellt.

4.2.2 Aufbau des Skeletts

Duik verfügt über standardisierte Strukturen, die als Bindeglied zwischen den Illustrationen und den Controllern für die Animation fungieren. Zu diesen Strukturen gehören Arme, Beine, Wirbelsäulen und Schwänze. Für Humanoide, zu denen die erstellten Charaktere gehören, werden somit eine Wirbelsäule, sowie zwei Arm- und Beinstrukturen erstellt. Die Wirbelsäule ist aus den sechs einzelnen Komponenten, der Hüfte, zwei Wirbelsäulen-Elementen, dem Nacken, Kopf und der Wirbelsäulenspitze, die das Ende der Strukturkette darstellt, zusammengesetzt. Die Arme bestehen aus jeweils vier Elementen, die den Ober-, sowie Unterarm,

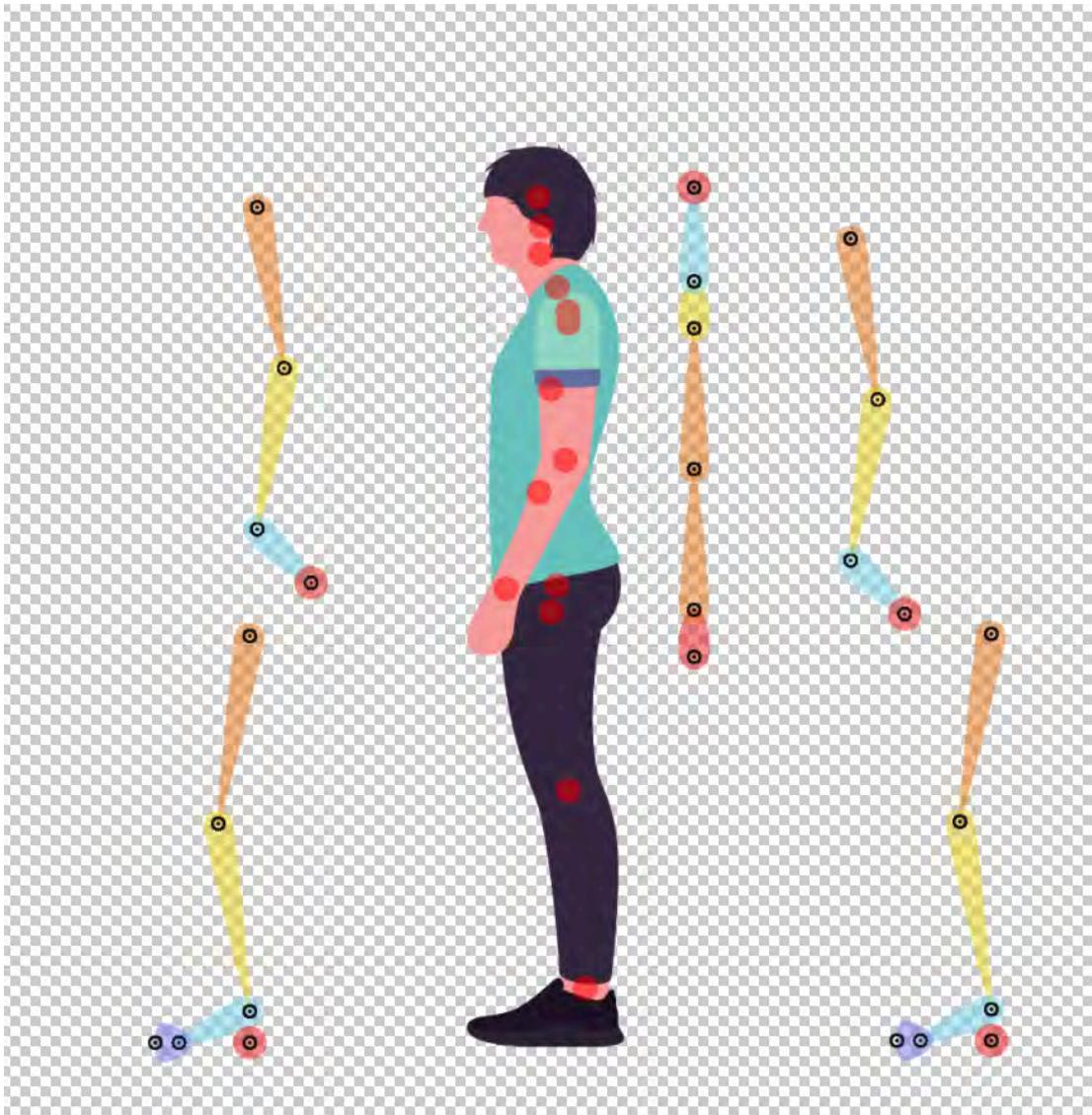


Abbildung 4.4: Die mit Duik erstellte Rig-Struktur

die Hand und Handspitze umfassen. Die Beinstruktur besteht neben den drei Elementen für den Oberschenkel, Unterschenkel und den Fuß, aus drei weiteren Elementen zur Unterteilung des Fußes in Zehen, Fußspitze und Ferse.

Das Ende jeder Strukturkette wird als rotes Element dargestellt und beschreibt die Länge des letzten Körperteils. Im Gegensatz zur Wirbelsäule und den Armen, bei denen die Wirbelsäulenspitze die Höhe des Kopfes, beziehungsweise die Armspitze die Länge der Hand definiert, bildet bei den Füßen sowohl die Fußspitze, als auch die Ferse den Endpunkt der Beinstruktur. Über diese ist es nach dem Rigging möglich, das Abrollen des Fußes mit einem

einzelnen Regler zu animieren. Das trägt vor allem dazu bei, dass die Position des Fußes beim Kontakt mit dem Boden an derselben Stelle verbleiben kann und dadurch einfacher das Gefühl einer Verbindung zwischen Fuß und Boden zu erschaffen.

Alle Strukturen sind als miteinander verknüpfte Ebenen realisiert, deren Ankerpunkte unter Zuhilfenahme der Guides an die Gelenkpositionen der einzelnen Körperteile angeglichen werden. Vorgegangen wird, wie bei der *vorwärtsgerichteten Kinematik*, ausgehend vom hierarchisch höchst liegenden Element. Die Positionierung der Arm- und Beinstrukturen wird nur einmal vorgenommen, da diese deckungsgleich mit der der dahinter liegenden Arme und Beine ist und einfach kopiert werden kann, um somit den Aufwand zu reduzieren.

4.2.3 Verknüpfung der Illustration mit dem Skelett

Nachdem die von Duik bereitgestellte Struktur mit der Illustration des Charakters übereinstimmt, werden die Ebenen, die die einzelnen illustrierten Körperteile enthalten, mit dem entsprechenden Strukturelement verknüpft. Durch die Auflösung der direkten Verbindung zwischen den nachfolgend erstellten Controllern und den illustrierten Körperteilen über die Strukturebenen, können auch nach dem Rigging, noch im gewissen Rahmen, Änderungen am Erscheinungsbild eines Charakters vorgenommen werden, ohne diesen erneut riggen zu müssen.

4.2.4 Auto-Rig and IK

Nach der Selektion aller Strukturebenen, werden über das von Duik zur Verfügung stehende „Auto-Rig and IK“ automatisch die zur jeweiligen Struktur gehörenden Controller erstellt, um über diese, das damit verknüpfte Erscheinungsbild des Charakters zu beeinflussen. Über die Controller kann je nach Struktur zwischen verschiedenen Verfahren gewählt werden, nach denen das Rig agiert. Für die Arme und Beine wird jeweils ein Controller erstellt, der sowohl *IK* als auch *FK*, mit *Follow Through and Overlapping*, als Verfahren für die Umsetzung der Bewegung, zur Verfügung stellt. Je nachdem welche Trackingdaten bei einer Motion Capture Aufnahme gesammelt worden sind, können dadurch sowohl die Rotation der einzelnen Körperpartien, als auch nur die Position des letzten Elements einer hierarchischen Struktur genutzt werden, um die gesamte Hierarchie eines Armes oder Beines zu animieren. Das Abrollen des Fußes ist als Teil des Beincontrollers realisiert, der über separate Rotationsregler eine individuelle Kontrolle der Fußspitze, Zehen, Ferse und dem Zusammenspiel dieser, zum Abrollen des Fußes, ermöglicht.

Die aus sechs Elementen bestehende Struktur des Oberkörpers wird nach dem Rigging über dieselbe Anzahl an Controllern beeinflussbar. Über den Hüft- und Wirbelsäulenanfängs-Controller lassen sich die Position, sowie die Rotation der Hüftpartie des Charakters festlegen. Ein, sich zwischen dem Wirbelsäulenanfang und Nacken befindender Controller, bildet über die Veränderung seiner Position eine Möglichkeit, um den Kurvenverlauf der Wirbelsäule anzupassen. Nach dem „Auto-Rig and IK“ bildet der Controller eine Gerade zwischen der Hüfte und dem Nacken. Da der illustrierte Charakter in seiner Form eine gebogene Wirbelsäule

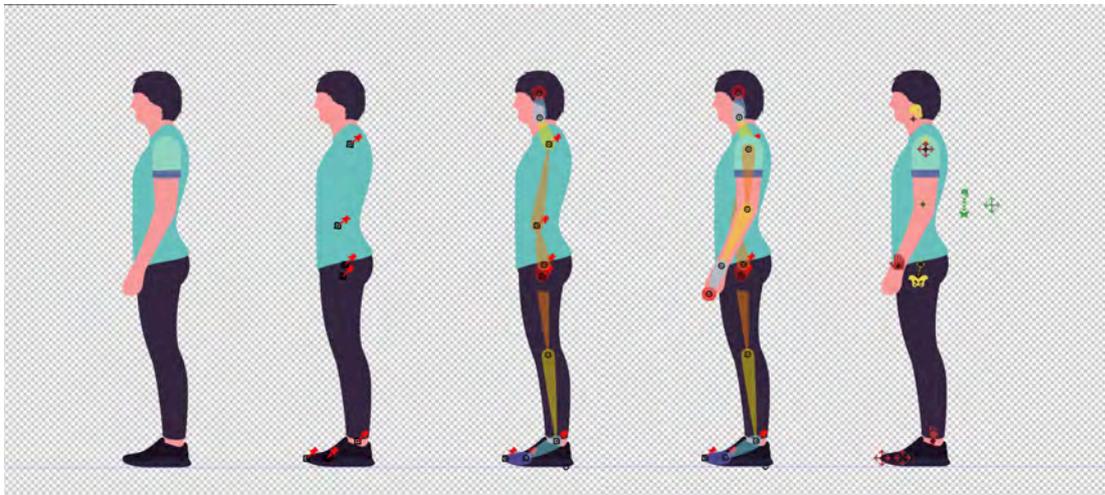


Abbildung 4.5: Schrittweiser Aufbau des Rigs

als Ausgangsposition vorsieht, muss diese über den Controller manuell neu definiert werden. Der ursprüngliche Charakter wird hierfür als Referenz vor den mit Controllern versehenen Charakter gelegt, um den ursprünglichen Kurvenverlauf der Wirbelsäule wiederherzustellen. Der kombinierte Nacken- und Schultercontroller bietet Einfluss auf den Bereich zwischen Brustkorb und Hals, sowie der Position der Schulter, die ebenfalls mit dem Nacken verknüpft ist. Die Rotation des Kopfes lässt sich über den Kopf-Controller separat oder relativ zur Position und Rotation des Nackens, der auch den Winkel des Halses bestimmt, steuern und ausrichten. Ein letzter Controller bietet die Möglichkeit, den gesamten Oberkörper, angefangen bei der Hüfte, bis hin zum Kopf, in seiner Position und Rotation zu manipulieren. Für letztere dient die Hüfte als Ausgangspunkt für die Drehung.

4.2.5 Ergänzen zusätzlicher Controller

Beim Motion Capture können Bewegungen, sowohl als Translationen oder auch als aus der Verschiebung zwischen zwei Punkten errechnete Rotationen oder mit *Inertialsensoren*, direkt als Rotationen von Gelenken, gespeichert werden. Im Falle der optischen, von der Seite aufgezeichneten Bewegung des gehenden Darstellers, die in dieser Arbeit als Grundlage dient, können bestimmte Bewegungen, die üblicherweise als Rotation dargestellt werden, nicht als solche erfasst werden und müssen stattdessen als Positionsveränderung auf das Rig angewendet werden. Typische Beispiele hierfür stellen das Schwingen der Hüfte oder des Oberkörpers, im speziellen der Schultern, dar.

Wie im Kapitel 2.1.3 „Rig-Anpassungen und Retargeting“ beschrieben, müssen diese Positionsveränderungen, im Gegensatz zu Rotationen, auf das jeweilige Rig angepasst werden und erfordern einen entsprechenden Mehraufwand und Möglichkeiten, diese Positionsveränderungen auf das Rig zu übertragen. Das von Duik zur Verfügung gestellte Rig wird somit um jeweils einen zusätzlichen Controller an den Schultern, der unabhängig von der Positi-

on des Nackens verändert werden kann, sowie um zwei weitere Controller für die präzisere Animation des Fußes, ergänzt. Ein weiterer Controller, zur Verschiebung des gesamten Rigs innerhalb der Szene, wird ebenfalls hinzugefügt, um den allgemeinen Umgang mit dem Rig zu erleichtern.

Die Ergänzung der Controller wird über das Hinzufügen eines neuen, zwischen zusammenhängenden Strukturebenen oder zwischen der Strukturebene und einem anderen bereits bestehenden Controller, umgesetzt. Duik bietet vorgefertigte Icons für Controller, die bei der Erstellung ausgewählt werden können, um die Möglichkeit der Positionsveränderung, auch für den Animator ersichtlich zu gestalten. Für die separaten Veränderungen der Schulterposition auf der X- und Y-Achse, wird der Controller zwischen der ursprünglichen Strukturhierarchie des Oberarms und dem Nacken eingefügt. Der Oberarm ist somit zuerst mit dem neuen Controller für die Schulter verknüpft und dieser wiederum mit dem Nacken verbunden, um die grundsätzliche Verbindung der beiden Strukturen zu erhalten. Bei den Füßen werden jeweils zwei zusätzliche Translationscontroller an der Position der Zehen, sowie der Fußspitzen ergänzt. In der Hierarchie fügen sie sich zwischen den zuvor erstellten *Bones* und der dazugehörigen Struktur ein. Über die bereits vorhandenen Controller können somit weiterhin alle bisherigen Möglichkeiten zur Veränderung beibehalten und durch die neu hinzugekommenen, weiteren Verfeinerungen der Bewegung während der Animation, umgesetzt werden.

Der letzte Controller, der während des Riggings ergänzt wird, ist für das Verschieben des gesamten Charakters verantwortlich und stellt damit das oberste Glied in der Hierarchie dar. Realisiert wird dies über die Verknüpfung aller, noch mit keinem anderen Element verbundenen, Controller und Strukturen.

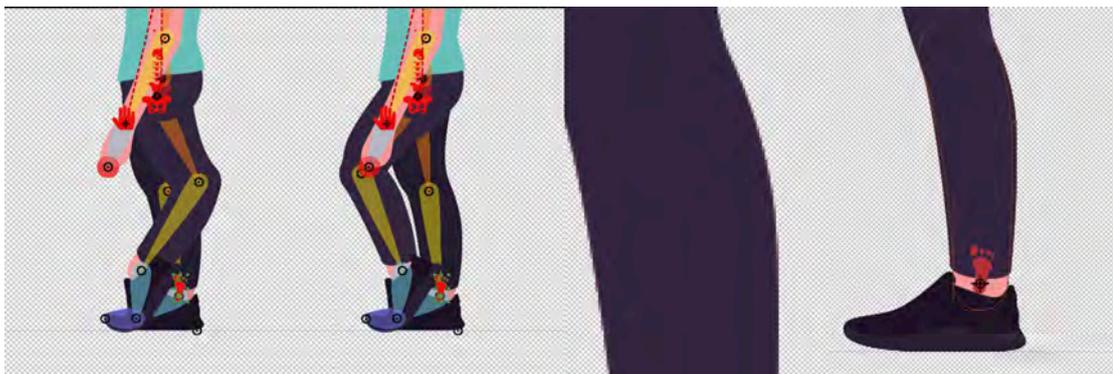


Abbildung 4.6: Fehlerbehebungen beim Rigging. Links ein Fehler in der Ausrichtung der Gelenke, rechts eine minimale Verschiebung des hinteren Beines.

4.2.6 Tests, Fehlerbehebung und Cleanup

Nach dem Rigging ist es üblich, nochmals alle Eigenschaften und Optionen der Controller zu überprüfen und die Charaktere werden in die, bei der Animation zu erwartenden Posen

4.3. Aufwandsanalyse im Bezug zur Verwendung von Motion Capture

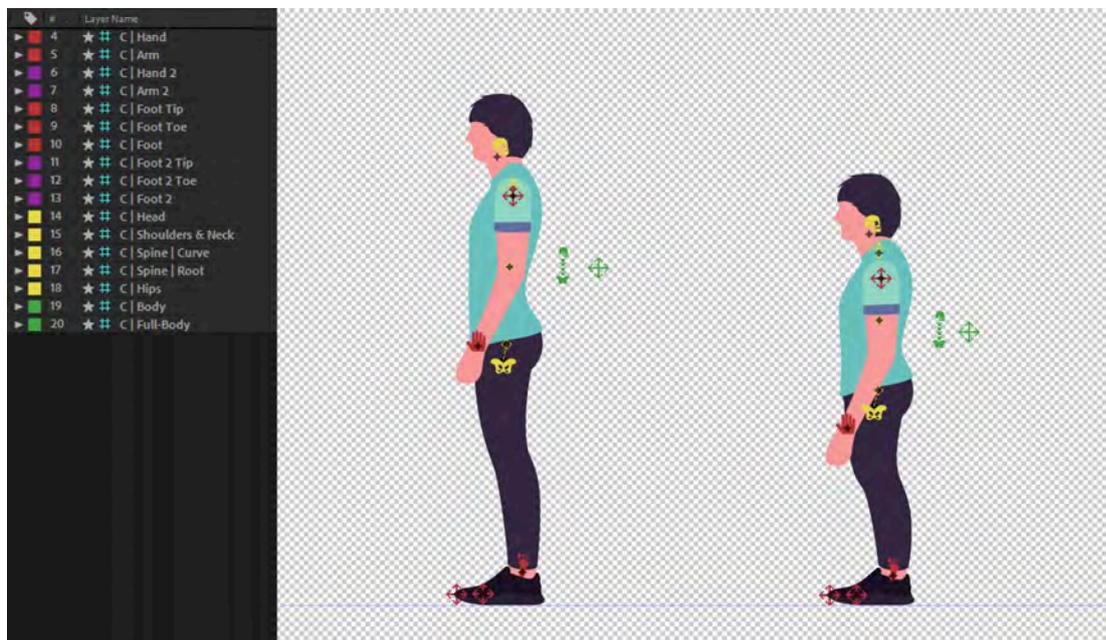


Abbildung 4.7: Die beiden vollständigen Charakter-Rigs, Links die Liste der Controller, rechts die geriggten Charaktere mit Controllern.

gebracht, um die korrekte Bewegung und das Zusammenspiel der einzelnen Gelenke und Controller zu überprüfen. Das Risiko einer durch das Rig ausgelösten, unvorhersehbaren Bewegung eines Körperteils wird somit minimiert und eine Verfälschung der benötigten Zeit für die Animation, bei der der Fehler behoben werden muss, wird verringert. Während der Untersuchung wurde die Knickrichtung der Beine bei der Verwendung von *IK* korrigiert, sowie eine Überlagerung im Bereich der Wade am Unterschenkel, zwischen der Vordergrundebene mit der Hose und dem dahinter liegenden Bein, angepasst. Den Abschluss des Rigging Prozesses bildet das Verstecken aller Strukturelemente und Ebenen, die nicht aktiv für die Animation benötigt werden.

4.3 Aufwandsanalyse im Bezug zur Verwendung von Motion Capture

Bei der Erstellung eines Charakters im zweidimensionalen Raum ist in diesem Fall kein direkter Mehraufwand für die spätere Verwendung mit Motion Capture Material nachweisbar. Die zusätzlichen Controller, die im spezialisierten Fall der Fokussierung auf die seitliche Ansicht des Charakters ergänzt wurden, sind sowohl für die Verwendung von Motion Capture Material, als auch für die Verwendung im Pose to Pose Verfahren notwendig, um denselben Funktionsumfang abzudecken. Je nach Rig, kann jedoch ein zusätzlicher Aufwand entstehen, um Möglichkeiten zu schaffen, die Motion Capture Daten beim Retargeting auf das Rig zu übertragen. Hier gilt wie im Abschnitt 2.1.3 „Rig-Anpassungen und Retargeting“

4. CHARAKTERERSTELLUNG



Abbildung 4.8: Diagramm zum Zeitaufwand für die Charaktererstellung

beschrieben, dass jede, als Translation im Rig verankerte Veränderung, einen zusätzlichen Aufwand für die Überführung der Motion Capture Daten bedeutet. Um diese Behauptung zu untermauern, verfügt das Rig beider Charaktere über Möglichkeiten zur Animation sowohl mittels Translations-, als auch Rotationsdaten. Dies kann somit bei der Animation im Kapitel 6 genauer untersucht werden.

Für die Erstellung der beiden Charaktere inklusive der zugehörigen Rigs, ist ein Aufwand von 14 Stunden und 54 Minuten entstanden. Alle einzelnen Aufwände sind in Abbildung 4.8 nochmals separat aufgeschlüsselt. Durchgeführt wurden alle Arbeitsschritte von derselben Person, die eine einjährige Berufserfahrung im Bereich Motion Design, sowie absolvierte Studienkurse im Bereich Character Animation und Grafikdesign vorweisen kann. Die Illustration des Charakters, inklusive der Erstellung der Referenzaufnahme, nimmt, mit zusammengekommen 5 Stunden und 35 Minuten, etwas mehr als ein Drittel des Gesamtaufwandes dieses Arbeitsabschnitts ein. Hervorzuheben ist, dass sowohl bei der Illustration, als auch beim Rigging, die benötigte Zeit für die Erstellung des zweiten Charakters deutlich reduziert werden konnte, da hier bereits auf den Erfahrungen und Erkenntnissen des vorangegangenen Charakters aufgebaut und einzelne Teile und Strukturen übernommen werden konnten. Um den Aufwand der nachfolgenden Arbeiten, mit den hier festgestellten vergleichen und ins Verhältnis setzen zu können, werden diese ebenfalls von der selben Person durchgeführt.

Kapitel 5

2D Motion Capture

Der Einsatz von Motion Capture Techniken gilt als ein äußerst kostenintensives Unterfangen, das vor allem auf die dafür benötigte, spezielle Hard- und Software zurückzuführen ist. Bei den populären optischen Verfahren, kommen Einschränkungen im Aufnahmevolumen hinzu und es sind kontrollierbare Lichtverhältnisse vonnöten, um eine verwertbare Motion Capture Aufnahme im dreidimensionalen Raum umzusetzen. Durch den Wegfall einer Dimension, bei der Beschränkung auf die hier untersuchte, ausschließliche Verwendung im zweidimensionalen Rahmen, kann man davon ausgehen, dass die benötigten Ressourcen deutlich reduziert und damit die Kosten für den Einsatz in der 2D Animation gesenkt werden können, was die Verwendung in diesem Bereich attraktiv machen könnte. Auch sollen, in diesem Zusammenhang, die Möglichkeiten in Bezug auf das Retargeting, für die Wiederverwendung der Motion Capture Daten für unterschiedliche, zweidimensionale Charaktere untersucht und mit der, üblicherweise im 2D-Bereich eingesetzten Pose to Pose Animation, verglichen werden. Die Vorteile, durch den Einsatz von 2D Motion Capture, sollen somit ins Verhältnis zum Aufwand und den Kosten, bei der entsprechenden Pose to Pose Animation, gesetzt werden.

Um diese Untersuchungen im Kapitel 6 anzustellen, wird in diesem Teil der Arbeit ein kostengünstiger Ansatz, für das Verfolgen von Bewegungen im zweidimensionalen Rahmen, vorgestellt und umgesetzt. Die Ergebnisse werden im nachfolgenden Kapitel für die Animation der zwei, mit unterschiedlichen Proportionen erstellten Charaktere herangezogen, um einen Vergleich zwischen Pose to Pose und Motion Capture im zweidimensionalen Raum zu realisieren, sowie den entstandenen Aufwand, für die in diesem Kapitel behandelte Motion Capture Aufnahme zu dokumentieren und mit einzubeziehen. In diesem Zusammenhang wird auch auf die Extrahierung und erste Aufbereitung der Daten, mit Hilfe von After Effects, eingegangen. Diese gilt als etablierte Software für die Animation im zweidimensionalen Raum und bietet darüber hinaus Möglichkeiten zur Analyse, Aufbereitung und Verfolgung spezifischer Objekte in einer Szene, um somit die Erhebung von 2D Motion Capture Daten zu ermöglichen.

5.1 Konzept und Aufbau

Die Erstellung der Motion Capture Daten, um diese als Grundlage für die Animation zu verwenden, ist ein aus drei Abschnitten bestehender Prozess. Dieser umfasst die Vorbereitung, die Aufnahme der Gehbewegung und die Extraktion der Marker-Bewegungen aus den Videoaufzeichnungen. Im Gegensatz zur dreidimensionalen Erfassung, ist die zweidimensionale Abbildung der Bewegungen als einzelne Punkte, die sich auf einer Ebene verschieben, deutlich einfacher und mit nur einer einzelnen Kamera umsetzbar. Diese ist dabei so positioniert, dass sie den Darsteller in derselben Perspektive aufzeichnet, in der dieser auch als Illustration vorliegt und im Kapitel 6 animiert wird. Zur besseren Verfolgung der einzelnen Gliedmaßen werden farbige Marker eingesetzt, die wie bei einem gewöhnlichen Motion Capture Anzug angeordnet sind und einen hohen Kontrast zum umliegenden Bereich aufweisen.

Eine Herausforderung bei der Erfassung der Gehbewegung mit einer einzelnen Kamera stellt die Aufzeichnung der vom Körper verdeckten Gliedmaßen und der abgewandten Seite des Darstellers dar. Um dieses Problem zu adressieren, wird eine zusätzliche zweite Kamera verwendet, die die Bewegung der anderen Hälfte des Körpers simultan aufzeichnet. Zur Synchronisation der beiden Aufzeichnungen wird ein markantes Ereignis, das von beiden Kameras aufgezeichnet wird, bei der Verarbeitung in After Effects gesucht, um anhand dessen die Synchronisation vorzunehmen. Sollte dies nicht funktionieren oder eine der Aufnahmen deutlich schlechter zu verwerten sein, wird ausschließlich die geeignetere Aufzeichnung genutzt, um diese, um einen halben Gehzyklus versetzt, auf die andere Körperhälfte im Rig zu übertragen. Diese Methode setzt zwar nur eine Kamera voraus, ruft jedoch das Problem des Twinning hervor, das im Prinzip des „Solid drawing“ bei den *12 Principles of Animation [TJ81]* beschrieben wird und besagt, dass es zu vermeiden ist, Animationen zu spiegeln, um einen glaubhaften Charakter zu erzeugen. Eine gelungene Aufnahme zeichnet sich dadurch aus, dass diese zu jeder Zeit, den gesamten Darsteller, in einer ausreichenden Auflösung, bei einer guten Ausleuchtung, mit möglichst wenig Bewegungsunschärfe und ohne starke Verwacklungen durch die Kameraführung zeigt.

Eine weitere Schwierigkeit, bei der Aufzeichnung einer Gehbewegung, stellt die örtliche Veränderung des Bereichs dar, in dem die festzuhaltende Bewegung stattfindet, in Kombination mit dem begrenzten Blickfeld der Kamera. Um dieser entgegenzuwirken, kann entweder über eine Vielzahl von Kameras, die entlang des Weges aufgestellt sind, die Aufnahmefläche vergrößert oder durch das Mitführen der aufzeichnenden Kamera, mit einem Slider oder Kameramann, die Verschiebung des Blickfeldes, parallel zur Bewegung des Darstellers, angepasst werden. Eine dritte Option stellt die Verwendung eines Laufbandes dar, wodurch die Kamera stationär an einer Stelle verbleiben kann. Da, wie eingangs im Grundlagenkapitel „Die Gehbewegung des Menschen“ erwähnt, sich der Gang eines Menschen auf einem Laufband vom freien Gehen unterscheidet und nur begrenzte Mittel zur Verfügung stehen, ist die Verwendung eines Laufbandes, sowie vieler stationärer Aufnahmegeräte oder eines Sliders, im Rahmen dieser Arbeit nicht realisierbar. In dieser Untersuchung wird deshalb auf zwei Personen zurückgegriffen, die simultan zur Bewegung des Darstellers, jeweils eine Kamera in dieselbe Richtung bewegen.

5.2 Aufnahme der Gehbewegung

Für die Aufzeichnung der Gehbewegung wird der Darsteller zuerst mit farbigen Markierungen versehen, die sich gut von der sonst schwarzen eng anliegenden Kleidung abheben. Für jede Seite kommen insgesamt 12 Marker zum Einsatz, die in Anlehnung an die Struktur des Rigs und der entsprechenden Guides aus der Illustration, an die jeweiligen Gelenkpositionen angebracht sind. Jeder Arm verfügt über vier Markierungen, die an der Schulter, dem Ellbogen, dem Handgelenk und der Hand selbst angebracht sind. Die Beine sind analog hierzu mit Markierungen an der Hüfte, den Knien und den Fußgelenken versehen. Die Füße, beziehungsweise Schuhe, besitzen Marker, die der Position der Ferse, des Ballens und der Fußspitze entsprechen. Ein zusätzlicher Marker auf der Backe und der Mitte des Oberkörpers lassen Rückschlüsse auf die Position des Kopfes und des Oberkörpers während der Gehbewegung zu.

Durch die starke Weiterentwicklung der Kameratechnik, gerade im Smartphone Bereich, bieten moderne Handykameras ebenfalls Spezifikationen, die diese zur Verwendung als Motion Capture Kamera tauglich machen und zugleich weniger als die professionellen Alternativen kosten. Für die in dieser Arbeit erstellten Motion Capture Aufnahmen kommen ein *Samsung Galaxy S9*, sowie *Note 9 Plus* zum Einsatz. Die Kamera der beiden Modelle ist identisch und bietet bei einer Brennweite von 48 mm und einer Auflösung von Full-HD, eine konstante Aufzeichnung von 240 Bildern pro Sekunde.

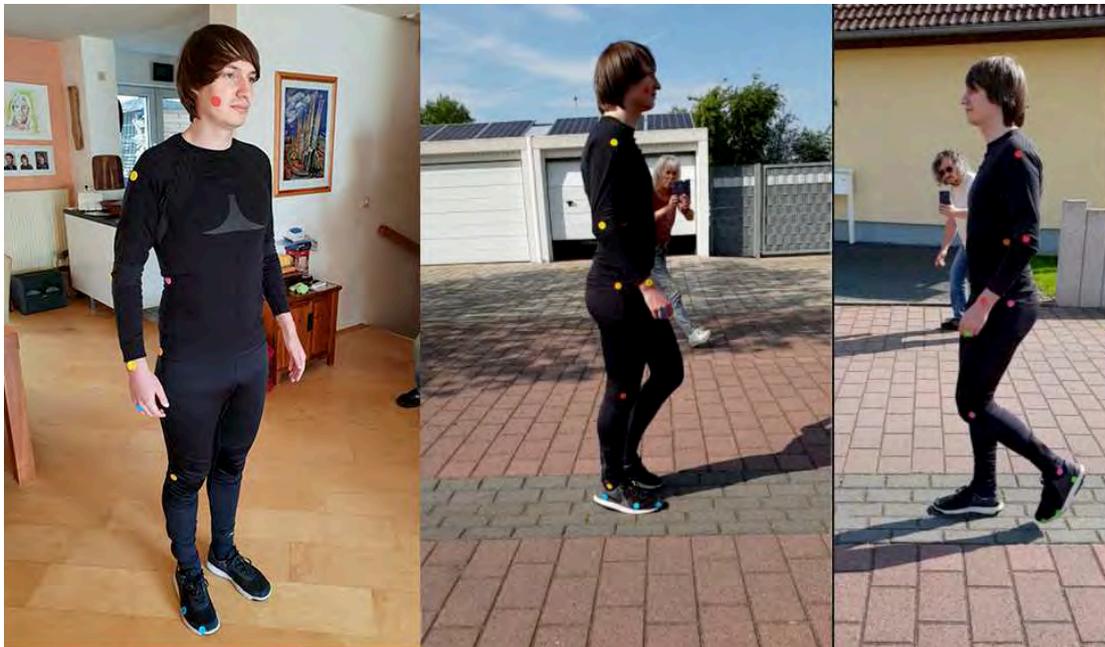


Abbildung 5.1: Aufzeichnung des Motion Capture Materials. Links der mit Markern versehene Darsteller, mittig die Sicht der rechten Kamera, rechts die Sicht der linken Kamera.

Um ein möglichst rauscharmes Bild zu erlangen, finden die Aufzeichnungen bei Sonnenschein im Freien statt. Als Ort für die Aufnahme dient eine wenig befahrene, verkehrsberuhigte Straße in einem Wohngebiet. Durch die gleichmäßige Struktur des Bodenmusters, bildet sie eine geeignete Fläche, als Referenz für die Stabilisierung des per Hand aufgenommenen Videomaterials, bei der nachfolgenden Verarbeitung in After Effects. Der Darsteller läuft während der Aufnahme in der Mitte der Straße, die durch den dort befindlichen Wasserablauf, der sich durch eine andere Steinfarbe vom Rest der Straße abgegrenzt, als Referenz für den Darsteller dient. Die beiden kameraführenden Personen befinden sich in einem konstanten Abstand auf beiden Seiten des Darstellers und verfolgen diesen durch das Mitlaufen während des Gehens. Jede Aufnahme umfasst zwischen sieben und acht Schritte, um sicherzustellen, dass keine Ansätze vom Anfang und der Beendigung der Gehbewegung in der Mitte der Aufnahme enthalten sind. Hierdurch wird die Chance erhöht, einen Zyklus aufzuzeichnen, dessen Beginn und Ende sich möglichst wenig voneinander unterscheidet, um somit einen flüssigen Übergang, bei der wiederholten Wiedergabe derselben Sequenz, bei der späteren Animation gewährleisten zu können. Wie bei der Vorlage für die Illustration des Charakters, wird die Kamera auf mittlerer Höhe des Darstellers gehalten und beim Gehen, mit derselben Geschwindigkeit, parallel zum Darsteller, bewegt.

Bei der Umsetzung, nach dem beschriebenen Prinzip, sind insgesamt acht Aufzeichnungen entstanden, die sich aus vier Durchläufen, mit jeweils zwei Kameraperspektiven, zusammensetzen. Nach jedem Durchlauf wurde die entstandene Aufnahme direkt vor Ort am Handy überprüft und die Qualität der Aufzeichnung bewertet. Neben den im „Konzept und Aufbau“ beschriebenen Kriterien, flossen in die Bewertung der Aufzeichnungen auch die Homogenität der Bewegung, die Haltung des Darstellers, sowie die Kameraführung mit ein. Der Grund für die mehrfachen Versuche war vor allem in der simultanen Mitführung der beiden Kameras, während der Aufzeichnung der Bewegung, zu finden. Die Aufzeichnungen des letzten Durchlaufs lieferten ein zufriedenstellendes Ergebnis und wurden für die nachfolgende Verarbeitung in After Effects weiterverwendet.

5.3 Auslesen der Marker-Bewegungen in After Effects

Durch die Wahl eines nicht speziell dafür konzipierten Aufnahmeverfahrens für die Realisierung einer Motion Capture Aufnahme, bei der durch die Bewegung eine konstante Veränderung des zu erfassenden Bereichs stattfindet, bedarf es mehrerer vorgelagerter Postproduktionsschritte, bevor die Markerbewegungen für die Animation eines Charakters verwendet werden können. Die Aufzeichnung eines Walk Cycles, mit sich bewegenden Kameras, stellt somit gegenüber der Verfolgung einer Bewegung über stationäre, dafür entwickelter Kameras, einen erheblichen Mehraufwand in der Postproduktion dar, deren einzelne Schritte, bis einschließlich der Extraktion der Markerbewegungen, nachfolgend beschrieben und der damit einhergehende Aufwand für den späteren Vergleich dokumentiert werden.

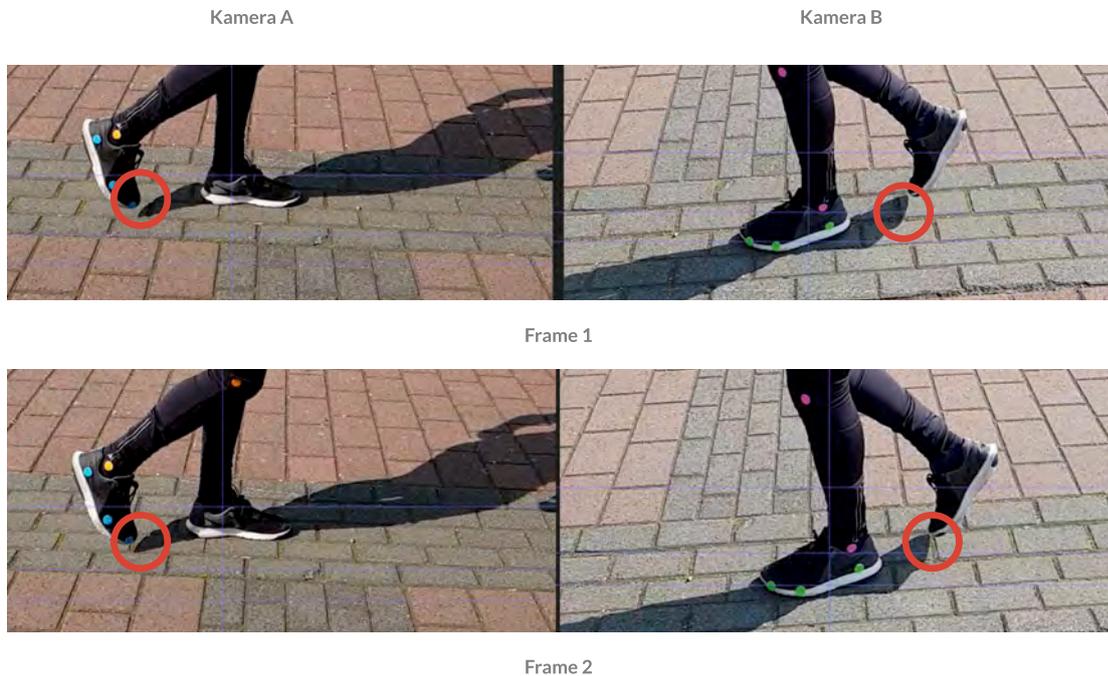


Abbildung 5.2: Die Schattenkonstellation, die zur Videosynchronisation genutzt wird.

5.3.1 Synchronisation der Videoclips

Um beliebig zwischen beiden aufgezeichneten Perspektiven wechseln und die Markerbewegungen beider Seiten kombinieren zu können, ist eine Synchronisation des Videomaterials unerlässlich. Professionelle Kameras verfügen hierfür über spezielle Trigger, die die Aufzeichnungen mehrerer Kameras simultan starten, um so eine Synchronität zwischen diesen herzustellen. Smartphones fehlt diese Funktion, wodurch auf eine alternative Technik zurückgegriffen wird, bei der in einer Aufzeichnung ein markantes, sich zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bildern unterscheidendes Ereignis als Anhaltspunkt genutzt wird, um dieses anschließend in der Aufzeichnung der zweiten Kamera ebenfalls aufzufinden und darüber die Synchronisation der beiden Videospuren vorzunehmen. In der hier verwendeten Aufzeichnung dient eine bestimmte, in Abbildung 5.2 gezeigte Schattenkonstellation als Referenzereignis, über die beide Aufnahmen miteinander synchronisiert und somit die Markerbewegungen beider Seiten, in einem späteren Schritt, kombiniert werden können. Der In und Out-Point beider Clips wird so gewählt, dass diese einen gesamten Zyklus der Gehbewegung und jeweils etwa 60 Bilder zusätzlich an beiden Enden enthalten, um einen gewissen Spielraum, für die Festlegung des Zyklusbeginns, bei der Animation zu gewährleisten.

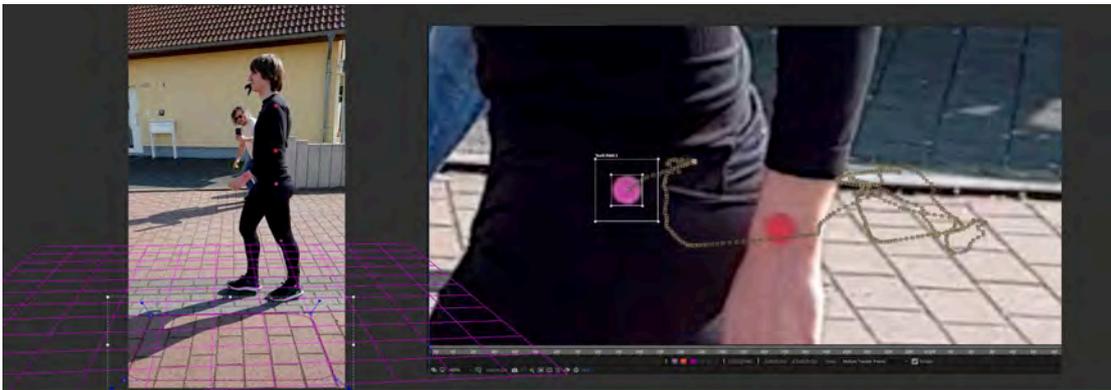


Abbildung 5.3: Verfolgung des Bodens und der Hüfte zur Stabilisierung des Videomaterials

5.3.2 Entkopplung der Bewegungen des Darstellers von der Kamerabewegung

Im Gegensatz zur Aufzeichnung mit statischen Kameras, enthalten die Markerbewegungen, bei einer sich bewegenden Kamera, innerhalb des Bildausschnitts auch Informationen über Positionsveränderungen der Kamera selbst und können daher nicht, ohne eine vorherige Bearbeitung, in der Animation verwendet werden. Mit der Kombination mehrerer Stabilisierungsverfahren ist es möglich, die Bewegung der Kamera weitestgehend von der des Darstellers zu trennen und somit bei der nachfolgenden Verfolgung der einzelnen Marker, nur die Bewegungen des Darstellers als Translationen auf einer Ebene festzuhalten und weiter zu verwenden.

Für die Stabilisierung kommt neben After Effects auch *Mocha Pro*¹, als planares Tracking Werkzeug zum Einsatz, mit dem die Bewegungen der Kamera, anhand der in der Aufnahme enthaltenen Bodenstruktur nachvollzogen wird und den ersten Schritt der Stabilisierung darstellt. Die von Mocha erhobenen Daten werden anschließend, für die Stabilisierung der Aufzeichnungen in der Auf- und Abbewegung, sprich Y-Translation, und der Rotation, angewendet und zurück in After Effects überführt. Nach diesem Schritt sind mit einer Hilfslinie auf der Höhe des Bodens, auf der die Schuhe des Darstellers mit diesem in Kontakt kommen, weiterhin leichte Abweichungen festzustellen, die über einen manuellen Eingriff mittels einzelner Keyframes ausgebessert werden. Somit kann die Auf-beziehungswise Abwärtsbewegung und Rotation der Kamera, weitestgehend auf Grundlage der Bodenstruktur ausgeglichen werden, ohne die beim Gehen typische Höhenveränderung der Oberkörpers zu entfernen.

In einem weiteren Schritt wird, hierauf aufbauend, die sich verändernde Position des Darstellers in der X-Achse ausgeglichen, um diesen für die Animation des Walk Cycles zu zentrieren. Hierfür dient der an der Hüfte angebrachte Marker als Referenz, um anhand dessen Bewegung eine exakt gegenläufige Verschiebung des Videomaterials vorzunehmen. Für die

¹<https://borisfx.com/products/mocha-pro/>

Verfolgung des Markers an der Hüfte, kommt der in After Effects integrierte Motion Tracker zum Einsatz. Über zwei ineinander liegende Flächen kann hierbei das zu verfolgende Objekt, sowie der Radius, in dem um das Objekt herum, im nachfolgenden Frame nach demselben Muster gesucht werden soll, bestimmt werden, um so die 2D Koordinaten des Objekts in jedem Bild festzuhalten. Aus diesen 2D Koordinaten werden die X-Koordinaten, auf eine in After Effects erstellte, virtuelle Kamera übertragen, die der Brennweite der ursprünglichen Aufnahme entspricht. Um die Bewegungen der virtuellen Kamera auf die Videoebene anzuwenden, wird diese in den 3D Modus versetzt. Durch das Blickfeld der virtuellen Kamera, die die Bewegungen der Hüftmarkierung in der X-Achse imitiert, werden sämtliche Verschiebungen der X-Achse auf Höhe der Hüfte ausgeschlossen und somit ein fixer Ausgangspunkt für die gesamte Animation geschaffen.

5.3.3 Extraktion und Zusammenführung der Markerbewegungen

Zum Auslesen der Position, der jeweiligen Markierung innerhalb jedes Bildes, kommt das bereits bei der Stabilisierung beschriebene, in After Effects integrierte, Motion Tracking Verfahren zum Einsatz. Jede Markierung wird dabei verfolgt und die Position zur späteren Nutzung anschließend auf ein Null-Objekt übertragen.

Während der Verfolgung der Markierungen bei der Gehbewegung kommt es vor, dass sich deren Form zwischen zwei Bildern stark verändert oder von einer anderen Gliedmaße verdeckt wird und der Bezug zur ursprünglich zu verfolgenden Markierung verloren geht. In diesem Fall wird entweder die Verfolgung für diesen Zeitraum ausgesetzt und interpoliert, oder, falls der Marker noch sichtbar ist, aber nicht mehr vom Algorithmus erkannt wird, das Erkennungsmuster angepasst oder die Position manuell festgelegt. Bei den hier analysierten Aufnahmen der Gehbewegung wird beim Tracking der Hüftposition, sowie der Fußspitzen manuell eingegriffen, um eine saubere Verfolgung der Bewegung für die Animation sicherzustellen. Über den Graph Editor werden die Ergebnisse anschließend nochmals überprüft und innerhalb weniger Keyframes auftretende Sprünge entfernt.

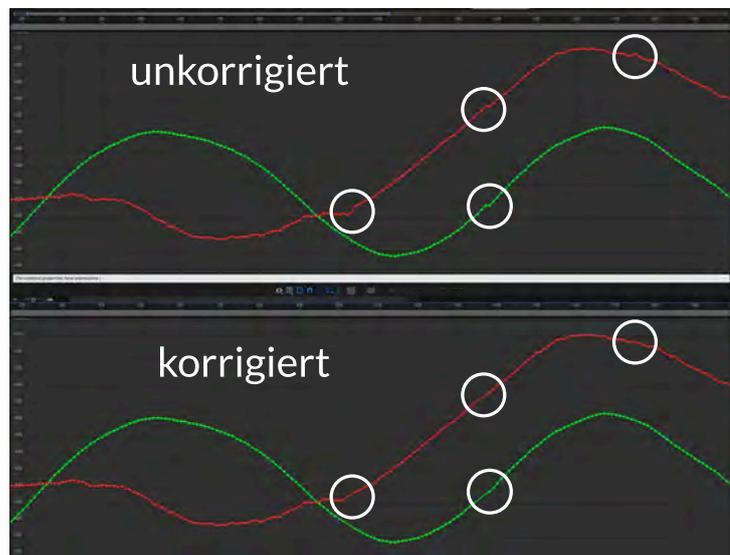


Abbildung 5.4: Sprünge bei der Markerverfolgung

Für die darauf aufbauende Verknüpfung der beiden Charaktere, werden die in Null-Objekten gehaltenen Markerpositionen beider Seiten, in eine separate Szene kopiert, um dort weiterverarbeitet zu werden. Für beide Perspektiven wird jeweils ein Controller erstellt, über den alle Marker der zugehörigen Seite verknüpft und somit verschoben werden können. Die Position der Hüfte gilt dabei als Referenz für den Mittelpunkt der jeweiligen Perspektive und wird, mit Hilfe des ergänzten Controllers, mittig in der Szene platziert. Über die Skalierung des Controllers wird anschließend eine Seite gespiegelt, damit beide Seiten die Gehbewegung, wie in Abbildung 5.5 zu sehen, in derselben Richtung darstellen. Im nachfolgenden Kapitel wird auf diesem Stand der Datenaufbereitung aufgesetzt und weitere spezifische Änderungen vorgenommen, um die vorliegenden Daten auf das Rig zu übertragen.

5.4 Aufwands- und Ressourcenanalyse

Für die Erhebung der 2D Motion Capture Daten kamen simple, selbstklebende, bunte Schaumstoff-Kreise zum Einsatz, die von einem *Samsung Galaxy S9*, sowie einem *Note 9 Plus* aufgezeichnet wurden. Die nachfolgende Weiterverarbeitung und Stabilisierung der Aufzeichnungen erfolgte über Mocha Pro und After Effects auf einem Rechner mit i7 2600k bei 4,2 GHz, 16GB 1600 MHz DDR3 RAM und einer Nvidia GeForce GTX 1080 Ti. Die benötigte Zeit zur Aufzeichnung des Walk Cycles ist mit insgesamt einer Stunde und 34 Minuten als deutlich weniger aufwendig zu betrachten, als die nachfolgende Stabilisierung und Erhebung der Markerpositionen aus den beiden Videos, die mit einem Aufwand von 8 Stunden und 43 Minuten, den Hauptteil der insgesamt benötigten Zeit ausmachen. Vor allem, die durch das Aufzeichnungsverfahren geschuldete, notwendige Stabilisierung des Videomaterials nimmt besonders viel Zeit in Anspruch. Das Auslesen der insgesamt 24 Marker,



Abbildung 5.5: Links die Liste aller erfassten Marker, mittig und rechts die Visualisierung der extrahierten Markerpositionen.

bei 240 Bildern pro Sekunde über einen Zeitraum von 1,5 Sekunden lässt sich im Mittel auf etwa 4,5 Minuten pro Marker festlegen.

5. 2D MOTION CAPTURE

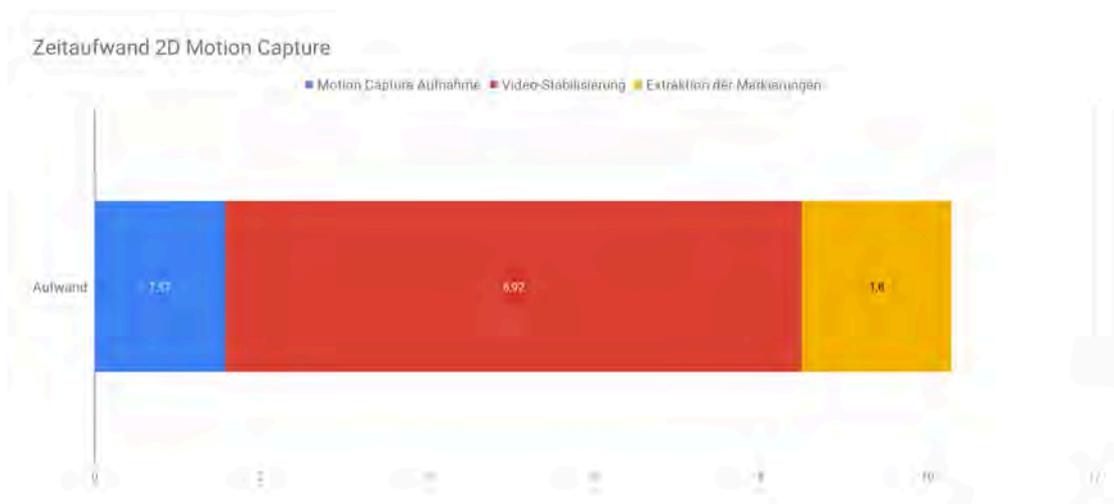


Abbildung 5.6: Zeitaufwand beim 2D Motion Capture

Kapitel 6

Animation der Charaktere

In diesem Kapitel werden die zuvor erstellten Charaktere jeweils mittels Pose to Pose Verfahren und mit den, im vorherigen Kapitel erhobenen, Motion Capture Daten animiert, um anhand dieser, die Unterschiede in der Qualität der Ergebnisse und in Relation zur benötigten Zeit, bei der Anwendung im 2D Bereich im Kapitel 7 zu untersuchen. Animiert werden insgesamt vier Walk Cycles, die sich aus den zwei unterschiedlichen Charakteren, die jeweils mit beiden Verfahren animiert werden, zusammensetzen.

Als Referenz dienen jeweils die Aufzeichnungen des Motion Capture Materials, um Unterschiede in der Animation, auf das Verfahren zurückführen zu können. Bei beiden wird mit dem Charakter, der die korrekten Proportionen aufweist, begonnen, um anschließend die Übertragbarkeit, auf die abgeänderten Körpermaße des zweiten Charakters untersuchen zu können.

6.1 Pose to Pose

Nachfolgend wird auf den Entstehungsprozess des Walk Cycles mittels des Pose to Pose Verfahrens innerhalb After Effects eingegangen und der Entstehungsprozess dokumentiert, sowie der dabei entstandene Aufwand festgehalten. Für die Umsetzung werden ausschließlich die vom Rig zur Verfügung gestellten Controller und etablierte Vorgehensweisen und Techniken, wie sie auch in der realen Produktion zum Einsatz kommen würden, genutzt. Außerdem wird auf Möglichkeiten und Voraussetzungen zur Übertragbarkeit der Animation eingegangen und das Vorgehen hierbei beschrieben. Ebenfalls werden in diesem Zusammenhang zwei unterschiedliche Ansätze, für die Animation der Arme und Beine verwendet, um diese ebenfalls auf ihre Eignung für die Übertragbarkeit hin zu überprüfen.

6.1.1 Extremes

Für die Animation des Walk Cycles wird der Charakter, durch die vom Rig zur Verfügung stehenden Controller, im ersten Schritt anhand der vier typischen Posen *Contact*, *Down*, *Passing* und *Up* ausgerichtet. Für eine einfachere Verfeinerung der Bewegung und um die

Untersuchungen an die typischerweise begrenzt zur Verfügung stehenden Zeit in der Produktion anzulehnen, wird dabei nur die zum Zuschauer gerichtete Seite für einen gesamten Zyklus ausgerichtet und deren Bewegungen über Expressions, mit einem zeitlichen Versatz auf die Controller, für die Steuerung der gegenüberliegenden Seite, übertragen. Dies betrifft alle Controller, die in doppelter Ausführung vorliegen, sprich alle, die für Animation der Arme und Beine zuständig sind.

Listing 6.1: Expression zur Spiegelung der Animation

```
#Code 1
- thisComp.layer("C_1_Arm").transform.position;

#Code 2
t= time + 0.52;
thisComp.layer("C_1_Foot_Tip").transform.position.valueAtTime(t);
```

Die normalerweise auf zwei Controller aufgeteilte Animation eines halben Zyklus, der anschließend auf den jeweils anderen kopiert wird, wodurch bei Änderungen beide Controller angepasst werden müssten, ist, durch den hier gewählten Ansatz, auf beiden Seiten über einen Controller möglich. Um immer wieder zur Ausgangspose zurückkehren zu können, werden vor der ersten Veränderung alle Controller mittels einer Funktion in Duik genullt, sprich die Position jedes Controllers auf *Null* gesetzt, ohne dabei seine bisherige Position zu verändern. Alle, als Translation beschriebenen Veränderungen, lassen sich somit einfach als Abweichung zur Ursprungsposition ausdrücken, was auch für die spätere Übertragbarkeit der Animation von Relevanz ist.

Die Ausrichtung der Arme erfolgt mittels der *vorwärtsgerichteten Kinematik*, um das im Rig zur Verfügung stehende, automatische *Overlap and Follow-through* für die Animation der Hände zu nutzen. Die Pose des Arms wird somit über die Rotation der Schulter und des Ellbogens, sowie die Steife des Handgelenks, vorgenommen. Über die, während des Riggings zusätzlich ergänzten Schulter Controller, wird die Position des gesamten Arms, als Translation in X und Y Richtung festgelegt. Die Beine werden mittels *inverser Kinematik* ausgerichtet, bei der über die Position des Fußes, die Stellung des Ober- und Unterschenkels vom Algorithmus bestimmt wird. Der Fuß selbst wird über die Rotation des Fußgelenks, dem Foot-roll-Winkel und der Rotation der Fußzehen bestimmt. Bei der *PreSwing-Phase*, wird über den, während des Riggings zusätzlich ergänzten Controller an der Fußspitze Einfluss auf die Verformung der Fußspitze mittels Translationen genommen.

Der über zwei Hüft-, einem Wirbelsäulen- und Nackencontroller beeinflussbare Oberkörper des Charakters, wird ebenfalls über Translationen ausgerichtet. Da der Charakter auf der Stelle läuft, werden an der Verbindungsstelle zwischen den Beinen und der Hüfte nur Veränderungen in der Höhe, sprich Veränderungen in der Y-Achse animiert. Das Kippen der Hüfte nach vorne und hinten wird wiederum über Translationen in der Waagerechten, also der X-Achse des zweiten Hüftcontrollers, umgesetzt. Selbiges gilt für die Wirbelsäule und den Nacken. Der mit dem Nacken verbundene Hals und Kopf werden über Winkelveränderung

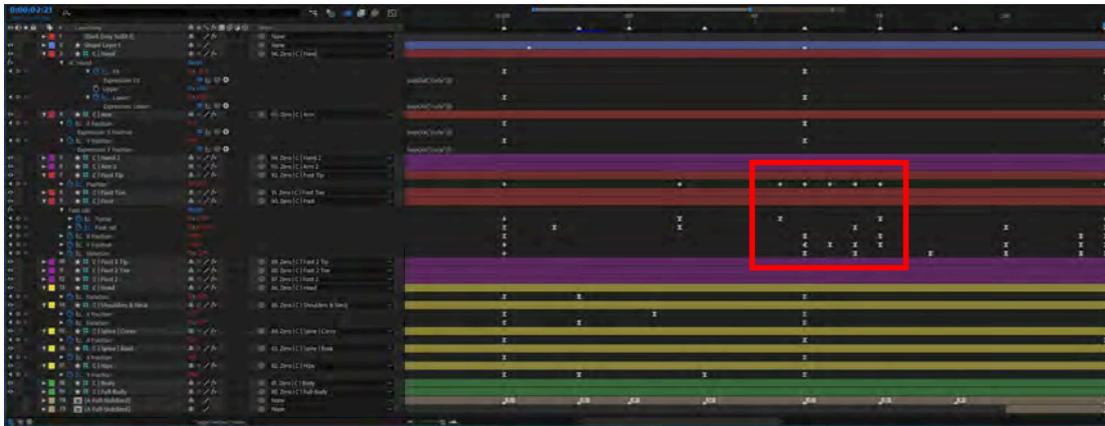


Abbildung 6.1: Keyframes beim Abstoßen vom Boden

ausgerichtet und positioniert.

Als Grundlage für jede der Posen dient das stabilisierte Videomaterial aus der Motion Capture Aufnahme, das die rechte Seite des Darstellers zeigt. Auch das grundlegende Timing, also zu welcher Zeit welche Pose erreicht sein muss, wird auf Basis dieser Aufzeichnungen festgelegt, um dieselbe Geschwindigkeit und damit Zeit zur Vollführung eines Zyklus, für den Vergleich der Animation zu vereinfachen. Die Posen werden dabei ausgehend vom hierarchisch höchstliegenden Element erstellt. Angefangen bei der Hüfte, werden nachfolgend die Beine, der Oberkörper, der Kopf und letztlich die Arme entsprechend ausgerichtet.

Um einen flüssigen Übergang zwischen dem ersten und letzten Frame der Animation zu gewährleisten, entspricht der letzte Keyframe des Zyklus, dem des ersten. Beim hier erstellten Walk Cycle, entspricht dabei ein vollständiger Zyklus der Zykluslänge für die Bewegung eines Arms oder Beins. Die Bewegungen der Hüfte und des Kopfs wiederholen sich mit der doppelten Frequenz, da Ereignisse, wie die *Contact Pose* von beiden Beinen, in einem Zyklus jeweils einmal auftreten.

6.1.2 Zwischen-Posen

Auf Grundlage, der inklusive der Rückführung zur *Contact Phase*, insgesamt fünf Posen auf der Zeitleiste, werden zwischen diesen weitere *Inbetweens* ergänzt, um den Verlauf der Bewegung zu verfeinern. Zusätzliche Keyframes werden dabei vor allem in der *PreSwing*- und *Swing-Phase* am Fußcontroller ergänzt, um den kritischen Zustand beim Abrollen über die Fußsohle bis zur Fußspitze genauer zu bestimmen. In der Abbildung 6.1 ist dies, über die deutlich erhöhte Anzahl an Keyframes in diesem Bereich, ebenfalls zu erkennen.

In der *Swing-Phase* wurden zusätzliche Änderungen vorgenommen, um den Winkel und die Höhe des Fußes, nach dem Kontaktverlust zum Boden, anzupassen. Für die Fußstellung dient

erneut die stabilisierte Aufzeichnung als Grundlage. Bei der *Terminal Swing Phase* werden ebenfalls zusätzliche Änderungen vorgenommen, um einen weicheren Übergang zwischen der *Swing-* und *Contact-Phase* beim *Loopen* herzustellen. Hierbei wird die Ausrichtung des Fußes so angepasst, dass dieser sich mit nur vier Grad Differenz zur *Initial Contact Pose*, stark annähert und sich oberhalb der Position in der *IC* befindet.

6.1.3 Timing

Auch wenn das grundlegende Timing, sowie Posen bereits durch die Aufzeichnung vorgegeben sind, bedarf es zusätzlicher Änderungen, um einen flüssigen Ablauf der nach dem Pose to Pose Verfahren entstandenen Bewegungen zu realisieren. Ab diesem Schritt wird nicht mehr auf die Aufzeichnungen als Referenz zurückgegriffen und stattdessen auf die Erfahrungen des Animators gesetzt. Zur Umsetzung aller Timingveränderungen, wird auf den *Graph-Editor* von After Effects gewechselt, um den zeitlichen Verlauf der Wertveränderungen besser beurteilen zu können und sprunghafte Veränderungen zu lokalisieren. Die bis hierhin lineare Interpolation wird dabei größtenteils von der Beziér Interpolation ersetzt, wobei alle Kontrollpolygone ebenfalls separat angepasst werden, um den gewünschten Übergang zu erstellen. Bei der Position der Füße werden bei diesem Schritt die X und Y Achse getrennt voneinander betrachtet, um unnötige Keyframes entfernen zu können und eine flüssigere Bewegung zu erzeugen. Die vor- und rückwärtige Bewegung des Fußes auf der X-Achse wird so mit fünf Keyframes beschrieben, wogegen für das Anheben und Senken des Fußes acht Keyframes zum Einsatz kommen. Durch die zeitliche Veränderung werden auch bereits bestehende Keyframes nochmals in ihren Werten angepasst, um den neuen Gegebenheiten zu entsprechen. Das Zusammenspiel zwischen der Position der Hüfte und des Fußes ist bei diesem Prozess als besonders kritisch einzustufen, da sehr einfach Überstreckungen des Beins stattfinden können, die beim Zurückführen zu einem sprunghaften Einknicken des Knies und damit unnatürlichen Bewegungen führen.

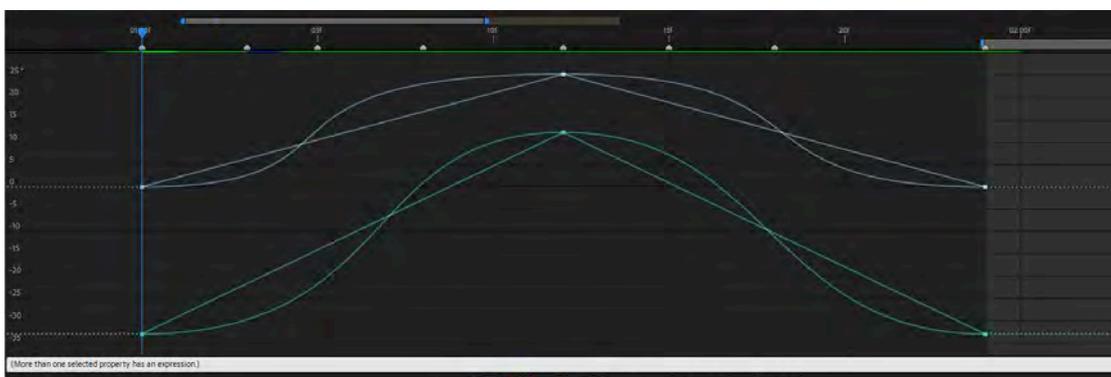


Abbildung 6.2: Wechseln des Interpolationsverfahrens bei Pose to Pose

6.1.4 Anwendung auf den zweiten Charakter

Das Rig des zweiten Charakters mit veränderten Proportionen ist von seinem Funktionsumfang deckungsgleich zu dem, des bereits nach dem Pose to Pose Verfahren animierten. Dadurch ist es möglich, die dabei entstandenen Keyframes, ohne den Einsatz aufwendiger Retargeting Techniken, auf das zweite Rig zu übertragen. Einzige Voraussetzung hierfür ist das bereits voran beschriebene *Nullen* aller Controller. Der Ausgangspunkt einer jeden Veränderung ist damit zwischen den beiden Rigs identisch und nur die Veränderung zu diesem Ausgangspunkt wird, statt der realen Position, innerhalb der Szene übertragen. Ebenfalls übernommen werden die Expressions für das Überführen der Bewegungen auf die Controller, der vom Zuschauer abgewandten Seite.

Der kürzere Oberkörper und die damit einhergehende Neupositionierung aller damit verbundenen Körperteile, ist nur mit einem geringen zusätzlichen Aufwand bei der Übertragung verbunden. Während, die mit Hilfe der vorwärtsgerichteten Kinematik umgesetzte Animation des Arms, als Rotation der einzelnen Gelenke ohne weitere Anpassungen übernommen werden kann, müssen die Translationen der Schulter in der Y-Achse entsprechend skaliert werden, um den neuen Proportionen gerecht zu werden. Für die Anpassung wird der mittlere, der aus insgesamt drei Keyframes bestehende Translation mit den Werten 0, -6 und 0 auf -4 angepasst. Da sich der Oberkörper nur in der Höhe, nicht aber in der Breite vom ursprünglichen Charakter unterscheidet, kann auf eine Skalierung aller Translationen auf der X-Achse, zu denen alle restlichen Controller des Oberkörpers gehören, sprich der obere Teil der Hüfte, die Wirbelsäule und der Nacken, verzichtet werden.

Die verkürzte Schrittweite beim zweiten Charakter, die durch die Verkürzung der Ober- und Unterschenkel und die Verschlanung der Unterschenkel entstanden ist, bedarf hingegen erneut entsprechender Anpassungen. Durch die Verwendung der inversen Kinematik und der damit verbundenen Bestimmung der Pose des Beins über die Position des Fußes, muss diese für die Verwendung beim zweiten Charakter angepasst werden, um dem ursprünglichen Erscheinungsbild zu entsprechen. Den einfachsten Lösungsansatz stellt das im Rig zur Verfügung stehende Ausschalten des automatischen Überstreckens des Beins dar und erfordert nur die Deaktivierung einer Eigenschaft im Rig. Hierdurch werden alle Bewegungen, die außerhalb des vom Bein natürlich erreichbaren Bereichs liegen, als Richtungsangabe für das ausgestreckte Bein übernommen. Das Bein behält dadurch seine ursprüngliche Form, verbleibt allerdings deutlich länger in einer vollständig gestreckten Position und entspricht damit nicht der ursprünglich definierten Pose des Beins. In dieser Untersuchung wird daher auf die etwas aufwendigere Stauchung aller Positionen des Fußes gesetzt, um die ursprüngliche Pose des Beins wiederherzustellen. Über den *Graph Editor* werden zunächst alle Keyframes der X-Achse markiert und anschließend gemeinsam skaliert, bis diese der Schrittweite des zweiten Charakters entsprechen. Für die auf der Y-Achse liegenden Keyframes wird dies ebenfalls vorgenommen, um neben den verkürzten Beinen auch den kleineren Schuh zu berücksichtigen. Für die separate Kontrolle der Fußspitze über den zusätzlichen Controller, sowie das Auf- und Abschwingen der Hüfte, die ebenfalls als Translation festgelegt ist, wird auch diese Methode eingesetzt.



Abbildung 6.3: Keyframe-Übertragung bei Pose to Pose, links zu sehen sind die Probleme bei der Schrittweite direkt nach dem Übertragen, rechts der angepasste Abstand.

6.1.5 Aufwand und Ergebnis

Die Animation des Walk Cycles nach dem Pose to Pose Verfahren hat insgesamt 9 Stunden und 11 Minuten in Anspruch genommen, von denen 37 Minuten auf die Übertragung der Animation entfallen. Der größte Zeitaufwand ist der Verfeinerung und insbesondere dem Timing und der damit einhergehenden Neuausrichtung einzelner Körperteile zuzuschreiben. Wie auch für die vorangegangenen Schritte, wurden alle Animationen von derselben Person erstellt, die eine einjährige Berufserfahrung im Bereich Motion Design, sowie einen erfolgreich absolvierten Studiengang im Bereich Character Animation vorweisen kann.

Insgesamt besteht der Walk Cycle beider Charaktere aus jeweils 69 Keyframes, die auf 25 Bilder bei 25 FPS verteilt sind. Da der erste und letzte Frame identisch sind, resultiert hieraus eine um einen Frame kürzere Zyklusdauer von 24 Bildern. Die Renderzeit der beiden Animationen, in einer Auflösung von 1080 × 1080 Pixeln, betrug in beiden Fällen eine Sekunde, wobei für die Erhebung dieses Wertes der selbe Rechner zum Einsatz kam, der auch im Kapitel 5 2D Motion Capture genutzt wurde.



Abbildung 6.4: Die vollendete Pose to Pose Animation

6.2 Motion Capture

Aufbauend auf derselben Ausgangslage wie beim Pose to Pose Verfahren, wird nachfolgend der Prozess der Anwendung von 2D Motion Capture Daten, für die Animation eines Walk Cycles, dargelegt und die zur Umsetzung benötigte Zeit festgehalten. Für die Animation werden die im Kapitel 5 erhobenen Daten verwendet, die vor der Übertragung auf die beiden Charaktere so angepasst werden, dass ein flüssiger Bewegungsablauf beim wiederholten Abspielen gewährleistet ist. Für die erstmalige Übertragung auf das Rig, dem sogenannten *Solving*, werden zwei unterschiedliche Ansätze exemplarisch an den Beinen und Füßen getestet, um, aufbauend auf den daraus gewonnenen Erkenntnissen, das gesamte Rig nach diesem Verfahren zu animieren und diese anschließend auf den zweiten Charakter zu übertragen. Für einen einfacheren Vergleich, bei der späteren Beurteilung der Qualität der Ergebnisse, beginnt der Walk Cycle, wie bei der Pose to Pose Animation, in der *Initial Contact Pose*.

6.2.1 Aufbereitung Motion Capture Daten

Die im vorangegangenen Kapitel erhobenen, in *Null-Objekten* gespeicherten Positionsdaten jedes Markers bilden etwas mehr als einen vollständigen Zyklus ab, um den Beginn mit dem, in der Pose to Pose Animation genutzten, ersten Referenz Bild angleichen zu können. Alle überschüssigen Keyframes, die sich außerhalb des in der Pose to Pose Animation als Referenz genutzten Zyklus befinden, werden daher entfernt und der In- und Out-Point dementsprechend festgelegt. Da für beide Verfahren dieselbe Aufzeichnung als Referenz dient, ist die



Abbildung 6.5: Die Angleichung des letzten an den ersten Keyframe mittels Expression. Im rechten Teil des Bildes sieht man die veränderte Kurve.

Zyklusdauer sowie die Grundlage für beide Animationen identisch und Unterschiede im Ergebnis sind daher leichter auf das jeweilige Verfahren zurückzuführen. Wie bei der Pose to Pose Animation, wird in einer Komposition mit 25 Bildern pro Sekunde gearbeitet.

Um Sprünge beim Übergang zwischen dem ersten und letzten Bild zu vermeiden, wird der Wert aller Keyframes am Ende des Zyklus an die des ersten angeglichen. Für die Umsetzung wird, mit Hilfe von Expressions, eine Möglichkeit zum Überblenden in die Anfangspose, mittels *Motion Blending*, geschaffen. Hierzu wird in die Positionskomponente jedes Marker-Null-Objekts, die in Listing 6.2 gezeigte Expression ergänzt, sowie ein zusätzliches Null-Objekt mit einem Slider als Controller erstellt, über den, mittels zusätzlicher Keyframes, auf den Grad der Überblendung Einfluss genommen werden kann. Die Expression greift diesen Wert auf, um auf dessen Grundlage die Gewichtung zwischen der eigenen Position zu einer Zeit und der Position zur Ausgangslage zu bestimmen. Über zwei Keyframes wird so Einfluss auf die letzten zwei Bilder des Zyklus genommen, um diese der Anfangspose anzunähern.

Listing 6.2: Expression zur Realisierung von Motion Blending

```
target = key(1).value;
blendFactor = thisComp.layer("Master-Blend").effect("BlendFactor")("Slider");
result = (1-blendFactor)*value + blendFactor*target;
result;
```

6.2.2 Solving

Das Rig beider Charaktere unterstützt für die Arme und Beine sowohl die Animation mittels Translations-, als auch Rotationsparameter. Für die Übertragung der Motion Capture Daten, werden daher zunächst am Beispiel der Beine und Füße beide Verfahren getestet und auf Grundlage der dabei gewonnenen Erkenntnisse, der Rest des Charakters, soweit möglich, nach dem Verfahren, das ein besseres Verhältnis zwischen Aufwand und Ergebnis liefert, animiert. Der für das Testen benötigte Zeitaufwand fließt nicht mit in die benötigte Zeit für die

Animation mittels Motion Capture mit ein. Die gewonnenen Erkenntnisse werden aber beim abschließenden Vergleich der beiden Methoden mit einbezogen, um ein umfassenderes Bild für die verschiedenen Arten der Übertragung von Motion Capture Material auf Charaktere liefern zu können.

6.2.3 Übertragung als Translation

Obwohl für die Illustration des Charakters derselbe Darsteller wie für die Aufzeichnung der Motion Capture Daten als Grundlage dient, ist bei der Übertragung der Werte als Translation eine nachträgliche Korrektur notwendig, um die Markerpositionen mit den Positionen der Controller übereinstimmen zu lassen. Das Angleichen der Motion Capture Marker erfolgt dabei über Verschieben und Skalieren dieser auf der X und Y Achse. Hierzu kommen jeweils an der Verbindung zwischen Hüfte und Oberschenkel und am Fußgelenk ergänzte Null-Objekte zum Einsatz, über die separat Einfluss auf die Position, Länge und Breite des Beines und des Fußes genommen werden kann. Der Marker am Fußgelenk wird anschließend mittels *Parenting* mit dem Rig-Controller für den Fuß verknüpft. Das *IK-System* übernimmt dabei die Ausrichtung des Ober- und Unterschenkels. Die Stellung des Fußes und insbesondere der Zehen wird über das *Parenting* der, während des Riggings, zusätzlich erstellten Controller an der Fußspitze und auf Höhe des Ballens, umgesetzt.

6.2.4 Übertragung als Rotation

Um die Animation mittels Rotationsdaten umzusetzen, wird das Rig des Beins von *IK* auf *FK* umgeschaltet, wodurch über Winkel für die Hüfte und das Knie, die Position des Beins und über das Fußgelenk, sowie einer Rotationsachse am Fußballen, die Ausrichtung des Fußes und der Zehen festgelegt wird. Um diese einzelnen Parameter mit Werten zu versorgen, wird mittels einer Expression in der Rotationseigenschaft jedes Marker-Null-Objekts, aus der eigenen Position und der Position des in der Hierarchie darunterliegenden Objekts der jeweilige Winkel berechnet, der anschließend an den Controller im Rig weitergereicht wird. Da die Positionen der Marker über *Parenting* bereits mit anderen Objekten verbunden sind, um diese zu spiegeln und gemeinsam zu verschieben, wird mittels „toComp“ auf ein gemeinsames Koordinatensystem für die Berechnung zurückgegriffen. Die -90 Grad bei der Winkelberechnung sind der Angleichung an die einzelnen Controller-Eigenschaften im Rig geschuldet, deren Nullpunkt um -90 Grad gedreht ist. Das Ergebnis der Expression liefert den Winkel zwischen zwei Punkten, zwischen 0 und 360 Grad.

Listing 6.3: Expression zur Winkelberechnung zwischen der eigenen Position und einem anderen Punkt

```
layer = effect("Rotation-Target")("Layer");
p1 = layer.toComp(layer.transform.anchorPoint);
p2 = thisLayer.toComp(thisLayer.transform.anchorPoint);
p = p2 - p1;
angle = radiansToDegrees(Math.atan2(p[1], p[0])) -90
if (angle < 0) angle += 360
angle;
```

6.2.5 Vergleich zwischen Translation und Rotation

Sowohl beim Erscheinungsbild, als auch beim zeitlichen Aufwand, ist die Übertragung der Motion Capture Daten, als Rotationsdaten für das Rig, der Translations-Variante vorzuziehen. Bei einem direkten Vergleich der beiden Bewegungen wirkt das Verhältnis bei der Translations-Variante zwischen Fuß und Hüfte nicht korrekt, was in einer deutlich zu langen Streckung oder beim manuellen Heruntersetzen der Hüfte zur Stauchung des Beins führt und damit unnatürlich wirkt. Hervorgerufen wird dies durch die notwendige manuelle Anpassung der Markerpositionen, um mit der Position der Rig Controller übereinzustimmen, was eine nachträgliche Skalierung und teils manuelle Anpassung der Hüftbewegungen nach sich zieht. Bei der Übertragung als Rotation treten diese Probleme nicht auf, der Gang des Charakters wirkt natürlich und gleicht dem des Ausgangsmaterials. Das Ergänzen der Expression innerhalb weniger Sekunden stellt darüber hinaus einen deutlich geringeren Aufwand als die manuelle Ausrichtung und Angleichung der Translations-Variante dar, die mehrere Minuten in Anspruch nimmt. Auf Basis dieser Erkenntnisse und der vorangegangenen Erfahrungen bei Übertragung der Animation beim Pose to Pose Verfahren, bei der Rotationen ebenfalls der Translationen vorzuziehen sind, werden, soweit möglich, alle Motion Capture Aufzeichnungen als Rotationen auf das Rig übertragen.

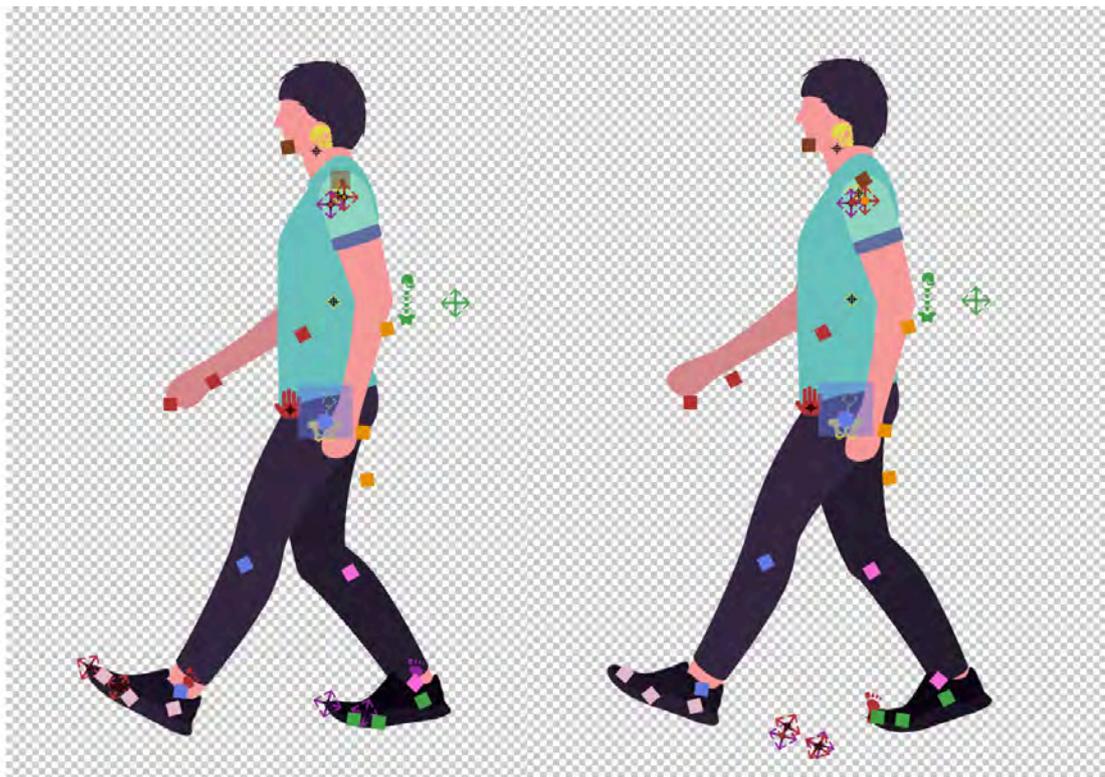


Abbildung 6.6: Vergleich der mittels Translation (links) und Rotation (rechts) angewendeten Motion Capture Daten

6.2.6 Retargeting

Die beim Solving vorgestellte Expression wird für die Animation des Halses und Kopfes, der Arme und Hände, sowie für die Beine und Füße umgesetzt. Hierbei wird jeweils aus der Position zweier Marker, die den Anfang und das Ende der jeweiligen Gliedmaßen markieren, der Winkel kontinuierlich berechnet und auf die entsprechenden Eigenschaften in den Controllern übertragen. Da für die Arme und Beine jedes hierarchisch unterlegene Element ebenfalls die Rotation des darüberliegenden enthält, was aber in den Controllern nicht mit berücksichtigt wird, müssen diese bei der Berechnung ebenfalls, wie in Listing 6.4 aufgezeigt, beachtet und die Rotationen der hierarchisch höher liegenden Elemente abgezogen werden. Nicht als Rotation dargestellt werden können die Bewegungen der Schulter und des Oberkörpers, sowie der Hüfte. Für diese wird auf die Übertragung, der während des Motion Captures erhobenen Translationen, zurückgegriffen.

Listing 6.4: Expression zur Winkelkompensation

```
thisComp.layer("Knee").transform.rotation + value - effect("IK_L_Foot")("Upper");
```

Da die Bewegungen der Schultern, in der Aufnahme so stark ausgeprägt sind, dass diese sich teilweise außerhalb der Form des Oberkörpers befinden, wird für die Verknüpfung der Schulter Controller mit dem Motion Capture Material ein zusätzliches Null-Objekt zwischengeschaltet, mit dem, über die Skalierung, die Intensität der gesamten Bewegung von ursprünglich 100% auf 30% reduziert wird. Das Vorgehen wird für die zweite Schulter ebenfalls wiederholt, um die Ursprungsbewegung auf 35% zu reduzieren. Als Ursache für diese große Diskrepanz zwischen den Motion Capture Aufzeichnungen und der Illustration ist die beim Laufen typische Drehung des gesamten Oberkörpers, bei der sich die Position der Schultern mit verschiebt, auszumachen. Da in dieser Animation der Oberkörper als flache Ebene vorliegt, kann diese Drehung nur in einem deutlich geringeren Ausmaß nachempfunden werden. Zur Umsetzung wird hierfür die Translation der vorderen Schulter auf der X-Achse, mit dem Controller zur Bestimmung des Wirbelsäulenverlaufs, der sich auf der mittleren Höhe des Oberkörpers befindet, verknüpft. So kann der Bauch und Brustkorbbereich, in Abhängigkeit von der Position der Schulter, etwas nach vorne und hinten verschoben werden, um den Eindruck einer Oberkörperrotation zu schaffen.

Für die Position der Hüfte dient die zum Betrachter gerichtete Seite der Motion Capture Aufnahme als Referenz. Da dieser Punkt bereits als Ausgangspunkt für die Stabilisierung in der X-Achse herangezogen wurde und der Charakter während des Walk Cycles auf der Stelle gehen soll, werden für die Hüfte ausschließlich Translationen in der Y-Achse übernommen. Um die Ausrichtung und Winkel, des vom Zuschauer abgewandten Beines, entsprechend der Hüfthöhe der vorderen Seite anzugleichen, übernimmt die hinten liegende Hüftposition die Werte der vorderen. Da die Ausrichtung der Beine über die Position der Hüfte, des Knies und des Fußgelenks, wie zuvor beschrieben, per Expression automatisch errechnet werden, verändert sich automatisch der Winkel des hinten liegenden Oberschenkels, um der Höhe der vorderen Hüftposition zu entsprechen.

Nach einem ersten Testlauf weisen die Füße nach dem Auftreten auf den Boden ein leichtes Versinken in der Y-Achse, respektive dem Boden auf. Um wie bei der Pose to Pose Animation den Eindruck einer geraden Ebene als Untergrund zu erzeugen, wird manuell die über im DUIK-Rig zur Verfügung stehende *Stretch-Eigenschaft*, die Länge der Beine über den Zeitraum des Bodenkontakts soweit reduziert, dass es dem Eindruck des Gehens auf einer waagrechten Ebene entspricht.

6.2.7 Anwendung auf den zweiten Charakter

Da, wie bei der Pose to Pose Animation, das Rig des zweiten Charakters in seinem Funktionsumfang deckungsgleich zu dem des bereits verwendeten ist, können auch beim Motion Capture die bereits aufbereiteten Daten größtenteils direkt übernommen werden. Durch eine Limitierung seitens After Effects ist es allerdings nicht möglich, auch die bestehende Verknüpfung zwischen dem Rig und den Motion Capture Daten, mit auf den zweiten Charakter zu übertragen. Die einzelnen Verbindungen zwischen den Controllern des Rigs und der Motion Capture Null-Objekte muss daher nach der Übertragung zunächst erneut definiert werden.

Alle, als Rotation beschriebenen Bewegungen, repräsentieren nach der Verknüpfung den ursprünglichen Bewegungsablauf und bedürfen daher keiner weiteren Anpassung. Die als Translation definierten Veränderungen der Schulter, des Oberkörpers und der Hüfte, müssen hingegen teils angepasst werden, um den veränderten Proportionen des zweiten Charakters gerecht zu werden. Da sich die Veränderungen nur in der Höhe des Charakters widerspiegeln, müssen ausschließlich die entsprechenden Translationen in der Y-Achse neu definiert werden. Hierzu gehören die Schulter und das Auf und Abschwingen der Hüfte des Charakters. Für die Umsetzung wird ein simpler Offset in dieser Richtung mittels Expression umgesetzt, durch den die ursprüngliche Position der Translationen um einen festen Wert nach unten verschoben wird, um die geringere Höhe des zweiten Charakters zu kompensieren.

Listing 6.5: Expression zur Umsetzung des Offsets.

```
layer = thisComp.layer("Arm_2");  
layer.toComp(layer.transform.anchorPoint) + value  
  
# Value beschreibt hierbei den Offset, der der Ursprungsposition  
# hinzugefügt wird.
```

Nicht übernommen werden konnte die manuelle Anpassung der Beinlänge während des Kontakts des Fußes mit dem Boden. Diese musste vollständig neu erstellt werden.

6.2.8 Aufwand und Ergebnis

Der Aufwand für die Animation der beiden Charaktere mit Hilfe der im Kapitel 5 erhobenen Motion Capture Daten beläuft sich auf 5 Stunden und 36 Minuten, von denen 59 Minuten auf die Übertragung der Animationen auf den zweiten Charakter entfallen. Die Vorbereitung der Motion Capture Daten für das wiederholte Abspielen nahm 1 Stunde und 48 Minuten in

Anspruch. Den höchsten Aufwand bei der Animation stellt das erste Verknüpfen der einzelnen Motion Capture Daten mit den Controllern dar. Insbesondere sind hier alle Eigenschaften zu nennen, die mittels Translation auf das Rig übertragen werden müssen und wie bereits beim *Solving* beschrieben, deutlich mehr Zeit in der Umsetzung benötigen. Alle Arbeitsschritte wurden von der selben Person, die auch alle vorangegangenen Umsetzungen durchgeführt hat, ausgeführt. Aufgrund desselben Ausgangsmaterials beider Verfahren ist die Dauer des Walk-Cycles mit 24 Bildern pro Sekunde beim wiederholten Abspielen identisch zu der des ersten Verfahrens. Die Renderzeit der beiden Animationen, in einer Auflösung von 1080 x 1080 Pixeln, betrug in beiden Fällen eine Sekunde. Erhoben wurde dieser Wert auf dem selben Rechner, mit dem auch alle vorangegangenen Arbeitsschritte vorgenommen wurden. (Siehe 5.4 Aufwands- und Ressourcenanalyse)



Abbildung 6.7: Die vollendete Motion Capture Animation

Kapitel 7

Bewertung und Evaluation

Aufbauend auf den vorangegangenen Kapiteln, in denen die jeweiligen Aufwände in Form von Zeit und Ressourcen, sowie der jeweils zugrunde liegende Ablauf und die vollzogenen Arbeitsschritte, die zu diesen Ergebnissen führen, beschrieben wurden, werden in diesem Kapitel die daraus resultierenden Erkenntnisse zusammengefasst, interpretiert und vorgestellt. Angefangen bei der Charaktererstellung bis hin zur vollendeten Animation und Übertragbarkeit dieser, werden alle Unterschiede im Bezug zum verwendeten Verfahren vorgestellt und ins Verhältnis zur Qualität der Resultate, sprich der vier Walk Cycles, gesetzt. Dazu werden die Animationen nach messbaren Faktoren, wie dem Zeitaufwand und den benötigten Ressourcen verglichen. Und es werden Unterschiede im Bewegungsverlauf im Bezug zum verwendeten Verfahren aufgezeigt. Über eine Evaluation fließen zusätzlich subjektive Bewertungen der Walk Cycles mit in den Vergleich der beiden Verfahren ein.

Aus der Kombination dieser Aspekte wird eine abschließende Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse gebildet, die die jeweiligen Vor- und Nachteile beider Verfahren für die Animation eines Walk Cycles aufzeigen. Zuletzt erfolgt auf deren Basis eine Ableitung allgemeiner Empfehlungen, welches Verfahren für welche Zwecke geeignet ist und mit welchen Einschränkungen bei der Nutzung von vornehmlich für 2D Animationen konzipierter Software zu rechnen ist.

7.1 Analyse der Ergebnisse nach messbaren Faktoren

Die vorangegangenen, in jedem Arbeitsschritt dokumentierten Aufwände und die zusätzlich benötigten Ressourcen für die Umsetzung von 2D Motion Capture Aufnahmen werden nachfolgend zusammengefasst und stellen damit einen von mehreren messbaren Aspekten, für den abschließenden Vergleich der beiden Animationsverfahren dar. Durch die Überlagerung ausgewählter Posen während des Walk Cycles, werden beide Verfahren auf Unterschiede hin geprüft und verglichen. Da als Referenz für die Umsetzung beider Verfahren dieselben Aufzeichnungen dienten und beide Animationen von derselben Person vorgenommen wurden, können Unterschiede im Bewegungsablauf, mit einer großen Wahrscheinlichkeit, dem jeweiligen Verfahren zugeordnet werden.

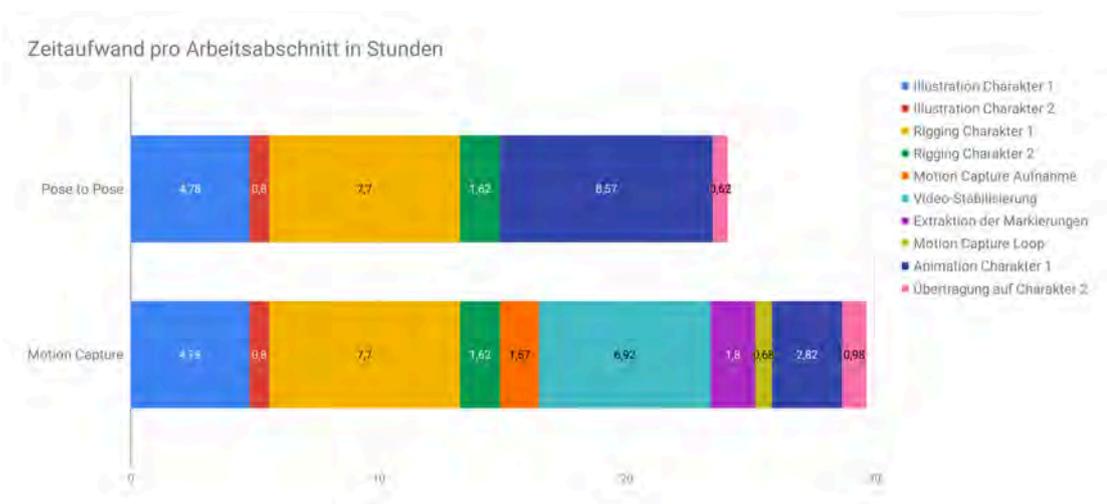


Abbildung 7.1: Zeitaufwand der Arbeitsabschnitte

7.1.1 Zeitbedarf für die Erstellung der Animation

Durch den zuvor für die einzelnen Methoden dokumentierten Zeitbedarf bei der Umsetzung der, im Rahmen dieser Arbeit, für den Vergleich untersuchten Arbeitsschritte, lässt sich durch die Aufsummierung die in Abbildung 7.1 zu sehende Übersicht erstellen. Anhand dieser können Rückschlüsse auf den Zeitbedarf und vor allem auf das Verhältnis der, für jeden Arbeitsschritt benötigten Zeit, zwischen Pose to Pose und Motion Capture gezogen werden.

Berücksichtigt man alle Schritte des Produktionsprozesses von der Illustration bis hin zum fertigen Walk Cycle, lässt sich zwischen den beiden Animationsverfahren eine Differenz von 5,58 Stunden nachweisen. Die Pose to Pose Animation ist hierbei im Vorteil, obwohl die eigentliche Animation des ersten Charakters mit diesem Verfahren dreimal so viel Zeit in Anspruch nimmt. Als Hauptgrund für den höheren Zeitaufwand, bei der Verwendung von 2D Motion Capture ist dem, bei dieser Ausarbeitung genutzten Aufnahmeverfahren und der dadurch notwendigen langwierigen Stabilisierung des aufgezeichneten Videomaterials, zuzuordnen. Die Aufzeichnung der Gehbewegung eines Menschen mit vergleichsweise kostengünstigem Equipment stellt somit einen erheblichen Mehraufwand in der Postproduktion dar, um zufriedenstellende Ergebnisse zu erlangen.

Klammert man diesen Aufwand durch den Einsatz von beispielsweise statischen Kameras, für die Aufzeichnung von Bewegungen, die keine große räumliche Veränderung mit sich bringen, aus, ist der Aufwand der anderen Arbeitsschritte, wie dem Extrahieren der Markierungen, der Aufbereitung der Motion Capture Daten und der Verbindung dieser mit einem Rig, mit dem Aufwand für die Pose to Pose Animation bereits nach dem ersten Charakter vergleichbar. Hierbei ist anzumerken, dass das Pose to Pose Verfahren wesentlich umgänglicher ist und deshalb eine kürzere Einarbeitungszeit erforderlich ist.

Hinsichtlich der Übertragbarkeit und des Retargetings konnte bei beiden Verfahren festgestellt werden, dass als Rotation beschriebene Animationen deutlich schneller und effizienter als durch Translationen definierte Bewegungen auf ein weiteres Rig übertragen werden können. Der Einsatz von FK ist unter diesem Gesichtspunkt dadurch dem IK-Verfahren vorzuziehen. Der im Gegensatz zum Pose to Pose Verfahren etwas höhere Zeitaufwand bei der Übertragung der Animationen auf einen zweiten Charakter, mit geänderten Proportionen, lässt sich auf eine Limitierung der genutzten Animationssoftware zurückführen. Diese bietet zum Zeitpunkt der Untersuchung keine Möglichkeit zur Übertragung von Ebenenverknüpfungen, wodurch die Verbindung zwischen den Motion Capture Daten und dem Rig des zweiten Charakters zunächst erneut definiert werden mussten.

Die Renderzeit der einzelnen Walk Cycles betrug jeweils eine Sekunde, daher konnten keine Unterschiede ausgemacht werden und sind deshalb vernachlässigbar.

7.1.2 Vergleich der Bewegungsmuster

Durch das Überlagern beider Animationen in den typischen *Posen Contact, Down, Passing* und *Up*, können deutliche Unterschiede in der Bewegung der Arme und Beine zwischen beiden Verfahren festgestellt werden. Insbesondere während der *Contact* und *Up Pose* sind Unterschiede bei beiden Charakteren sichtbar. In der Abbildung 7.2 sind jeweils die Motion Capture Figuren in schwarz und dahinterliegend in rot, dieselben Charaktere im Pose to Pose Verfahren abgebildet.

Die Schrittweite der Pose to Pose Variante und das nach hinten Schwingen des Armes ist deutlich ausgeprägter. Besonders sticht dies in der *Contact Pose* hervor. In der darauf folgenden *Down Pose* gleicht sich dabei der Bewegungsverlauf beider Verfahren zunehmend an und bleibt auch in der *Passing Pose* bestehen. In der darauffolgenden *Up Pose* ist festzustellen, dass das nach vorne schwingende Bein beim Pose to Pose Verfahren deutlich mehr an Geschwindigkeit aufnimmt. Beim Motion Capture zeigt sich darüber hinaus, beim Hochheben des Fußes, die noch angewinkelte Fußspitze, die beim Pose to Pose Verfahren durch die besser Kontrollierbarkeit der Bewegung vermieden werden konnte. Auch sind die einzelnen Posen deutlich nachvollziehbarer.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Bewegungen der Pose to Pose Animation deutlich stärker ausgeprägt sind und durch das Spiegeln keine großen Unterschiede zwischen den Hälften des Walk Cycles auftreten. Die Unterschiede, die festgestellt werden konnten, lassen sich darüber hinaus in selber Form auch in der Übertragenen Animation beim zweiten Charakter wiederfinden.

7.1.3 Notwendige Ressourcen zur Realisierung und Verwendung von Motion Capture in der 2D Animation

Die Verwendung von Motion Capture Aufnahmen für die Anwendung in 2D Animationsprogrammen ist mit großen Einschränkungen verbunden. Da Schnittstellen für die herkömm-

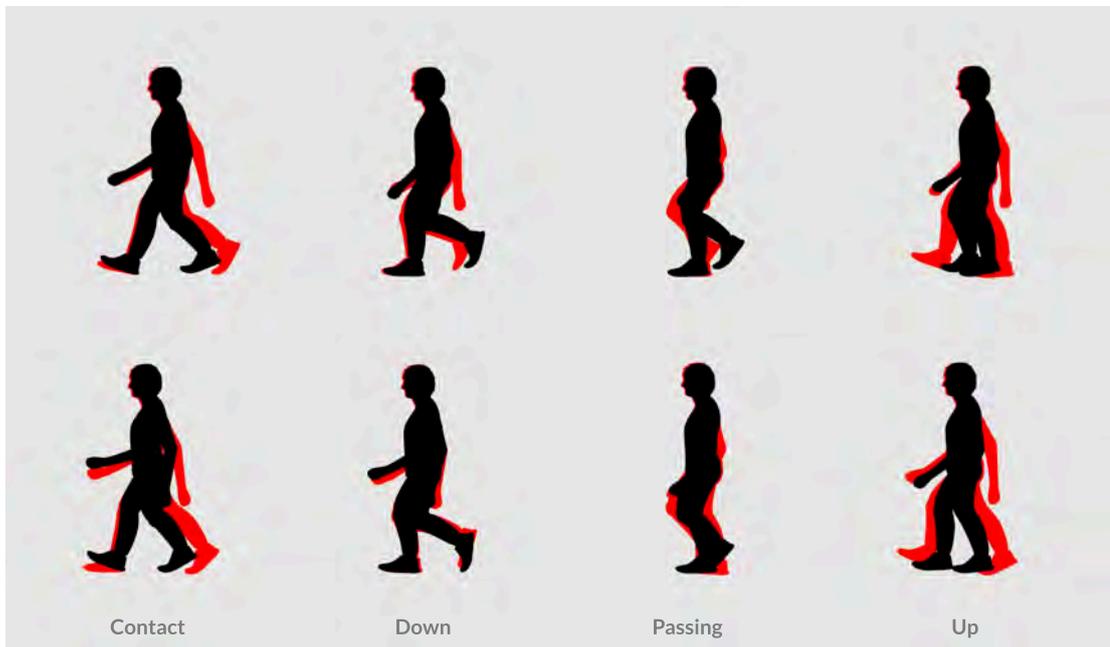


Abbildung 7.2: Vergleich der Motion Capture (schwarz) und Pose to Pose Animation (rot)

lichen Motion Capture Dateiformate fehlen, müssen die Daten direkt mit der 2D Animationssoftware erhoben werden, in der auch die Animation nachfolgend stattfinden soll. Damit dies möglich ist, muss die entsprechende Software mindestens eine Möglichkeit zur Verfolgung einzelner Punkte innerhalb eines Videos, sowie eine Möglichkeit zur Speicherung der verfolgten Bewegungen bieten. Mit Hilfe von After Effects und unter Zuhilfenahme der Expressionsfunktionalität und Duik, war es im Rahmen der Untersuchungen möglich, den kompletten Prozess des Motion Captures innerhalb der Software abzubilden und die Ergebnisse anschließend für die Animation eines Walk Cycles zu nutzen. Voraussetzung hierfür sind allerdings weitreichende Kenntnisse im Umgang mit der Software, die über die, für die Animation notwendigen, hinausgehen.

Für die Aufzeichnung der Bewegungen kamen zwei Smartphones, die eine Aufzeichnung von 240 FPS in Full-HD ermöglichen, sowie bunte selbstklebende Marker zum Einsatz. Durch die örtliche Veränderung während der Aufzeichnung der Gehbewegung wurden darüber hinaus zwei weitere Personen benötigt, die die beiden Smartphones in Laufrichtung des Darstellers mitbewegten.

7.2 Evaluation

Neben den messbaren Faktoren, ist für die Bewertung einer Animation vor allem der subjektive Eindruck vom Betrachter von großer Relevanz. Um die Animationen beider Verfahren somit aussagekräftig bewerten und damit möglichst objektiv vergleichen zu können, wurde

eine Evaluation vorgenommen, an der insgesamt 35 Menschen teilgenommen haben. Jeder Walk Cycle wurde hierbei nach vier Aspekten bewertet und in einer Gegenüberstellung derselben Animationen, mit unterschiedlichen Verfahren, eine Tendenz erfragt. Nachfolgend wird sowohl auf den Aufbau der Befragung, als auch auf die Auswertung der Ergebnisse eingegangen, um diese mit den vorangegangenen Ergebnissen, für einen abschließenden Vergleich, gemeinsam zu berücksichtigen.

7.2.1 Konzept

Der Aufbau der Evaluation lässt sich in zwei Abschnitte gliedern, für die insgesamt sechs 10 Sekunden lange Videos erstellt wurden. Um einen Bezug zu den Standards in der Videoproduktion herzustellen und mögliche Interpolationsfehler bei Veränderung der Bildwiederholungsrate zu vermeiden, wurden alle Videos, wie auch während der Animation, mit 25 Bildern pro Sekunde gerendert. Durch die Zyklusdauer von 24 Bildern wiederholt sich der Zyklus über die Laufzeit des Videos hinweg insgesamt 10,4 mal und sollte damit eine ausreichende Länge besitzen, um die Animation erfassen und anschließend beurteilen zu können. Der Nutzer hat die Möglichkeit, die Videos während der Umfrage beliebig oft abzuspielen. Die Videos wurden dafür auf die Videoplattform Youtube hochgeladen. Als Hintergrund kommt in allen Videos eine einfarbige, graue Fläche zum Einsatz, um den Fokus vollständig auf die Animation zu legen. Auf eine Nennung des jeweiligen Verfahrens, das zur Animation genutzt wurde, wird bewusst verzichtet, um Voreingenommenheit zu vermeiden.

Im ersten Abschnitt der Befragung wird jeder Walk Cycle auf einer extra Formularseite abgespielt und nach vier Kriterien mit 1 bis 10 Punkten bewertet, wobei die Punktzahl 1 die niedrigste und 10 die höchste Bewertung darstellt.

Zunächst wird mit den Fragen: „Wie realistisch wirkt die Bewegung?“ beziehungsweise „Wie flüssig wirkt die Bewegung?“ auf das allgemeine, subjektive Erscheinungsbild der Animation eingegangen. Die erste Frage zielt dabei darauf ab, ob die vorliegende Bewegung den Erwartungen und Erfahrungen des Betrachters entspricht und die zweite erörtert, neben der Konsistenz der Bewegung, auch die Reibungslosigkeit des Übergangs, bei der Wiederholung der Zyklen. Als nächstes befasst sich die Frage „Wie ansprechend ist die Animation?“ mit der persönlichen Präferenz des Betrachters, um einen Eindruck darüber zu erlangen, welche Gehbewegungen am besten aufgenommen werden. Die letzte Frage des Abschnitts „Wie glaubhaft wirkt der Bodenkontakt der Füße?“ soll Aufschluss darüber geben, ob die in Grundlagen genannte Problematik des realistischen Bodenkontaktes, bei der 2D Animation, mit dem jeweiligen Verfahren auftritt.

Ein direkter Vergleich der beiden Verfahren wird in Abschnitt zwei gezogen. Hierbei werden jeweils die beiden Verfahren mit demselben Charakter in einem gemeinsamen Video gegenübergestellt, wobei der Betrachter entscheidet, welche Animation ihm eher zusagt. Hierbei stehen fünf Optionen zur Auswahl, die *klare Präferenz*, die *Tendenz* zu einem der Walk Cycles und die Möglichkeit beide als *ebenbürtig* einzustufen.

Die Reihenfolge der vorgestellten Animation ist dabei wie folgt: Zunächst der normale und der kleine Charakter, mit dem Pose to Pose Verfahren, anschließend wieder beide nacheinander im Motion Capture Verfahren und beim direkten Vergleich auf der linken Seite das Motion Capture und auf der rechten das Pose to Pose Verfahren, wobei wieder der Charakter mit den Proportionen des Darstellers zuerst gezeigt wurde. Die Evaluation wurde mittels *Google Forms*¹ vorgenommen.

7.2.2 Statistische Auswertung

Die Auswertung der Ergebnisse wurde mittels *Spreadsheets*² von Google vorgenommen und umfasst die Auswertung aller Antworten der 35 Teilnehmer nach vier verschiedenen Aspekten. Eine zusätzliche detaillierte Aufschlüsselung aller Umfrageergebnisse nach Fragen sortiert ist dem Anhang zu entnehmen.

Auswertung der Bewertungen nach Kategorie

Die erste Untersuchung beschäftigt sich mit der durchschnittlich vergebenen Punktzahl je Kategorie und dem verwendeten Verfahren für die Animation. Hierfür wird aus den Antworten zu jeder Frage der Mittelwert für jedes Verfahren bei beiden Charakteren gebildet und in ein Balkendiagramm überführt. Die Zahl 1 hinter dem Verfahren steht dabei jeweils für den Charakter mit den Proportionen des Darstellers, während die Zahl 2 den zweiten mit abweichenden Proportionen repräsentiert und dessen Animation vom ersten übernommen wurde.

Aus der Abbildung 7.3 lässt sich schließen, dass die Pose to Pose Animation beim Charakter 1 mit Ausnahme der Flüssigkeit der Bewegung in allen Bereichen den anderen Walk Cycles leicht überlegen ist. Ebenfalls ersichtlich ist, dass mit beiden Verfahren die Animation des Charakters mit korrekten Proportionen der Übertragenen vorzuziehen ist.

Bei der Flüssigkeit der Bewegungen erreicht die mit dem Motion Capture Daten erstellte Animation im Durchschnitt eine etwas höhere Bewertung im Vergleich zu Pose to Pose. Selbst nach der Übertragung auf den zweiten Charakter bietet das Motion Capture laut der Bewertung eine flüssigere Bewegung. Umgekehrt kann sich die Pose to Pose Animation des ersten Charakters bei der Frage bezüglich der Glaubhaftigkeit des Bodenkontakts am weitesten von der Motion Capture Bewertung absetzen.

Auffällig zu beobachten ist, dass der Abfall der Bewertung bei der auf der Übertragung basierenden Animation deutlich stärker beim Pose to Pose Verfahren zu sehen ist. Noch deutlicher wird dies in der Abbildung 7.4, bei der nur die Differenz zwischen den Punkten der beiden Charaktere je Animationsverfahren und pro Frage aufgeschlüsselt dargestellt wird. Die Pose to Pose Animation verliert bei der Übertragung mit im Durchschnitt 0,78 Punkten etwa doppelt so viel wie das Motion Capture, dessen Animation nach der Übertragung

¹<https://www.google.de/intl/de/forms/about/>

²<https://spreadsheets.google.com/>

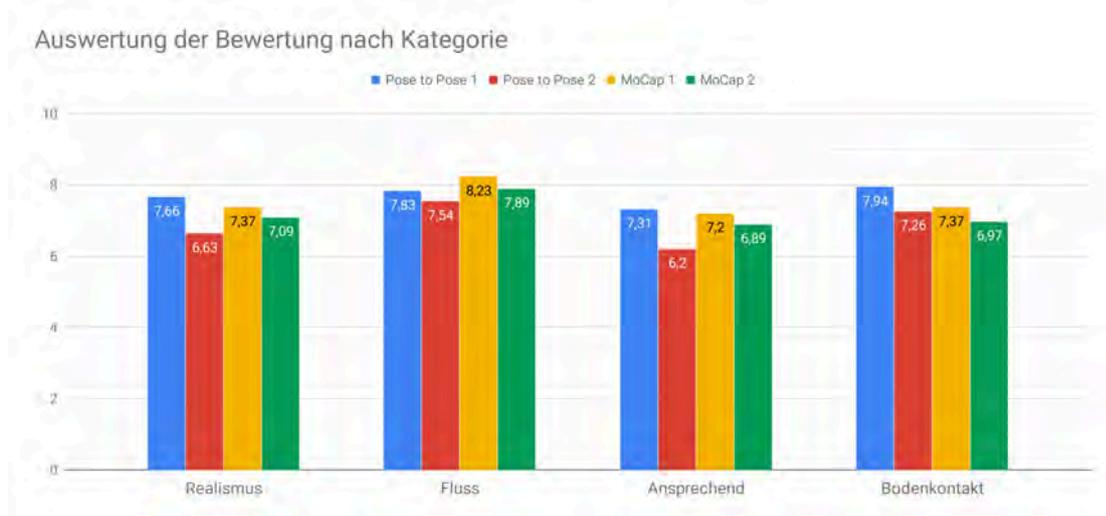


Abbildung 7.3: Punktedurchschnitt der Bewertungen nach Kategorie

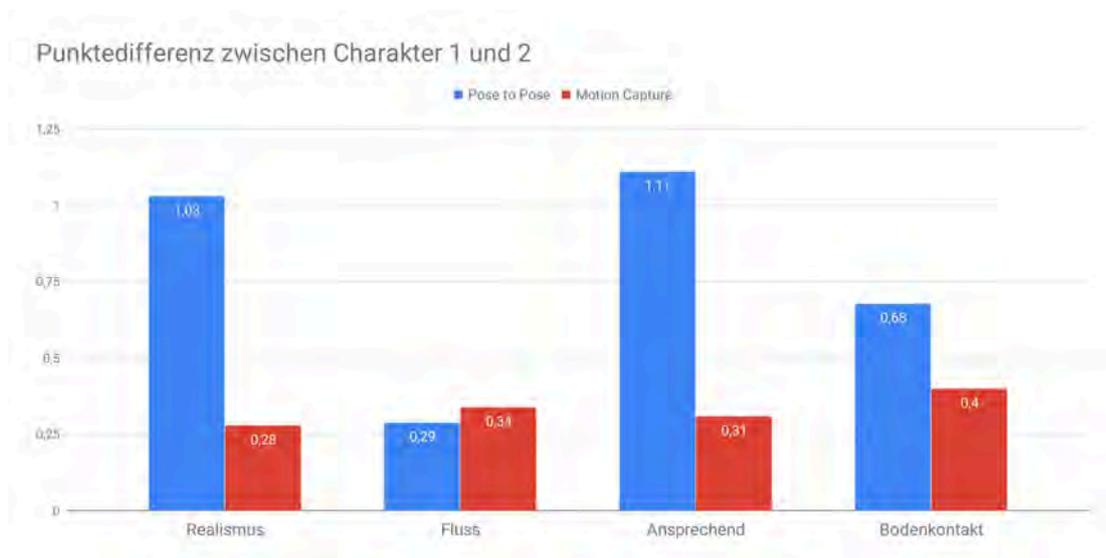


Abbildung 7.4: Differenz im Punktedurchschnitt nach Kategorie

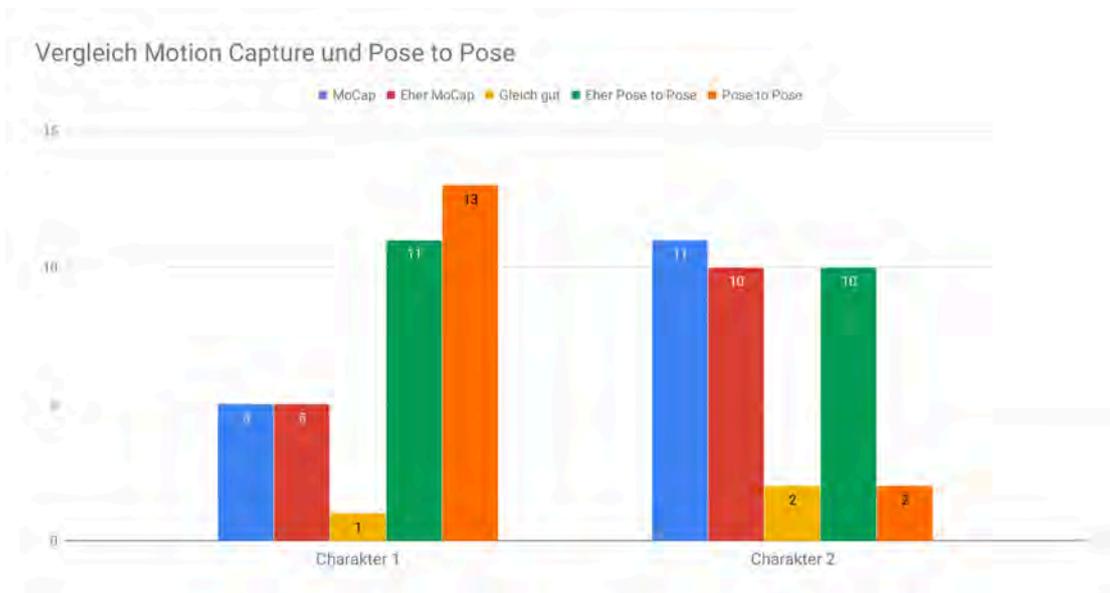


Abbildung 7.5: Ergebnisse des Vergleichs der Animationsverfahren nach Charakter

auf den zweiten Charakter mit einem Verlust von im Schnitt 0,33 Punkten weniger stark in der Bewertung sinkt. Besonders deutlich ist dieser Abfall bei der Bewertung der Pose to Pose Animation, vor allem bei der Frage bezüglich des Realismus und wie ansprechend die Animation auf den Betrachter wirkt, ausgeprägt. Allgemein ist auch festzustellen, dass die Ergebnisse der verschiedenen Fragen beim Pose to Pose Verfahren zwischen den beiden Charakteren wesentlich stärker schwanken, als beim Motion Capture. Als mögliche Ursache für diesen Abfall in der Bewertung ist die beim Pose to Pose Verfahren als Translation übertragene Bewegung der Beine zu vermuten, da dies den größten Unterschied zwischen den beiden Übertragungen darstellt.

Auswertung der Bewertungen nach Charakter

Die nachfolgende Analyse beschäftigt sich mit dem zweiten Teil der Evaluation, in dem die beiden Animationsverfahren auf Basis desselben Charakters unter dem Aspekt, welche Animation „besser“ aussieht, direkt miteinander verglichen worden sind. Wie zuvor entspricht Charakter 1 den Proportionen des Darstellers, während Charakter 2 der abgeänderten Form entspricht.

Für den ersten Charakter wird wie bei der vorangegangenen Analyse die Pose to Pose Animation mit einer Tendenz von 24 zu 10 Stimmen der Motion Capture Animation vorgezogen.

Nach der Übertragung der Animationen auf den zweiten Charakter lässt sich der voraus bereits beschriebene Effekt des deutlichen stärkeren Abfalls in der Bewertung beim Pose to Pose



Abbildung 7.6: Vergleich der durchschnittlichen Gesamtpunktzahl über alle Fragen nach Verfahren

Verfahren wiederfinden. Bestätigt wird dies durch die Entscheidung beim zweiten Charakter, bei der, mit 21 zu 12 Stimmen, die übertragene Motion Capture Animation der übertragenen Pose to Pose Variante deutlich vorgezogen wird.

Dasselbe Ergebnis lässt sich auch in der Abbildung 7.6 wiederfinden, bei der die gemittelten Durchschnittspunkte zu jeder Frage für alle Walk Cycles als Balkendiagramm dargestellt werden. Diesem ist zu entnehmen, dass Pose to Pose Animation mit dem Charakter 1 eine leicht höhere Bewertung als die Animation mittels Motion Capture aufweist. Auch die durch Abbildung 7.5 getroffene Feststellung, dass sich diese Rangordnung beim zweiten Charakter umdreht, ist hier mit einer durchschnittlichen Punktzahl von 28,83 zu 27,63 Punkten nachzuvollziehen.

Trotz dieser Unterschiede lässt sich insgesamt festhalten, dass sich alle vier Walk Cycles auf einem ähnlichen Niveau befinden. Basierend auf der höchstmöglichen Bewertung über alle vier Fragen mit 40 Punkten und der höchsten Differenz der durchschnittlichen Bewertung aller vier untersuchten Walk Cycles von 3,11 Punkten, ergibt sich eine prozentuale Differenz von 7,8% in der Bewertung zwischen dem besten und dem schlechtesten Walk Cycle.

Summiert man die durchschnittlichen Punktzahlen der beiden Verfahren auf, so liegt die Motion Capture Variante mit 59 zu 58,37 Punkten vorne. Die Differenz beträgt somit etwa 1,1 Prozent und ist daher als vernachlässigbar zu betrachten.

7.3 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Als Ergebnis, im Rahmen der hier angestellten Untersuchungen, lässt sich festhalten, dass die Pose to Pose Animation für die Umsetzung eines Walk Cycles im zweidimensionalen Raum, bei einem etwas niedrigeren Zeitbedarf das ansprechendere Ergebnis liefert. Sobald diese Animation allerdings auf einen zweiten Charakter mit abweichenden Proportionen übertragen werden soll, zeigt der Motion Capture Ansatz seine Vorteile. Der Grund hierfür liegt vor allem in der beim Motion Capture üblichen Übertragung der meisten Bewegungen des Rigs als Rotation, was einen deutlich geringeren Aufwand bei Übertragung zur Folge hat. In der Evaluation bestätigt sich diese Annahme durch einen deutlich höheren Abfall in der Bewertung der übertragenen Animation als beim Pose to Pose Verfahren, bei der die Bewegung der Beine als Translation überführt wurde. Allgemein betrachtet ist die Qualität der Ergebnisse, mit gerade einmal 7% Differenz zwischen dem schlechtesten und dem am besten bewerteten Walk Cycle auf einem ähnlichen Niveau. Die zeitliche Diskrepanz von insgesamt 5,58 Stunden zwischen dem Motion Capture und der Pose to Pose Animation, ist dabei vor allem der notwendigen Stabilisierung, durch das gewählte Verfahren für die Aufnahme der Motion Capture Daten geschuldet, die alleine 6,9 Stunden in Anspruch genommen hat. Zur Realisierung der Aufnahmen kam ausschließlich Endverbraucher Hardware in Form von zwei Smartphones sowie selbstklebende, bunte Markierungen zum Einsatz, wobei die gesamte Weiterverarbeitung dieser Daten vollständig in After Effects umgesetzt werden konnte.

Allgemein lässt sich festhalten, dass beide Verfahren ansprechende Ergebnisse liefern, wobei für die Umsetzung von Motion Capture im 2D Bereich weitreichende Kenntnisse und ein erweiterter Funktionsumfang der genutzten Animationssoftware zwingend erforderlich sind. Belohnt wird dies durch eine variationsreichere Animation, die nach der initialen Verknüpfung mit dem Rig in kurzer Zeit ausgetauscht werden kann. Die Ausgestaltung des Rigs in dessen Funktionen beeinflusst dabei maßgeblich die Übertragbarkeit mit, wobei sich FK als am einfachsten zu übertragen herauskristallisiert.

Pose to Pose hingegen ist auch für Animatoren mit niedrigerem Kenntnisstand leicht einsetzbar, da keine zusätzliche Software benötigt wird. Zudem sind die Animationen einfacher zu erstellen und vor allem zu bearbeiten, wobei sie, solange sie nicht auf andere Proportionen übertragen werden, das visuell ansprechendere Ergebnis liefern können. Die bessere Kontrolle und Nachvollziehbarkeit der Animation bildet zudem einen weiteren Vorteil gegenüber dem Motion Capture.

Kapitel 8

Zusammenfassung und Ausblick

Um diese Arbeit abzuschließen, gibt dieses Kapitel den Inhalt der vorherigen in zusammenfassender Form nochmals wieder, um anschließend einen Ausblick auf mögliche weiterführende Arbeiten zu geben.

8.1 Zusammenfassung

Die Abbildung von menschlichen Bewegungsabläufen in der virtuellen, am Computer generierten Welt, stellt bis heute eine Herausforderung in der Animation dar. Während sich in der Filmbranche die Lösung des Problems durch den Einsatz von Motion Capture, beziehungsweise Performance Capture für die Animation solch komplexer Bewegungsabläufe großer Popularität erfreut, wird durch den hohen Kostenfaktor und fehlende native Softwareschnittstellen, in den für die 2D Animation populären Softwarelösungen, in diesem Bereich auf die zeitaufwendige Keyframe Animation nach dem Pose to Pose Verfahren ausgewichen. Deren Ergebnisse sind dabei vor allem von der Erfahrung des Animators abhängig und die benötigte Zeit für die Umsetzung steigt im Vergleich zum Motion Capture mit der Dauer und Komplexität der Bewegung an. Durch die Möglichkeit über After Effects, einem populären Programm zur 2D Animation, eine Form von 2D Motion Capture zu realisieren und umzusetzen, stellt sich die Frage, inwieweit der Einsatz von 2D Motion Capture bei der Animation eines zweidimensionalen Charakters, im Vergleich mit dem Pose to Pose Verfahren in der Animation im zweidimensionalen Raum anwendbar ist und inwieweit sich die Ergebnisse beider Verfahren in Form von Aufwand und dem Resultat voneinander unterscheiden. Da hierzu bisher hinreichende Vergleiche zwischen Pose to Pose und Motion Capture im zweidimensionalen Rahmen fehlen, werden in dieser Arbeit die Vor- und Nachteile beider Verfahren anhand der Animation mehrerer Walk Cycles untersucht und in Relation zur benötigten Zeit verglichen. In diesem Zusammenhang wird auch überprüft, inwieweit die, vor allem als Vorteil von Motion Capture bekannte, Übertragbarkeit der Animation auf unterschiedliche Charaktere im zweidimensionalen Rahmen mit den eingeschränkten Möglichkeiten der dort verwendeten Animationssoftware Bestand hat.

Zur Untersuchung all dieser Aspekte werden zwei Charaktere mit unterschiedlichen Pro-

portionen illustriert und mit IK und FK Systemen versehen, wobei einer exakt denen des Darstellers entspricht, um sowohl den Idealfall, als auch eine typische Herausforderung beim Retargeting der Motion Capture Aufnahmen abzubilden. Als Resultat dieser Untersuchungen lässt sich festhalten, dass Rotationen und FK zur Animation der Arme und Beine, einfacher auf den zweiten Charakter mit geänderten Proportionen übertragbar sind.

Für die Erhebung von 2D Motion Capture Daten, um diese anschließend für die Animation zu verwenden, dienten die von zwei Smartphones aufgenommenen Aufzeichnungen, die einen mit Markern versehenen Darsteller während des Gehens von beiden Seiten in Slowmotion abbilden, als Grundlage und zugleich als Referenz für die Umsetzung eines Walk Cycles mittels Pose to Pose. Die Markerbewegungen wurden in After Effects verfolgt und für die Animation der beiden illustrierten Charaktere verwendet. Mit letztlich 29,6 Stunden zu 24 Stunden Zeitaufwand war die Umsetzung der jeweils zwei Walk Cycles mittels Pose to Pose etwas schneller als die Erhebung und Anwendung der Motion Capture Daten auf die Animation.

Die hieran anschließende Evaluation der Walk Cycles nach subjektiven Kriterien attestiert allen vier Walk Cycles ein ähnliches Qualitätsniveau, wobei die Pose to Pose Animation mit Ausnahme der auf den zweiten Charakter übertragenen Bewegung marginal ansprechendere Ergebnisse liefert. Die auf Motion Capture basierende Animation wiederum hat Vorteile bei der Flüssigkeit der Walk Cycle und erzielt nach der Übertragung der Animation auf den zweiten Charakter eine höhere Bewertung als die übertragene Pose to Pose Animation.

8.2 Ausblick

Anschließend an diese Arbeit bietet sich viel Raum zur Weiterforschung. Vor allem für die Verwendung von Motion Capture Aufnahmen im 2D Bereich gibt es zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit keine optimalen Lösungen, wobei insbesondere die Überführung des aufgenommenen Motion Capture Materials in ein 2D Animationsprogramm zu nennen ist. Der Prozess, mit dem die Daten für die Animation aufbereitet werden, ist beim aktuellen Stand der Technik, aufgrund der fehlenden nativen Unterstützung der Programme, langwierig und kompliziert. Er erfordert, zusätzlich zu den eigentlichen Animations-Kenntnissen, auch den Umgang mit JavaScript, in Form von Expressions, um das Videomaterial erfolgreich verarbeiten zu können, weshalb die Beschleunigung und Vereinfachung dieses Prozesses einen zukunftsweisenden Schritt darstellen könnte.

Des weiteren bestehen auch immer noch interessante Forschungsmöglichkeiten beim Vergleich des Motion Capture Verfahrens mit dem Pose to Pose Verfahren außerhalb des Rahmens dieser Arbeit. Ein Beispiel hierfür sind Untersuchungen mit statischen Kameraaufnahmen, bei entsprechenden Bewegungen auf der Stelle. Da die Führung der Kameras per Hand, um den Darsteller zu verfolgen, zu Schwankungen und Wacklern führten, deren Stabilisierung, bei einem zeitlichen Aufwand von 6,92 Stunden, einen großen Teil der Verarbeitung

der Motion Capture Daten einnahm. So wäre es interessant zu sehen, wie die Gegenüberstellung beider Animationsverfahren mit dem Wegfallen dieses zusätzlichen Aufwandes und bei veränderten Bewegungen des Darstellers, ausfällt. Auch lässt sich bei statischen Aufnahmen die Auswirkung der Komplexität der Bewegungen auf das Endergebnis prüfen.

Anhang A

Aufschlüsselung der Punkteverteilung bei der Evaluation

A. AUFSCHLÜSSELUNG DER PUNKTEVERTEILUNG BEI DER EVALUATION



Abbildung A.1: Punkteverteilung bei der Evaluation des Pose to Pose Verfahrens. Walk Cycle 1 entspricht, dem Charakter mit den normalen Proportionen, Walk Cycle 2 dem Charakter mit den veränderten Proportionen

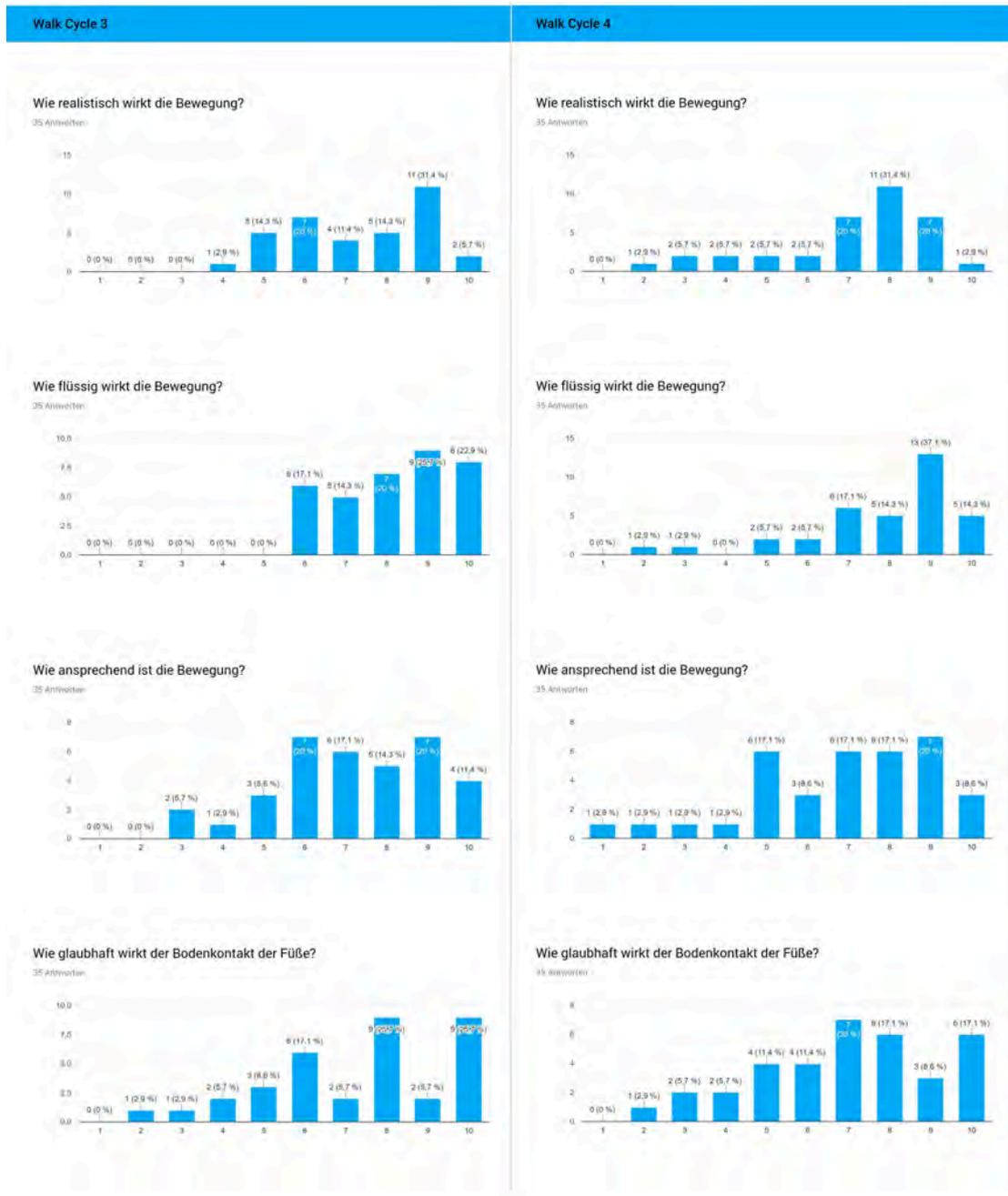


Abbildung A.2: Punkteverteilung bei der Evaluation des Motion Capture Verfahrens. Walk Cycle 3 entspricht dem Charakter mit den normalen Proportionen, Walk Cycle 4 dem Charakter mit den veränderten Proportionen

A. AUFSCHLÜSSELUNG DER PUNKTEVERTEILUNG BEI DER EVALUATION

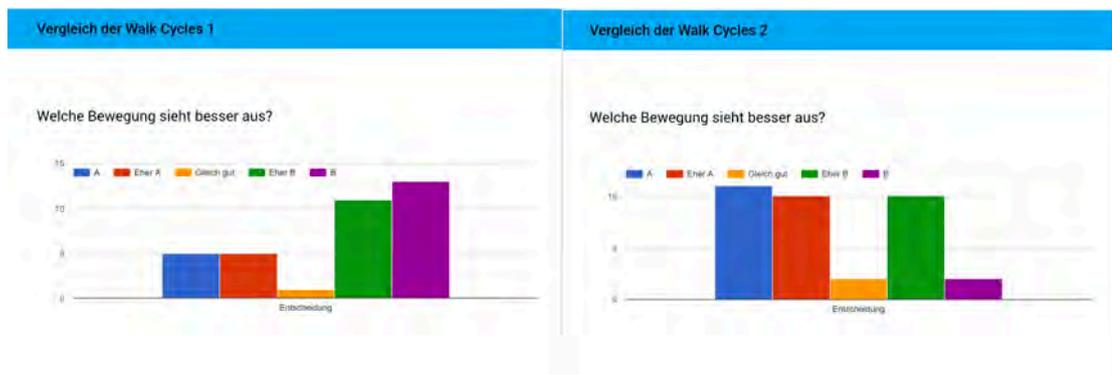


Abbildung A.3: Punkteverteilung beim direkten Vergleich, wobei es sich bei A um das Motion Capture und bei B um das Pose to Pose Verfahren handelt. Links beim Charakter mit den normalen Proportionen, rechts beim Charakter mit den veränderten Proportionen

Anhang B

Die Animationen

Die im Rahmen dieser Arbeit erstellten Animationen befinden sich auf der beiliegenden CD. Genauer handelt es sich hierbei um folgende Videos:

- Character 1 - Vergleich.mp4 (A: Motion Capture, B: Pose to Pose)
- Character 2 - Vergleich.mp4 (A: Motion Capture, B: Pose to Pose)
- MoCap Character 1.mp4
- MoCap Character 2 .mp4
- Pose-to-Pose Character 1.mp4
- Pose-to-Pose Character 2.mp4

Glossar

Mesh	Das Oberflächendrahtgitter eines Modells
Nullen	Das Zurücksetzen aller Eigenschaften auf 0 oder auf die Ausgangswerte
Loopen	Das wiederholte Abspielen einer Sequenz

Literaturverzeichnis

- [ACS18] ANDEREGG, Raphael ; CICCONE, Loïc ; SUMNER, Robert W.: PuppetPhone: Puppeteering Virtual Characters Using a Smartphone. In: *Proceedings of the 11th Annual International Conference on Motion, Interaction, and Games*. New York, NY, USA : ACM, 2018 (MIG '15), S. 5:1–5:6
- [AFHSH15] In: ABU-FARAJ, Ziad ; HARRIS, Gerald ; SMITH, Peter ; HASSANI, Sahar: *Human Gait and Clinical Movement Analysis*. 2015, S. 1–34
- [AM08] ALLEN, Eric ; MURDOCK, Kelly L.: *Body Language: Advanced 3D Character Rigging*. Alameda, CA, USA : SYBEX Inc., 2008. – ISBN 0470173874, 9780470173879
- [ASLP10] AMICI, S. D. ; SANNA, A. ; LAMBERTI, F. ; PRALIO, B.: A Wii remote-based infrared-optical tracking system. In: *Entertainment Computing* 1 (2010), Nr. 3, 119 - 124. <http://dx.doi.org/https://doi.org/10.1016/j.entcom.2010.08.001>. – DOI <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2010.08.001>. – ISSN 1875–9521
- [ASP13] AGRAWAL, Shailen ; SHEN, Shuo ; PANNE, Michiel van d.: Diverse Motion Variations for Physics-based Character Animation. In: *Symposium on Computer Animation* (2013)
- [BMBD10] BRUIJN, Sjoerd M. ; MEIJER, Onno G. ; BEEK, Peter J. ; DIEËN, Jaap H.: The effects of arm swing on human gait stability. In: *Journal of Experimental Biology* 213 (2010), Nr. 23, 3945–3952. <http://dx.doi.org/10.1242/jeb.045112>. – DOI 10.1242/jeb.045112. – ISSN 0022–0949
- [CMM⁺18] CHENTANEZ, Nuttapong ; MÜLLER, Matthias ; MACKLIN, Miles ; MAKOVYI-CHUK, Viktor ; JESCHKE, Stefan: Physics-based Motion Capture Imitation with Deep Reinforcement Learning. In: *Proceedings of the 11th Annual International Conference on Motion, Interaction, and Games*. New York, NY, USA : ACM, 2018 (MIG '18). – ISBN 978–1–4503–6015–9, 1:1–1:10
- [CRL⁺16] CHOI, Byungkuk ; RIBERA, Roger B. ; LEWIS, J. P. ; SEOL, Yeongho ; HONG, Seokpyo ; EOM, Haegwang ; JUNG, Sunjin ; NOH, Junyong: SketchiMo: Sketch-based Motion Editing for Articulated Characters. In: *ACM Trans. Graph.* 35

- (2016), Juli, Nr. 4, 146:1–146:12. <http://dx.doi.org/10.1145/2897824.2925970>. – DOI 10.1145/2897824.2925970. – ISSN 0730–0301
- [DK14] DEGENHARDT ; KENNEDY, Richard: Self-collision avoidance through keyframe interpolation and optimization-based posture prediction, 2014
- [FHKS12] FENG, Andrew ; HUANG, Yazhou ; KALLMANN, Marcelo ; SHAPIRO, Ari: An Analysis of Motion Blending Techniques. In: KALLMANN, Marcelo (Hrsg.) ; BEKRIS, Kostas (Hrsg.): *Motion in Games*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2012. – ISBN 978–3–642–34710–8, S. 232–243
- [Fle] FLEISCHER, Max: *Method of producing moving-picture cartoons*.
- [Gei13] GEIJTENBEEK, Thomas: *Animating Virtual Characters using Physics-Based Simulation*, Utrecht University, PhD Thesis, 2013
- [Gel08] GELLER, T.: Overcoming the Uncanny Valley. In: *IEEE Computer Graphics and Applications* 28 (2008), July, Nr. 4, S. 11–17. <http://dx.doi.org/10.1109/MCG.2008.79>. – DOI 10.1109/MCG.2008.79. – ISSN 0272–1716
- [Gf05] GUERRA-FILHO, Gutemberg B.: Optical motion capture: Theory and implementation. In: *Journal of Theoretical and Applied Informatics (RITA 12 (2005))*, S. 61–89
- [GLA⁺19] GAISBAUER, Felix ; LEHWALD, Jannes ; AGETHEN, Philipp ; SUES, Julia ; RUKZIO, Enrico: Proposing a Co-simulation Model for Coupling Heterogeneous Character Animation Systems, 2019, S. 65–76
- [Gle99] GLEICHER, Michael: Animation from Observation: Motion Capture and Motion Editing. In: *SIGGRAPH Comput. Graph.* 33 (1999), November, Nr. 4, 51–54. <http://dx.doi.org/10.1145/345370.345409>. – DOI 10.1145/345370.345409. – ISSN 0097–8930
- [GY03] GENG, Weidong ; YU, Gino: Reuse of Motion Capture Data in Animation: A Review. In: KUMAR, Vipin (Hrsg.) ; GAVRILOVA, Marina L. (Hrsg.) ; TAN, Chih Jeng K. (Hrsg.) ; L'ECUYER, Pierre (Hrsg.): *Computational Science and Its Applications — ICCSA 2003*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2003. – ISBN 978–3–540–44842–6, S. 620–629
- [HDK07] HORNING, Alexander ; DEKKERS, Ellen ; KOBELT, Leif: Character Animation from 2D Pictures and 3D Motion Data. In: *ACM Trans. Graph.* 26 (2007), Januar, Nr. 1. <http://dx.doi.org/10.1145/1189762.1189763>. – DOI 10.1145/1189762.1189763. – ISSN 0730–0301
- [HKS17] HOLDEN, Daniel ; KOMURA, Taku ; SAITO, Jun: Phase-functioned Neural Networks for Character Control. In: *ACM Trans. Graph.* 36 (2017), Juli, Nr. 4, 42:1–42:13. <http://dx.doi.org/10.1145/3072959.3073663>. – DOI 10.1145/3072959.3073663. – ISSN 0730–0301

- [HSK16] HOLDEN, Daniel ; SAITO, Jun ; KOMURA, Taku: A Deep Learning Framework for Character Motion Synthesis and Editing. In: *ACM Trans. Graph.* 35 (2016), Juli, Nr. 4, 138:1–138:11. <http://dx.doi.org/10.1145/2897824.2925975>. – DOI 10.1145/2897824.2925975. – ISSN 0730–0301
- [HTC⁺13] HAHN, Fabian ; THOMASZEWSKI, Bernhard ; COROS, Stelian ; SUMNER, Robert W. ; GROSS, Markus: Efficient Simulation of Secondary Motion in Rig-space. In: *Proceedings of the 12th ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*. New York, NY, USA : ACM, 2013 (SCA '13). – ISBN 978–1–4503–2132–7, 165–171
- [IAEN03] IZANI, M. ; AISHAH ; ESHAQ, A. R. ; NORZAIHA: Keyframe animation and motion capture for creating animation: a survey and perception from industry people. In: *Proceedings. Student Conference on Research and Development, 2003. SCORED 2003.*, 2003, S. 154–159
- [JSH09] JAIN, Eakta ; SHEIKH, Yaser ; HODGINS, Jessica: Leveraging the Talent of Hand Animators to Create Three-dimensional Animation. In: *Proceedings of the 2009 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*. New York, NY, USA : ACM, 2009 (SCA '09). – ISBN 978–1–60558–610–6, 93–102
- [Lud15] LUDWIG, O.: *Ganganalyse in der Praxis: Anwendung in Prävention, Therapie und Versorgung*. Maurer, C, 2015 <https://books.google.de/books?id=We9prgEACAAJ>. – ISBN 9783875170535
- [Luq] LUQUE, Raul R.: *The Cel Shading Technique*, Diss.
- [MMK12] MORI, Masahiro ; MACDORMAN, Karl ; KAGEKI, Norri: The Uncanny Valley [From the Field]. In: *IEEE Robotics & Automation Magazine* 19 (2012), 06, S. 98–100. <http://dx.doi.org/10.1109/MRA.2012.2192811>. – DOI 10.1109/MRA.2012.2192811
- [Mou18] MOU, Tsai-Yun: *Keyframe or Motion Capture? Reflections on Education of Character Animation*, 2018
- [Muy85] MUYBRIDGE, E.: *Horses and Other Animals in Motion: 45 Classic Photographic Sequences*. Dover Publications, 1985 (Dover Anatomy for Artists Series). <https://books.google.de/books?id=UXgrTxNBdVkC>. – ISBN 9780486249117
- [PALP18] PENG, Xue B. ; ABBEEL, Pieter ; LEVINE, Sergey ; PANNE, Michiel van d.: DeepMimic: Example-guided Deep Reinforcement Learning of Physics-based Character Skills. In: *ACM Trans. Graph.* 37 (2018), Juli, Nr. 4, 143:1–143:14. <http://dx.doi.org/10.1145/3197517.3201311>. – DOI 10.1145/3197517.3201311. – ISSN 0730–0301

- [PCYQ18] PAN, Junjun ; CHEN, Lijuan ; YANG, Yuhan ; QIN, Hong: Automatic skinning and weight retargeting of articulated characters using extended position-based dynamics. In: *The Visual Computer* 34 (2018), Oct, Nr. 10, 1285–1297. <http://dx.doi.org/10.1007/s00371-017-1413-6>. – DOI 10.1007/s00371-017-1413-6. – ISSN 1432–2315
- [PWBN14] PFISTER, Alexandra ; WEST, Alexandre M. ; BRONNER, Shaw ; NOAH, Jack A.: Comparative abilities of Microsoft Kinect and Vicon 3D motion capture for gait analysis. In: *Journal of Medical Engineering & Technology* 38 (2014), Nr. 5, 274–280. <http://dx.doi.org/10.3109/03091902.2014.909540>. – DOI 10.3109/03091902.2014.909540
- [PYX⁺09] PAN, Junjun ; YANG, Xiaosong ; XIE, Xin ; WILLIS, Phil ; J. ZHANG, Jian: Automatic rigging for animation characters with 3D silhouette. In: *Journal of Visualization and Computer Animation* 20 (2009), 06, S. 121–131. <http://dx.doi.org/10.1002/cav.284>. – DOI 10.1002/cav.284
- [RJD13] ROSE, Rachel ; JUTAN, Mike ; DOUBLESTEIN, John: BlockParty 2: Visual Procedural Rigging for Film, TV, and Games. In: *ACM SIGGRAPH 2013 Talks*. New York, NY, USA : ACM, 2013 (SIGGRAPH '13). – ISBN 978–1–4503–2344–4, 8:1–8:1
- [RSST17] RAGHAVENDRA, P. ; SACHIN, M. ; SRINIVAS, P. S. ; TALASILA, Viswanath: Design and Development of a Real-Time, Low-Cost IMU Based Human Motion Capture System. In: VISHWAKARMA, H.R. (Hrsg.) ; AKASHE, Shyam (Hrsg.): *Computing and Network Sustainability*. Singapore : Springer Singapore, 2017. – ISBN 978–981–10–3935–5, S. 155–165
- [RV16] RIBEIRO, Tiago H. ; VIEIRA, Milton Luiz H.: MOTION CAPTURE TECHNOLOGY - BENEFITS AND CHALLENGES. In: *INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIVE RESEARCH IN TECHNOLOGY & SCIENCE* 4 (2016), Nr. 1, S. 48–51. – ISSN 2321–1156
- [SBSS13] SALEHI, Sarvenaz ; BLESER, Gabriele ; SCHMITZ, Norbert ; STRICKER, Didier: A Low-Cost and Light-Weight Motion Tracking Suit, 2013
- [Slo07] SLOT, Kristine: *Motion blending*, Copenhagen University, Department of Computer Science, Diss., 2007
- [SS17] STOMAKHIN, Alexey ; SELLE, Andrew: Fluxed Animated Boundary Method. In: *ACM Trans. Graph.* 36 (2017), Juli, Nr. 4, 68:1–68:8. <http://dx.doi.org/10.1145/3072959.3073597>. – DOI 10.1145/3072959.3073597. – ISSN 0730–0301
- [SW06] SMITH, Jason ; WHITE, Jeff: BlockParty: Modular Rigging Encoded in a Geometric Volume. In: *ACM SIGGRAPH 2006 Sketches*. New York, NY, USA : ACM, 2006 (SIGGRAPH '06). – ISBN 1–59593–364–6

-
- [TJ81] THOMAS, Frank ; JOHNSTON, Ollie: *The Illusion of Life: Disney Animation*. Abbeville Press, 1981. – ISBN 0–89659–233–2
- [WNS⁺10] WHITED, Brian ; NORIS, Gioacchino ; SIMMONS, Maryann ; SUMNER, Robert ; GROSS, Markus ; ROSSIGNAC, Jarek: BetweenIT: An Interactive Tool for Tight Inbetweening. In: *Comput. Graph. Forum* 29 (2010), 05, S. 605–614. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8659.2009.01630.x>. – DOI 10.1111/j.1467-8659.2009.01630.x
- [YAH10] YAMANE, Katsu ; ARIKI, Yuka ; HODGINS, Jessica: Animating Non-humanoid Characters with Human Motion Data. In: *Proceedings of the 2010 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*. Goslar Germany, Germany : Eurographics Association, 2010 (SCA '10), 169–178
- [YLH⁺12] YE, Genzhi ; LIU, Yebin ; HASLER, Nils ; JI, Xiangyang ; DAI, Qionghai ; THEOBALT, Christian: Performance Capture of Interacting Characters with Handheld Kinects. In: FITZGIBBON, Andrew (Hrsg.) ; LAZEBNIK, Svetlana (Hrsg.) ; PERONA, Pietro (Hrsg.) ; SATO, Yoichi (Hrsg.) ; SCHMID, Cordelia (Hrsg.): *Computer Vision – ECCV 2012*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2012. – ISBN 978–3–642–33709–3, S. 828–841

