

CGI-Integration im Puppentrick

Eine Workflow Entwicklung anhand eines CG Head-Replacements

Bachelorarbeit vorgelegt von: Fabian Willgart

Matrikelnummer: 15471024

Prüfer: Prof. Dipl.-Anim. Peter Kaboth

Zweitprüferin: Jennifer Meier

Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe

Fachbereich Medienproduktion

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Motivation	6
1.2	Vorgehen	6
2	Technische Grundlagen	7
2.1	Das Stop-Motion-Prinzip	7
2.1.1	Techniken	8
2.1.2	Herausforderung Bewegungsunschärfe	12
2.1.3	Facial Animation	14
2.2	Visual Effects	17
2.2.1	Datenakquise	17
2.2.2	Farbmanagement	23
2.2.3	Matchmove	27
2.2.4	Compositing	30
3	Workflow-Entwicklung	34
3.1	Vorbereitung	34
3.2	Postproduktion	36
3.2.1	Der Trackingprozess	38
3.2.2	Rendering	41
3.2.3	Compositing	43
3.3	Erkenntnisse	45
4	Fazit	47
4.1	Reflexion	48
5	Literaturverzeichnis	50
5.1	Onlinequellen	51
5.2	Filme	51
5.3	Serien	52

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Armatur aus Draht	9
Abbildung 2: Einzelne Figuren als Wechselemente	9
Abbildung 3: Armatur für Casey	10
Abbildung 4: Füße der Armatur	11
Abbildung 5: Elemente des Puppenkopfes	11
Abbildung 6: Entwürfe für Casey Schilling	12
Abbildung 7: Smear Frames erstellt durch Replacements	13
Abbildung 8: Bewegungsunschärfe durch Langzeitbelichtung	14
Abbildung 9: Mechanische Armatur für die Animation der Mimik	15
Abbildung 10: Replacements als Design Element	16
Abbildung 11: Digitale Ergänzung abgefilmter Augen in Madame Tutli-Putli	16
Abbildung 12: Ergänzung von Facial-Animation durch digitale Nachbearbeitung im Stop-Motion Spezial zu Over the Garden Wall	17
Abbildung 13: Kamera Report Vorlage der Visual Effects Society	18
Abbildung 14: Tonnenförmige Objektivverzeichnung	19
Abbildung 15: Kissenförmige Objektivverzeichnung	19
Abbildung 16: Objektivgitter zur Berechnung der Objektivverzeichnung	20
Abbildung 17: Wichtige Daten zu Kameraeinstellungen abrufbar durch die Raw-Dateien	20
Abbildung 18: Ein aufgefächertes HDR-Bild zum Ausleuchten einer 3D-Szene	21
Abbildung 19: CIE-Diagramm	24
Abbildung 20: Grafische Darstellung der Lichtaufnahme eines Kamerasensors	24
Abbildung 21: Grafische Darstellung der logarithmischen Lichtwahrnehmung des Menschen	25
Abbildung 22: Der sRGB-Farbraum als Teil des wahrnehmbaren Spektrums	26
Abbildung 23: Aufbau eines Markers mit Mittelpunkt, Muster- und Suchbereich	28
Abbildung 24: Maske für den CG-Kopf von Casey	30
Abbildung 25: Mit der Maske multipliziertes Ausgangsbild das über ein Muster gelegt wurde	31
Abbildung 26: Die einzelnen Diffuse Render-Pässe für den CG-Kopf von Casey	32
Abbildung 27: Der Kopf vor (oben) und nach (unten) der Multiplikation mit dem AO-Pass	33
Abbildung 28: Dokument mit wichtigen Informationen für die Postproduktion	36
Abbildung 29: Bild mit linearer Gammakurve durch die Konvertierung in ACES	37
Abbildung 30: Bild nach der Einstellung eines sRGB-Luts	37
Abbildung 31: Die in Nuke integrierte OCIO Library mit dem ACES 1.2 Farbraum	38
Abbildung 32: Festlegung der Markierungen auf der Hohlkehle als Tracking-Features	38
Abbildung 33: Festlegen von Punkten auf dem Puppenkopf als Tracking-Feature	39
Abbildung 34: Tracking-Abbrüche im Dope-Sheet des Tracking Fensters in Blender	39
Abbildung 35: Punktwolke mit Bewegungsdaten des Puppenkopfes	40
Abbildung 36: Pins zur Anpassung und Verzerrung der Geometrie	41
Abbildung 37: Digitaler Lichtaufbau innerhalb Blenders	42
Abbildung 38: Die drei Texturen für Farbe, Rauheit und Bump im Shader-Editor von Blender	42
Abbildung 39: Kombination der Renderpässe zu einem Beauty-Pass	43
Abbildung 40: Integration von Farbkorrekturen mithilfe der premult/unpremult Nodes	44
Abbildung 41: Integration einer Roto-Sektion im Skript um Teile der Plate über den CG-Kopf zu legen	44
Abbildung 42: Zweite Szene die mithilfe des getesteten Workflows umgesetzt wurde	46

Abkürzungsverzeichnis

ACES	Academy Color Encoding System
CG	Computer Generated
CGI	Computer Generated Imagery
IDT	Input Device Transform
JPG	Joint Photographic Experts Group
ODT	Output Device Transform
Pixel	Picture Element
PNG	Portable Network Graphics

1 Einleitung

Der Stop-Motion-Film blickt auf eine lange Tradition zurück, von frühen Filmen wie *Le Roman de Renard* (Starewitch, 1937) bis hin zu aktuellen Werken wie *Missing Link* (Butler, 2019). Diese Technik, die mit erheblichem Aufwand und sorgfältiger Planung verbunden ist, übt bis heute eine besondere Faszination auf ihr Publikum aus. Purves (2014) führt dies vor allem darauf zurück, dass die Zuschauer den menschlichen Einfluss auf die Puppen und deren Animation unmittelbar wahrnehmen. Insbesondere die handgemachte Ästhetik verdeutlicht, dass es sich um eine von Menschen geschaffene Illusion handelt. Zwar haben sich Computeranimationen technisch so weit entwickelt, dass sie eine ähnliche Wirkung entfalten können, doch wie Purves (2008) betont, erfordert dies zusätzliche Arbeitsschritte, für die mehr Zeit benötigt wird.

Dennoch hat sich die Filmtechnik weiterentwickelt und mit ihr auch der Stop-Motion-Film. So produziert das amerikanische Studio *Laika Animation* Stop-Motion-Filme, die mithilfe von Computer Generated Imagery (CGI) und Visual-Effects-Techniken (VFX) erweitert werden. Auch die Zugänglichkeit zu 3D-Druckverfahren wird von modernen Produktionen genutzt. So werden die Köpfe von Puppen in einer 3D-Software modelliert, um im Anschluss verschiedene Gesichtsausdrücke zu drucken und diese als Wechselelemente für Dialoge und Mimik einzusetzen. Mithilfe dieser Technik können feinere Mimiken erzeugt werden, welche die Animationen lebendiger wirken lassen. Auch der Einsatz von Fremdelementen wird durch digitale Technologien möglich. So zu sehen in *Madame Tutli-Putli* (Lavis et al., 2007). In diesem Film sind die Köpfe der Puppen aus Holz geschnitzt worden und die Augen wurden, in der Postproduktion, mithilfe von Aufnahmen echter Schauspieler ergänzt. Diese Entwicklungen zeigen, dass der Stop-Motion-Film wandlungsfähig ist. Moderne Animations- und Bearbeitungstechniken stellen somit eine Chance dar und nicht das Ende dieser alten Form der Animation.

Vor diesem Hintergrund verfolgt die Arbeit das Ziel, einen Workflow zu entwickeln, der die Kombination von CG-Elementen mit Stop-Motion-Animationen ermöglicht. Unter einem Workflow wird dabei eine klar strukturierte Abfolge von Handlungsanweisungen und Vorgaben verstanden, die auf ein bestimmtes Ergebnis ausgerichtet sind. Konkret befasst sich die Untersuchung mit dem Austausch eines Puppenkopfes durch einen CGI-Kopf mithilfe von VFX-Techniken, nachfolgend als Head Replacement bezeichnet. Dadurch entsteht eine Verbindung von klassischer Stop-Motion-Animation, die am Set durch die Bewegungen der Puppe realisiert wird, und digitaler 3D-Animation, die den Gesichtsausdruck gestaltet. Da Körper- und Gesichtsanimationen in der Darstellung nicht voneinander zu trennen sind, erfordert die Umsetzung eine enge Verknüpfung beider Techniken, um eine stimmige finale Szene zu erzeugen.

Die Relevanz dieser Arbeit ergibt sich aus der Verbindung von traditioneller Stop-Motion und digitaler Computeranimation. Während beide Bereiche bereits untersucht wurden, fehlen bislang systematische Ansätze, die beide Techniken miteinander verknüpfen. Gerade für hybride Produktionen, in denen klassische Puppenanimation mit zusätzlichen digitalen Elementen kombiniert werden, eröffnet ein solcher Ansatz neue Möglichkeiten. Die Entwicklung eines klar strukturierten Handlungsleitfadens liefert hierfür nicht nur eine Grundlage, sondern kann auch flexibel angepasst und weiterentwickelt werden, um künftige Produktionen methodisch zu unterstützen.

Es bleibt zu erwähnen, dass die nachfolgende Arbeit den Begriff Stop-Motion nutzt, um Filme zu beschreiben, in denen Puppen als Darsteller dienen und sich in einer imaginären Welt bewegen. Der Einsatz von Stop-Motion-Animationen als Spezialeffekt wird in dieser Arbeit nicht behandelt.

1.1 Motivation

Die praktische Grundlage für diese Arbeit bildet der Kurzfilm *ENOUGH.*, den ich gemeinsam mit meiner Kommilitonin Jessica Benske realisiere. Im Zentrum der Geschichte steht die Figur Casey Schilling, die auf einer symbolischen Reise in ihr Inneres mit traumatischen Erfahrungen aus ihrer Vergangenheit konfrontiert wird. Damit diese emotionale Dimension für das Publikum nachvollziehbar wird, mussten die Gesichtsausdrücke der Puppe besonders ausdrucksstark gestaltet werden. Das Storyboard sah zahlreiche Nahaufnahmen vor, wodurch die Anforderungen an die Mimik erheblich stiegen.

Konventionelle Verfahren, die einen solchen Detailgrad ermöglichen, erwiesen sich jedoch als nicht finanzierbar oder praktisch nicht umsetzbar. Aus diesem Grund entstand die Idee, die Animation der Mimik, nachfolgend Facial Animation genannt, in die Postproduktion zu verlagern. Anstelle physischer Techniken sollte die Mimik digital erzeugt werden, um die emotionale Wirkung der Figur zu verstärken und zugleich einen flexiblen, reproduzierbaren Produktionsprozess zu schaffen.

Während der Arbeit galt mein Interesse der Entwicklung eines konkreten Workflows für *ENOUGH.*, dementsprechend beschränken sich die Ausführungen auf die von uns genutzten Softwarepakete und Werkzeuge. Des Weiteren ist es mein Anliegen, einen Workflow zu gestalten, der von Künstlern und unabhängigen Filmemachern eingesetzt werden kann, ohne dass Programmierkenntnisse oder die Entwicklung eigener Lösungen vorausgesetzt werden. Im Rahmen der Arbeit sollen grundlegende Erkenntnisse dazu dienen, ein Fundament zu schaffen, das kleinen Produktionen dabei hilft, ihre Stop-Motion-Filme durch CGI zu erweitern.

1.2 Vorgehen

Als Grundlage für die Entwicklung des Workflows werden gängige Techniken und Methoden aus den Bereichen Stop-Motion-Animation und VFX analysiert. Die gewonnenen Erkenntnisse werden miteinander verglichen, um daraus konkrete Handlungsempfehlungen abzuleiten.

Ein besonderer Fokus liegt auf den Grundlagen der Stop-Motion-Animation, die mit etablierten VFX-Methoden abgeglichen werden. Auf diese Weise sollen spezifische Besonderheiten herausgearbeitet und Lösungen für mögliche Sonderfälle entwickelt werden.

Zu diesen Besonderheiten zählen unter anderem die Fragen, wie der Puppenkopf gestaltet sein sollte, welche Auswirkungen das Animieren auf Twos auf das Objekt-Tracking hat, welche Arbeitsabläufe sich für die Arbeit am Set ergeben und inwiefern unterschiedliche Bildformate wie Foto-Raw-Dateien die Postproduktion beeinflussen.

Die erarbeiteten Erkenntnisse werden in einer Testaufnahme praktisch erprobt. Die dabei gewonnenen Ergebnisse werden anschließend analysiert und im Hinblick auf ihr Optimierungspotenzial bewertet.

2 Technische Grundlagen

Im Folgenden werden zentrale Techniken und Konzepte dargestellt, die für die Realisierung von *ENOUGH*. relevant sind. Zunächst werden für den Film bedeutsame Verfahren der Stop-Motion-Animation erläutert, anschließend werden im zweiten Teil des Kapitels die eingesetzten Visual-Effects-Techniken beschrieben. Aspekte, die für die Umsetzung des vorliegenden Projekts ohne Relevanz sind, werden bewusst ausgelassen.

2.1 Das Stop-Motion-Prinzip

Das Grundprinzip hinter Stop-Motion, dem Stop-Trick-Verfahren, ist sehr alt. Bereits Georges Méliès wurde Ende des 19. Jahrhunderts durch einen Zufall auf das Prinzip des Jump Cuts aufmerksam und nutzte es für seine filmischen Experimente (Purves, 2014). Laut dem *Lexikon der Filmbegriffe* (2022) handelt es sich bei einem Jump Cut um einen „Schnitt zwischen zwei Bildern, die hinsichtlich Kameradistanz und Bildausschnitt identisch sind, aber einen Sprung in der Handlung vollziehen. Ein Jump Cut ist sehr deutlich zu sehen und will auch deutlich wahrgenommen werden, sofern es sich nicht um einen Anschluss- bzw. Schnittfehler handelt“.

Lord und Sibley (2004) beschreiben, dass Méliès bei Dreharbeiten auf der Straße bemerkte, wie der Film in seiner Kamera stockte. Es dauerte eine Minute, bis die Kamera wieder lief. In dieser Zeit wurden keine Aufnahmen gemacht, doch die Menschen und Fahrzeuge, welche Méliès filmte, bewegten sich weiter. Dadurch wirkte es in der fertigen Aufnahme so, als würden sich Frauen und Männer in das jeweils andere Geschlecht verwandeln oder Autos in Pferde.

Bei der Betrachtung des Stop-Trick-Prozesses fällt auf, dass auch hier die Pausen zwischen den Aufnahmen bewusst genutzt werden, um das Bild zu manipulieren. Demnach stellt der Jump Cut die Grundlage der Stop-Trick-Technik dar. Die Manipulation jedes einzelnen Bildes und die Kontrolle über den Aufnahmezeitpunkt erschaffen die Illusion von Bewegung.

Ermöglicht wird das durch die Trägheit des menschlichen Auges. Bilder, die wir sehen, wirken für den Bruchteil einer Sekunde auf der Netzhaut nach. Dadurch nehmen wir schnelle, aufeinanderfolgende Bildsequenzen als flüssige Bewegung wahr (Lord und Sibley, 2004). Die Ursache dafür ist, dass Menschen nur zehn bis zwölf Bilder pro Sekunde verarbeiten können, während ein Bild für ein Fünfzehntel einer Sekunde auf der Netzhaut bestehen bleibt (Persistenz des Sehens | Adobe, o. J.). Folgen nun weitere Einzelbilder, werden sie vom Gehirn so miteinander verknüpft, dass eine flüssige Bewegung suggeriert wird (Persistenz des Sehens | Adobe, o. J.). Diese Besonderheit des menschlichen Sehens ist somit die Voraussetzung für das Gelingen der Stop-Trick-Illusion.

Spielfilme haben eine Bildrate von 24 Bildern pro Sekunde. Demnach müssen entsprechend viele Bilder für eine Sekunde aufgenommen und im Fall von Stop-Motion-Filmen animiert werden. Es besteht allerdings die Möglichkeit, Einzelbilder doppelt so lange stehen zu lassen, sodass es zwölf Bilder für eine Sekunde braucht (Shaw, 2008). Dieses Verfahren wird auch Animieren auf Twos genannt (Lord und Sibley, 2004). Um Zeit zu sparen, werden die meisten Szenen in *ENOUGH*. ebenfalls auf Twos animiert. Shaw (2008) ergänzt, dass die Animation auf Twos bei schnellen Bewegungen nicht flüssig genug wirkt. Priebe (2011) führt dazu aus, dass eine schnelle Bewegung eine größere Distanz zwischen den Bildern voraussetzt, wodurch die Einzelbilder stärker erkennbar werden. Diese Nachteile sollten bei der Wahl der Animationsweise berücksichtigt werden.

Nach Lord und Sibley (2004) ist es gängige Praxis, dass bei Produktionen der *Aardman Animation Studios* überwiegend die Zweibild-Animation genutzt werde. Dies ergebe sich aus Kosten- und Zeitgründen.

Purves (2014) merkt an, dass für eine gelungene Verknüpfung der Bilder Gestaltungsregeln beachtet werden müssen, wenn eine möglichst natürliche Bewegung erzeugt werden soll. Die Kontinuität zwischen den Einzelbildern wird, ihm nach, nicht nur durch korrekte Posen erzeugt, sondern durch das gesamte Bild. Es ist also die Kombination aus Bildaufbau, Lichtstimmung, Setgestaltung und der Position des animierten Objekts, welche eine Kontinuität erzeugt, die das Gesehene glaubhaft werden lässt.

Diese Anmerkung von Purves (2014) ergänzt die Beschreibungen von Lord und Sibley (2004), da die entstandene Illusion bei Méliès nur durch die Kontinuität der Szenerie wirken konnte, die er aufnahm. Der Effekt der Verwandlung war nur deshalb überzeugend, weil sich die Objekte im Bild veränderten, nicht aber die Umgebung selbst.

Somit lässt sich feststellen, dass Stop-Motion-Filme nur durch die Trägheit des menschlichen Sehens und die technische Möglichkeit der Einzelbildmanipulation entstehen. Dabei können Animatoren und Filmemacher jedes einzelne Bild nach ihren Vorstellungen gestalten oder länger stehen lassen. Dies unterscheidet sie von Spielfilmen, bei denen während der Aufnahme der Sensor fortlaufend belichtet wird oder eine Filmrolle kontinuierlich durchläuft. Dort ist jedes Einzelbild während der Aufnahme Teil eines kontinuierlichen Bewegungsablaufs und lässt sich, während der Aufnahme, nicht individuell manipulieren.

2.1.1 Techniken

Dieses Kapitel behandelt verschiedene handwerkliche Methoden, um Stop-Motion-Puppen so zu gestalten, dass sie posiert und somit animiert werden können. Der Fokus liegt dabei auf der Puppenanimation und nicht auf der Arbeit mit Alltagsgegenständen oder anderen Objekten. Dies ist der Fall, weil im vorliegenden Film ebenfalls ausschließlich animierbare Puppen zum Einsatz kommen sollen.

Im Bereich des Stop-Motion-Films existiert eine Vielzahl von Techniken zur Umsetzung von Animationen. Eine davon ist die Verwendung von Armaturen innerhalb der Puppe (siehe Abbildung 1). Shaw (2008) erläutert, dass es sich bei Armaturen um Skelette handelt, welche die Puppe beweglich machen. Die Anfertigung kann sehr einfach gehalten werden durch den Einsatz von Aluminiumdraht oder aufwändiger, durch die maschinelle Fertigung von Gelenken und Mechanismen. Durch Schaumstoff, Modelliermasse oder Knete erhält die Puppe dann ihr Volumen. Die Konstruktion der Armatur ist dabei ausschlaggebend für den Bewegungsumfang (Shaw, 2008). Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer konkreten Planung. Es muss sichergestellt sein, dass die genutzte Puppe die vorgegebenen Bewegungen darstellen kann (Lord und Sibley, 2004). Außerdem ist die Anfertigung einer Armatur teuer und dementsprechend eine Frage des zur Verfügung stehenden Budgets und der Anzahl benötigter Puppen (Priebe, 2011).

Abbildung 1: Armatur aus Draht



Quelle: Priebe, 2011, S.85

Ein weiteres Mittel für die Realisierung von Charakteranimationen sind Replacements. Dabei handelt es sich um Elemente, die während der Animation getauscht werden können, um bestimmte Posen, Ausdrücke oder Effekte darzustellen (Priebe, 2011). So können für bestimmte Bewegungen Wechselelemente modelliert oder durch 3D-Druck hergestellt werden. Darüber hinaus können Charaktere und deren Bewegungen als Replacement-Figuren realisiert werden, die am Set von Bild zu Bild getauscht werden (Priebe, 2011). Auch dieses Vorgehen setzt eine genaue Planung voraus und kann mit hohen Kosten verbunden sein, da für jeden Frame, wie in Abbildung 2 gezeigt, eigene Elemente oder ganze Figuren hergestellt werden müssen.

Abbildung 2: Einzelne Figuren als Wechselelemente



Quelle: Corridor Crew, 2025, 05:40

Bei Claymation, einer Wortverknüpfung des englischen Wortes Clay für Knete und Animation für Bewegung, wird eine Figur aus Knete geformt und von Bild zu Bild neu modelliert. Diese Methode ist durch die Filme der *Aardman Animation Studios* bekannt geworden. Claymation bietet besondere Möglichkeiten durch die Formbarkeit des Mediums. Shaw (2008) erklärt, dass dabei Gliedmaßen verzerrt werden können, Figuren in sich zusammenfallen oder Teile einer Puppe umgeformt werden. Folglich sei die Kontrolle über das zu animierende Objekt wesentlich geringer als bei einer Armatur.

Zudem weist Shaw (2008) darauf hin, dass während des Animationsprozesses Proportionen der Figur verloren gehen oder Elemente falsch modelliert werden könnten. Lord und Sibley (2004) erläutern, dass aus diesen Gründen oft Armaturen als Basis eingesetzt werden und in das Plastilin, die verwendete Modelliermasse, eingearbeitet werden.

Die Ausführungen von Lord und Sibley (2004) zeigen, dass die verschiedenen Methoden zur Gestaltung von Puppen nicht unabhängig voneinander betrachtet werden sollten. So können Armaturen mit Wechselementen versehen werden oder Knetfiguren mit einem Drahtskelett. Wie Shaw (2008) erläutert sollte allerdings beachtet werden, welche Vor- und Nachteile die einzelnen Herangehensweisen mit sich bringen. Bei der Erstellung der Puppe für *ENOUGH* wurde eine Armatur hergestellt, die auf das Character Design, also die vorausgegangene visuelle Gestaltung der Figur, angepasst wurde. Dafür wurden einzelne Kugelgelenke, Gewindestifte und Messinghülsen zusammen mit speziell angefertigten Bauteilen kombiniert (siehe Abbildung 3). Wie Shaw (2008) anmerkt, wurden durch das Storyboard einige Bewegungen vorgegeben, die durch die gestaltete Armatur umsetzbar sein sollten.

Abbildung 3: Armatur für Casey



Quelle: eigene Aufnahme

So ist es notwendig, dass die Armatur für Casey die Möglichkeit besitzt, den Fußballen unabhängig vom Mittelfuß zu bewegen. Dementsprechend muss der Fuß aus zwei Teilen bestehen, die durch ein Gelenk verbunden werden (siehe Abbildung 4). Ergänzend dazu wurden in den Füßen Gewinde eingearbeitet, um die Puppe mit dem Tisch, auf dem das Set steht, verschrauben zu können. Durch diese Verschraubung kann sichergestellt werden, dass die Puppe ihre Pose behält, ohne dass Stützen verwendet werden, die im Anschluss herausretuschiert werden müssen.

Daran zeigt sich, dass auch zusätzliche Schritte in der Postproduktion bei der Planung einer Puppe relevant sein können. Des Weiteren musste die Größe der Armatur den Vorgaben entsprechen und zusammen mit dem Puppenkopf eine Höhe von 22 Zentimetern nicht überschreiten. Das war der Fall, da der Maßstab von 1:8 bereits am Anfang der Produktionsvorbereitungen festgelegt wurde. Dementsprechend waren Set-Elemente schon vor dem Bau der Puppe fertiggestellt und die Puppe musste dem Maßstab entsprechend angepasst werden.

Abbildung 4: Füße der Armatur



Quelle: eigene Aufnahme

Ihr Volumen erhielt die Puppe durch Schaumstoff, der um die dünne Armatur gewickelt wurde. Nach Shaw (2008) ist das ein gängiges Vorgehen, um die Kleidung der Puppe auszufüllen, ohne dass zu viel Gewicht hinzugefügt wird. Lord und Sibley (2004) ergänzen, dass die Reduktion von Gewicht dabei hilft den Einsatz zusätzlicher Elemente wie Stützen zur Positionierung der Puppe zu reduzieren. Die Hände wurden mithilfe von Draht und flexibler Modelliermasse realisiert. Erst wurde der Draht in Form gebracht und die einzelnen Finger ineinander verdreht. Im Anschluss wurden die Drahhände in Modelliermasse eingearbeitet. Diese Materialwahl ergab sich aufgrund des Budgets, da die Materialien günstig und leicht zu verarbeiten sind. Der Kopf der Puppe wurde zunächst digital erstellt und dann mithilfe des 3D-Drucks in zwei Teilen, Vorder- und Hinterkopf, hergestellt. Lücken wurden mit Spachtelmasse geschlossen und geschliffen (siehe Abbildung 5). Für die Bemalung wurden Farben aus dem Modellbau genutzt. Da der Kopf durch ein 3D-Modell ersetzt wird, wurde der fertige Puppenkopf eingescannt, um eine digitale Referenz zu erhalten.

Abbildung 5: Elemente des Puppenkopfes



Quelle: eigene Aufnahme

Aufgrund der eigenen Ästhetik wurde auf den Einsatz von Knete verzichtet. Das ist der Fall, da während der Charakterentwicklung optische Elemente im Design festgelegt wurden, die in Claymation nur schwer umzusetzen sind. Vor allem die scharfen Kanten im Gesicht der Hauptfigur, die in Abbildung 6 zu sehen sind, würden bei der Verwendung von Modelliermasse wie Knete regelmäßig korrigiert werden müssen. Hinzu kommt, dass der Kopf der Hauptfigur in 3D umgesetzt werden soll, wodurch auch der Einsatz entsprechender Replacements nicht nötig ist.

Abbildung 6: Entwürfe für Casey Schilling



Quelle: Jessica Benske, 2025

2.1.2 Herausforderung Bewegungsunschärfe

Da Stop-Motion-Animationen durch die Aufnahme einzelner Fotografien entstehen, müssen bestimmte videotechnische Elemente vorab geplant und anschließend ergänzt werden. Besonders die Darstellung von Bewegungsunschärfe stellt hierbei eine zentrale Herausforderung dar.

Eine Videokamera erzeugt bei schnellen Bewegungen verschwommene Bildelemente, Bewegungsunschärfe oder Motion Blur genannt (Lord und Sibley, 2004). Diese Unschärfe entsteht durch lange Belichtungszeiten. Während eine Bewegung vor der Kamera stattfindet, sammelt der Sensor oder Film durchgängig Lichtdaten, die ineinander übergehen (Lord und Sibley, 2004).

Da im Stop-Motion-Film einzelne Fotografien für Sequenzen genutzt werden, entsteht während der Aufnahme selbst keine Bewegungsunschärfe, weil die einzelnen Fotografien scharfgestellt sind und die Puppe sich nicht eigenständig bewegt (Priebe, 2011). Die Elemente vor der Kamera werden nie in Bewegung abfotografiert, sondern stehen still. Ohne Bewegungsunschärfe wirken Bewegungen oft stockend, da unser Auge, wie in 2.1 beschrieben, keine wirkliche Verbindung zwischen den Einzelbildern herstellen kann (Priebe, 2011).

Dieser Effekt tritt vor allem bei schnellen Bewegungen auf, da diese durch wenige Einzelbilder realisiert werden, in denen sich die Pose der zu animierenden Figur schnell ändert (Bühler et al., 2017). Diese Regel geht auf eines der zwölf Animationsprinzipien zurück, das als Timing bekannt ist (Thomas und Johnston, 1997). Nach Bühler (2017) gehen die zwölf Prinzipien der Animation auf Frank Thomas und Ollie Johnston zurück. Diese zwölf Grundregeln erklären, wie Bewegung glaubwürdig, lebendig und verständlich wirkt. Ursprünglich für den klassischen Zeichentrick entwickelt, lassen sie sich auf alle Animationsformen übertragen.

Die Verwendung einer großen Anzahl an Bildern lässt Animationen langsamer wirken, als die Nutzung einer geringen Anzahl von Bildern (Bühler et al., 2017). Bewegungsunschärfe gibt dem Betrachter ein Gefühl für Geschwindigkeit und Dynamik, da sie bei richtigem Einsatz an schnelle Bewegungen erinnert, die aus Videoaufnahmen bekannt sind. In der klassischen 2D-Animation tritt dieses Problem ebenfalls auf, dort werden Einzelbilder verzerrt gezeichnet, um Bewegungsunschärfe zu imitieren. Diese verzerrten Bilder werden als Smear Frames bezeichnet (Lederer, 2008).

Für den Stop-Trick gibt es einige Möglichkeiten, Smear Frames zu ergänzen oder Geschwindigkeit anderweitig darzustellen. So kann die Puppe selbst so gestaltet werden, dass der Animator in der Lage ist, Geschwindigkeit durch das Kostüm der Puppe zu zeigen. Das gelingt beispielsweise durch Kleidung, Schmuck oder Haare, die verändert werden (Purves, 2014). Hier wird Bewegungsunschärfe nicht ergänzt, sondern Geschwindigkeit anders dargestellt. Claymation bietet hingegen die Möglichkeit, Elemente der Puppe im Animationsprozess so zu modellieren, dass sie wirken, als wäre Bewegungsunschärfe vorhanden (Shaw, 2008). Replacements können denselben Zweck erfüllen und sind dabei nicht an die Claymation-Optik gebunden, wie in der folgenden Abbildung 7 aus dem Film *ParaNorman* (Butler et al. 2012) zu sehen ist.

Abbildung 7: Smear Frames erstellt durch Replacements



Quelle: *ParaNorman*, Butler & Fell, 2012

Bewegt sich die Puppe im Ganzen, besteht die Möglichkeit, eine Glasscheibe vor der Kamera aufzubauen, auf der Vaseline aufgetragen und verschmiert wird. Wird das Muster der Vaseline Bild für Bild verändert, entsteht der Eindruck von Bewegungsunschärfe (Priebe, 2011). Bewegt sich die Puppe zusammen mit der Kamera, muss der Hintergrund mit einer Unschärfe versehen werden. Eine Methode hierfür ist der Einsatz von Langzeitbelichtungen. Belichtet man ein Bild für mehrere Sekunden und bewegt währenddessen die Kamera zusammen mit der Puppe, so wird der Hintergrund unscharf (Lord und Sibley, 2004). Ein Beispiel für dieses Prinzip ist die Zug-Szene aus dem Film *The Wrong Trousers* (Park, 1993) (siehe Abbildung 8). Alternativ dazu kann auch der Hintergrund selbst während der Belichtung bewegt werden (Priebe, 2011). Dafür sollten die zu animierenden Objekte während der Bewegung des Hintergrundes stillstehen.

Abbildung 8: Bewegungsunschärfe durch Langzeitbelichtung



Quelle: *The Wrong Trousers*, Park, 1993

Priebe (2011) merkt an, dass es neben diesen praktischen Ansätzen auch die Möglichkeit gibt, Bewegungsunschärfe mithilfe digitaler Nachbearbeitung zu ergänzen. Compositing-Programme wie *After Effects* oder *Nuke* bieten die Möglichkeit, Bewegungsunschärfe digital hinzuzufügen, ohne dass zusätzliche Arbeitsschritte am Set erforderlich sind. Dazu wird die Bildspur dupliziert und versetzt über die Ausgangsspur gelegt. Durch die Ergänzung eines Unschärfefilters auf der ersten Spur können die entsprechenden Bilder erzeugt werden. Um eine glaubhafte Bewegungsunschärfe zu simulieren, sollte jedoch darauf geachtet werden, dass der Pfad der Unschärfe in seiner Richtung immer der Bewegung der Puppe oder des animierten Elements folgt (Priebe, 2011).

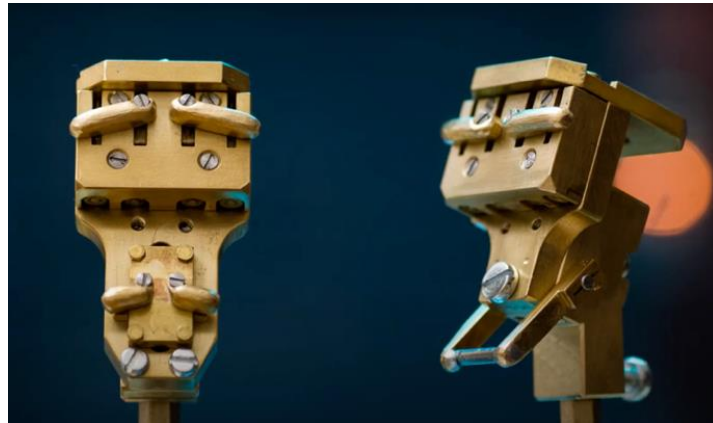
Bewegungsunschärfe ist ein wesentlicher Unterschied zwischen Stop-Motion-Produktionen und Realfilm. Im Realfilm entsteht sie bei schnellen Bewegungen und passenden Belichtungszeiten von selbst. Da Stop-Motion Bild für Bild aufgenommen wird, tritt sie dort nicht automatisch auf. Deshalb muss sie vor allem bei schnellen Bewegungen von Anfang an mitgeplant und gezielt ergänzt werden.

2.1.3 Facial Animation

Körpersprache ist ein gutes Mittel, um Emotionen auszudrücken. Dennoch ist es nicht immer möglich, Emotionen durch expressive Körpersprache darzustellen. Gerade in emotionalen Szenen werden Nahaufnahmen vom Gesicht des Darstellers verwendet. Dann ist es das Gesicht, das Emotionen vermittelt. Ähnlich wie bei der Puppengestaltung gibt es innerhalb des Stop-Motion-Films auch für die Animation von Gesichtern bestimmte handwerkliche Methoden. Diese decken sich mit den zuvor aufgelisteten Techniken der Puppengestaltung. Im Folgenden werden diese Techniken in Bezug auf die Gesichtsanimation kurz erläutert und Vor- sowie Nachteile herausgestellt.

Auch für Puppenköpfe können eigene Armaturen gebaut werden. Hier werden Drähte, Gelenke und Klappen eingesetzt, um die Mimik des Gesichts nachzuahmen (Priebe, 2011) (siehe Abbildung 9). Durch diese Bauweise können verschiedene Elemente des Gesichts unabhängig voneinander bewegt werden, da der Aufbau eines menschlichen Gesichts mit Muskeln und Bändern nachgeahmt wird.

Abbildung 9: Mechanische Armatur für die Animation der Mimik



Quelle: Valentin Felder, 2021, 11:40

Dieses Vorgehen ermöglicht eine große Flexibilität in der Animation, da die Größe der Veränderung von Frame zu Frame frei entschieden werden kann (Purves, 2014). Außerdem können die gebauten Armaturen mit Silikon oder Latex überzogen werden. Das imitiert die Bewegung echter Haut, da das Material durch die Armatur verzerrt und gestaucht wird (Priebe, 2011). Jedoch bringt diese Methode auch Nachteile mit sich. So sorgen aufwendige Kopfarmaturen dafür, dass der Kopf der Puppe schwerer und größer wird. Purves (2014) merkt an, dass das den Animationsprozess beeinträchtigt, da der Schwerpunkt der Puppe verändert wird. Berücksichtigt man, dass für jede Puppe eine eigene Armatur angefertigt werden muss, wird deutlich, dass der Einsatz zusätzlicher Gesichtsarmaturen von mehreren Faktoren abhängt. Dazu gehören die Anzahl der benötigten Puppen und Gesichter, der Maßstab sowie die Größe und das Gewicht der Armaturen. Diese Faktoren entscheiden darüber, ob eine Puppe die Gesichtsarmatur eigenständig tragen kann. Eine weitere Rolle spielt das Budget, das vorgibt, ob die Produktion in der Lage ist die Anfertigung entsprechender Armaturen zu finanzieren (Priebe, 2011).

Im Gegensatz dazu bieten Replacements eine Alternative, um Gesichtsausdrücke zu zeigen. Diese Wechselelemente können für expressive Darstellungen von Emotionen genutzt werden. Das erzeugt allerdings einen großen Planungsaufwand, der je nach Zeitplan nicht immer umgesetzt werden kann. Außerdem müssen die einzelnen Elemente in Bezug auf Form und Farbe genau zueinander passen (Purves, 2014). Zusätzlich sollte der Grad der Nutzung berücksichtigt werden, da an den Elementen Verschleißspuren entstehen können, welche die Kontinuität der Animation zerstören (Priebe, 2011). Neben dem Planungsaufwand ergibt sich somit auch ein erheblicher Pflegeaufwand, da je nach Produktionsdauer entweder Reparaturen anfallen oder neue Replacement-Elemente hergestellt werden müssen. Face Replacements erfordern zudem einen großen Organisationsaufwand am Set, da die vielen Elemente genau sortiert und organisiert sein müssen, um die notwendigen Teile für eine Aufnahme bereitlegen zu können (Priebe, 2011). Handelt es sich bei den genutzten Replacements nur um Teile des Gesichts, so muss eine anschließende Retusche durchgeführt werden, um den Übergang zwischen Kopf und Replacement zu entfernen (Priebe, 2011). Bei der Analyse aktueller Stop-Motion-Produktionen fällt auf, dass die Lücke im Gesicht der Puppe auch als Stilmittel eingesetzt und im Character Design implementiert werden kann. So zum Beispiel im Film *The Forbidden Zone* (Tolchinsky, 2021). Hier trägt der Protagonist, wie in Abbildung 10 zu sehen ist, einen Bart. Die so entstandene Bartlinie passt zur Optik und zerstört nicht die Illusion, was sonst aufgrund des Replacements im Gesicht passieren könnte.

Abbildung 10: Replacements als Design Element



Quelle: *The Forbidden Zone*, Tolchinsky, 2021

Für Claymation gibt es ähnliche Ansätze, um Gesichter zu animieren. So werden in größeren Produktionen vor allem Replacements eingesetzt und von den Animatoren mithilfe von Knete in das Gesicht integriert (Lord und Sibley, 2004). Allerdings besteht auch die Möglichkeit, das Gesicht einer Knetfigur zu modellieren. Diese Methode stellt den Charakter des Mediums heraus, da Fingerabdrücke und Unebenheiten zu sehen sind. Jedoch vergrößert sich der Zeitaufwand, da jeder Frame neu modelliert werden muss. Lord und Sibley (2004) merken an, dass während der Produktion Staub und Dreck in das Gesicht eingearbeitet werden, wodurch bei unsorgfältiger Handhabung Qualitätsunterschiede zwischen einzelnen Szenen entstehen können. Dennoch werde bei Claymation-Produktionen auf Replacements zurückgegriffen, da deren Verwendung im Vergleich zum reinen Modellieren, Zeit am Set spart.

Neben diesen drei Methoden besteht die Möglichkeit einer digitalen Erweiterung in der Postproduktion. So in *Madame Tutli-Putli* (Lavis und Szczerbowski, 2007) zu sehen, wo die Augen von Schauspielern auf den Köpfen der Puppen platziert wurden (siehe Abbildung 11).

Abbildung 11: Digitale Ergänzung abgefilmter Augen in Madame Tutli-Putli



Quell: *Madame Tutli-Putli*, Lavis und Szczerbowski, 2007

Auch in einem Spezial zur Serie *Over the Garden Wall* (Cartoon Network Studios, 2014) wurden die Puppenköpfe durch digitale Gesichter ergänzt (siehe Abbildung 12).

Diese Beispiele verdeutlichen, dass die Nutzung digitaler Elemente für die Gesichtsanimationen bereits in Betracht gezogen wird und entsprechend der Stilistik des Films eingesetzt werden kann.

Abbildung 12: Ergänzung von Facial-Animation durch digitale Nachbearbeitung im Stop-Motion Spezial zu Over the Garden Wall



Quelle: Cartoon Network, 2024, 00:41

Auch in *ENOUGH*. sollen digitale Elemente für die Umsetzung der Animation im Gesicht genutzt werden. Der Kopf der Puppe ist ein Platzhalter, der in der Postproduktion durch eine digitale Kopie ersetzt wird. Wie Priebe (2011) darlegt, basiert die Herstellung von Face Replacements auf dem etablierten 3D-Produktionsworkflow. Zunächst wird ein digitales Modell erstellt und in einer 3D-Software animiert. Anschließend werden die einzelnen Gesichtsausdrücke mithilfe der 3D-Drucktechnologie gefertigt und an der Puppe eingesetzt. Dieser letzte Arbeitsschritt, der 3D-Druck, soll in *ENOUGH*. übersprungen werden. Stattdessen soll die Bewegung des Puppenkopfes auf das 3D-Modell übertragen und dieses dann über das Ausgangsmaterial gelegt werden.

2.2 Visual Effects

Für die Entwicklung eines Workflows, der sich größtenteils auf bestehende Methoden aus dem Bereich VFX stützt, ist es relevant, die vorhandenen Entwicklungen und Abläufe zu analysieren und auf den eigenen Anwendungsfall zu übertragen. Es bestehen bereits Techniken und Programme, die die Integration von CGI in Videomaterial ermöglichen. Im folgenden Kapitel werden die wichtigsten Aspekte für die Umsetzung des Projektes vorgestellt und vor dem Hintergrund der Anwendung auf Stop-Motion-Filme interpretiert. Da es sich bei der Bearbeitung der Szenen vorwiegend um die Integration von CG-Elementen in Videomaterial handelt, werden vor allem die Themen Datenakquise, Farbmanagement, Objekt- und Kameratracking sowie CG-Compositing behandelt.

2.2.1 Datenakquise

Für die Kombination von CG-Elementen mit Videoaufnahmen müssen 3D-Szenen erstellt werden, die zum realen Set passen. Es geht also darum, Set-Elemente, die Position und Optik der Kamera sowie die herrschenden Lichtverhältnisse nachzubauen und zu imitieren. Dinur (2017) beschreibt, dass die dafür notwendigen Informationen nicht allein mit dem vorhandenen Filmmaterial ermittelt werden können, sondern am Set dokumentiert werden müssen. Im Folgenden werden die verschiedenen Informationen, die benötigt werden, vorgestellt.

Für die Erstellung einer digitalen Kamera und Szene braucht die Postproduktion Informationen darüber, wo die Kamera stand, welche Kamera und welches Objektiv benutzt wurden und welche Entfernung die Kamera zum Schauspieler hatte (Dobbert, 2005).

Laut Goulekas (2021) besteht der klassische Ansatz zur Erfassung dieser kamerabezogenen Daten in der Verwendung eines sogenannten Kamera-Reports (siehe Abbildung 13). In diesem Formular werden zentrale technische Parameter dokumentiert und den jeweiligen Aufnahmen zugeordnet. Zu den wichtigsten Angaben zählen die Brennweite und Blende des Objektivs, die Sensorgröße, das verwendete Kameragehäuse, die Kamerahöhe sowie der Abstand zwischen Kamera und Motiv. Dinur (2017) ergänzt, dass neben der Eintragung dieser Informationen in die entsprechende Tabelle die Anfertigung von Referenzfotos hilfreich sein kann, um der Postproduktion einen Eindruck von den Gegebenheiten vor Ort zu übermitteln.

Abbildung 13: Kamera Report Vorlage der Visual Effects Society

VES Visual Effects Society

James Pond - 003.5 Report ID: 1 Scene: 22 Wrangler: sam
Slate: 22ac Cam: A Unit: 2nd

Date: 7/23/2013 Elem Type: Foreground Plate Script Loc: Castle HDR File: 004
Time: 12:31:18 PM Scene Description: Set Loc: Stage 6

VFX cc22
Script Time: ☐ Day ☐ Dusk ☐ Night ☐ Dawn ☐ Int ☐ Ext

Notes: Pan around castle model. Need to replace stage roof with night sky.

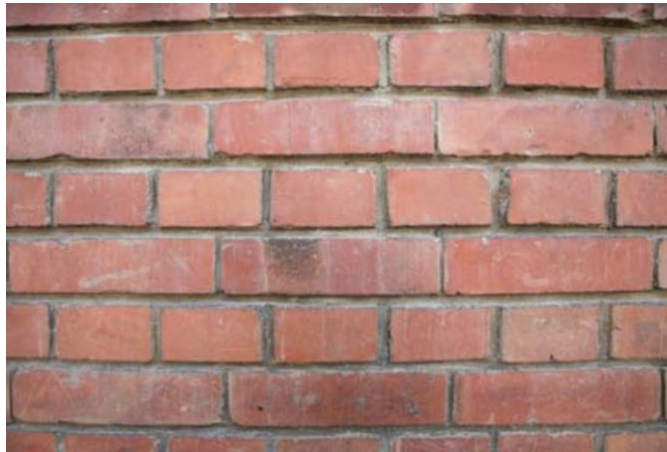
Film Stock: ASA 500 White Balance: Camera Head: Camera Rig: Technocrane

Take	Roll	Filter	Shutter	Stop	FPS	Lens #	Focus		Height		Distance		Notes	
							start	end	start	end	start	end		
1	A071	1/4 wave	180	4	24	SL21-116	21mm	21mm	15'3"	6'10"	+10	+1	inf	20'9"
2	A071	1/4 wave	180	4	24	SL27-23	27mm	27mm	15'3"	6'10"	+10	+1	inf	20'9"
3	A071	1/4 wave	180	4	24	SL27-23	27mm	27mm	15'3"	6'10"	+10	+1	inf	14'3"
4	A071	1/4 wave	180	4	24	SL21-116	21mm	21mm	15'3"	6'10"	+10	+1	inf	20'9"
5	A071	1/4 wave	180	4	24	SL27-23	27mm	27mm	15'3"	6'10"	+10	+1	inf	20'9"
6	A071	1/4 wave	180	4	24	SL27-23	27mm	27mm	15'3"	6'10"	+10	+1	inf	20'9"
7	A071	1/4 wave	180	4	24	SL21-116	21mm	21mm	15'3"	6'10"	+10	+1	inf	20'9"
8	A071	1/4 wave	180	4	24	SL21-116	21mm	21mm	15'3"	6'10"	+10	+1	inf	20'9"
9	A071	1/4 wave	180	4	24	SL21-116	21mm	21mm	15'3"	6'10"	+10	+1	inf	20'9"

Quelle: VES Camera Reports, o. J.

Hinzu kommt, dass es aufgrund der Bauart von Objektiven zu Verzeichnungen im Bild kommen kann. Dobbert (2005) beschreibt die Ursachen für die Verzeichnung der Linse anhand der einzelnen Bauteile und ihrer Position im Objektiv. Für die Bildwirkung ist sowohl die Position der Blende als auch der Einfallswinkel des Lichts entscheidend. Befindet sich die Blende nahe an der Hauptebene der Linse, kann das Licht nahezu ungehindert passieren und die Strahlen werden kaum abgelenkt. Liegt die Blende jedoch deutlich vor oder hinter der Hauptlinse, verändert sich die Abbildung. Befindet sich die Blende vor der Hauptlinse, werden die Lichtstrahlen an den Blendenrändern abgelenkt. Sie treffen schräg auf den Sensor, wodurch sie zur Bildmitte hingebogen werden und an den Bildrändern eine tonnenförmige Verzeichnung entsteht, wie in Abbildung 14 zu sehen.

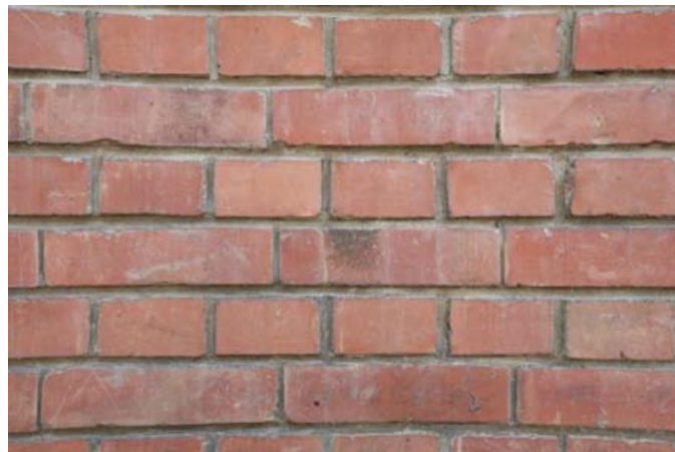
Abbildung 14: Tonnenförmige Objektivverzeichnung



Quelle: Hönlinger und Nasse, 2009, S.10

Liegt die Blende hinter der Hauptlinse, passiert das Licht zunächst die Linse und wird anschließend durch die Blende nach außen abgelenkt. In diesem Fall entsteht eine kissenförmige Verzeichnung, (siehe Abbildung 15).

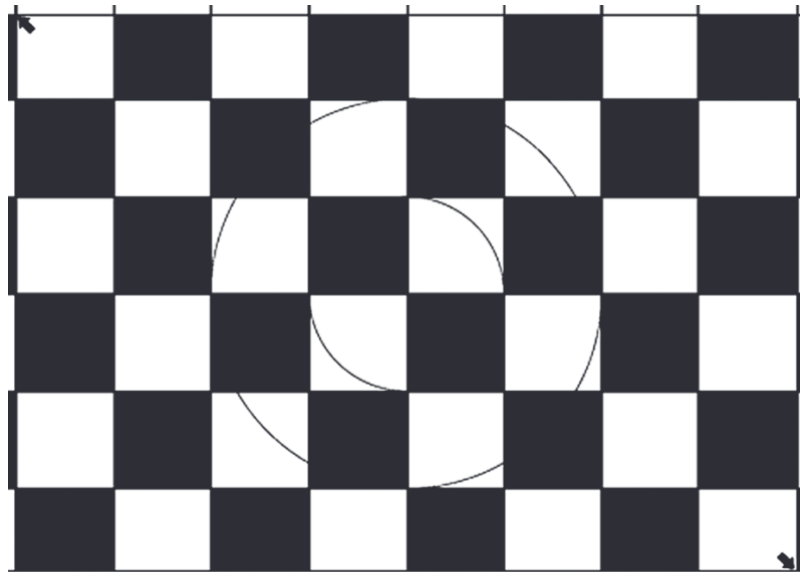
Abbildung 15: Kissenförmige Objektivverzeichnung



Quelle: Hönlinger und Nasse, 2009, S.10

Eine CG-Kamera, durch die das endgültige Bild gerendert wird, weist hingegen keine Verzerrung auf. Da hier kein echtes optisches Objektiv genutzt wird, sondern lediglich eine zweidimensionale Projektion (Dobbert, 2005). Deswegen muss diese Verzerrung in der Postproduktion ergänzt werden. Da sich jede Verzeichnung unterscheidet, muss am Set ein Objektivgitter aufgenommen werden. Dabei handelt es sich, wie in Abbildung 16 gezeigt, um ein schwarz-weißes Karomuster, das auf eine große Platte gedruckt wird (Goulekas et al., 2021).

Abbildung 16: Objektivgitter zur Berechnung der Objektivverzerrung



Quelle: Goulekas et al., 2021, S.117

Laut Goulekas (2021) werden diese Muster dann mit den entsprechenden Objektiven abfotografiert oder abgefilmt. Für die Aufnahme muss das Objektivgitter an einer Wand oder auf dem Boden fixiert werden. Die Platte mit dem Gitter sollte möglichst flach sein und keine Beulen oder Dellen aufweisen. Die Kamera mit den Objektiven darf während der Aufnahme nicht bewegt werden. Im Anschluss kann das Bild in einem entsprechenden Programm genutzt werden, um den Grad der Verkrümmung zu berechnen und aus dem Bild zu entfernen. Nachdem die einzelnen Elemente zusammengebracht wurden, kann die Verkrümmung wieder hinzugefügt werden. Dadurch wirken die CG-Elemente natürlicher und werden besser in das Material integriert (Dobbert, 2005).

In Stop-Motion-Produktionen werden Fotokameras eingesetzt, sodass zahlreiche Informationen aus den Metadaten der Bilddateien gewonnen werden können. Shaw (2008) stellt fest, dass das RAW-Format die Bilddaten unverarbeitet speichert und keine kamerainterne Weiterverarbeitung stattfindet. Bühler (2017a) ergänzt, dass sich dadurch grundlegende Parameter wie Brennweite, Auflösung, Blendenzahl, ISO-Wert und Verschlusszeit direkt den Dateien entnehmen lassen (siehe Abbildung 17).

Abbildung 17: Wichtige Daten zu Kameraeinstellungen abrufbar durch die Raw-Dateien

Eigenschaft	Wert
Kamera	
Aufnahmedatum	01/01/2000 2:07 am
Abmessungen	5634 x 3752
Größe	25.6 MB
Autoren	
Kamerahersteller	Canon
Kameramodell	EOS 5D Mark II
Seriennummer der Kamera	
ISO-Filmempfindlichkeit	ISO-640
Blendenzahl	F/11
Belichtungszeit	1/60 Sek.
Lichtwert	0 Schritt(e)
Belichtungsprogramm	Manuell
Messmodus	Mehrfeld
Blitzlichtmodus	Kein Blitz, obligatorisch
Brennweite	76 mm

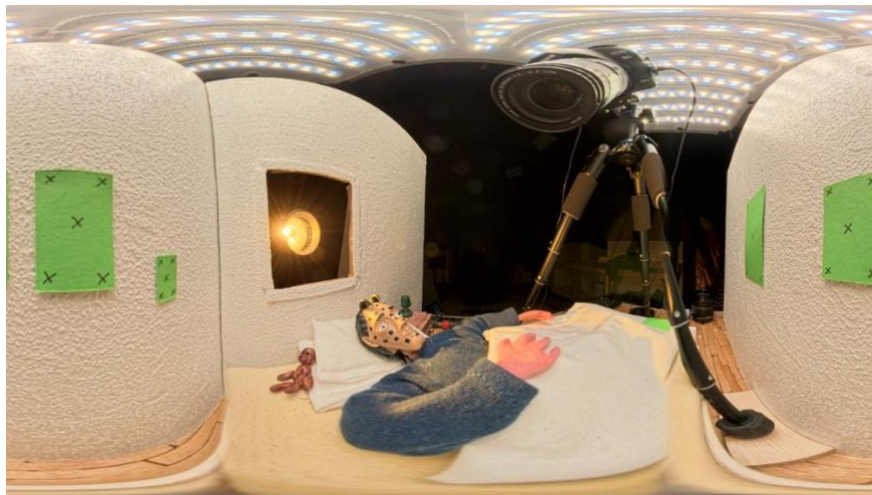
Quelle: eigene Aufnahme

Das führt zu der Erkenntnis, dass die Datenerfassung am Stop-Motion-Set im Wesentlichen auf die Bestimmung der Kamerahöhe und der Entfernung zur Puppe reduziert werden kann. Ein Großteil der Parameter für den Kamerareport kann also aus den Metadaten der fertigen Bilddateien entnommen werden. Veränderungen der genannten Parameter während des Animationsprozesses werden durch die Fotodateien automatisch dokumentiert. In der Postproduktion können die Informationen somit genutzt werden, um Anpassungen der Belichtung, Brennweite oder vergleichbarer Werte präzise nachzuvollziehen.

Für die Erfassung der Linsenverzeichnung gelten dieselben Notwendigkeiten wie für den Realfilm. Auch die in *ENOUGH* verwendeten Fotoobjektive müssen genutzt werden, um ein Objektivgitter aufzunehmen. Diese Aufnahmen können zu Beginn oder am Ende der Produktion erfolgen. Goulekas (2021) und Dinur (2017) unterstreichen, dass die Datenakquise nicht die Arbeit am Filmset stören oder verlangsamen darf. Auch im Stop-Motion-Film sollten produktionstechnische Rahmenbedingungen berücksichtigt werden, insbesondere die Dauer des Zugriffs des VFX-Teams auf die jeweiligen Linsen, sowie deren Einsatzzeiten am Set. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, in Abstimmung mit der Produktionsleitung geeignete Zeitfenster für die notwendigen Aufnahmen am Set festzulegen.

Für die Beleuchtung von CG-Elementen müssen ebenfalls Set-Daten erfasst werden. Clavadetscher (2021) unterscheidet dabei zwei Verfahren des digitalen Ausleuchtens. Zum einen können die Lichtverhältnisse anhand von Referenzaufnahmen in der Software rekonstruiert werden, zum anderen kann ein Light Dome eingesetzt werden, der mithilfe von High Dynamic Range Images (HDRIs) eine 3D-Szene ausleuchtet (siehe Abbildung 18).

Abbildung 18: Ein aufgefächertes HDR-Bild zum Ausleuchten einer 3D-Szene



Quelle: eigene Aufnahme

Bei HDRIs handelt es sich um Bilder mit einem großen Dynamikumfang, das heißt, dass viele Lichtinformationen innerhalb dieser Bilder gespeichert werden können (Perez, 2023). Das bietet die Möglichkeit die Beleuchtung innerhalb der 3D-Szene feiner einzustellen und mit dem Referenzmaterial abzustimmen. Die Aufnahme solcher Bilder erfolgt durch Belichtungsreihen, die mithilfe eines Weitwinkelobjektivs und eines Kugelkopf-Stativs hergestellt werden (Dinur, 2017).

Bei einer Belichtungsreihe wird dasselbe Bild mehrfach in unterschiedlichen Belichtungen fotografiert. Die aufgenommenen Einzelbilder müssen mithilfe von Programmen, wie beispielsweise Photoshop, zu einem 360-Grad-Bild kombiniert werden (Clavadetscher et al., 2021).

Die Nutzung von HDRIs bringt nicht nur den Vorteil einer genaueren Referenz, sondern kann auch dabei helfen, Reflexionen auf CG-Objekten zu rekonstruieren (Dinur, 2017).

Clavadetscher (2021) ergänzt, dass eine der einfachsten Methoden für die Aufzeichnung der Lichtinformationen die Anfertigung von Skizzen ist. Dabei werden die Positionen einzelner Lichtelemente sowie deren Intensität notiert. Im Anschluss wird ein sogenannter Floorplan erstellt, eine Art Lageplan, auf dem die Position einzelner Lichtquellen am Set vermerkt wird. In Kombination mit den entsprechenden Aufnahmedaten können die Lichter digital rekonstruiert werden. Es ist wichtig, exakt zu dokumentieren, welcher Take in welcher Szene verwendet wird. Gerade bei wechselnden Lichtverhältnissen ermöglicht diese Zuordnung der CG-Abteilung, die tatsächlichen Lichtbedingungen der verwendeten Szene korrekt nachzuvollziehen. Dinur (2017) fügt hinzu, dass die Aufnahme von Fotografien eine Hilfe ist, da sie dabei unterstützen, die Räumlichkeiten am Set besser zu verstehen. Es sollte beachtet werden, dass nicht nur die entsprechenden Lichtaufbauten am Set einen Einfluss auf das Bild haben. Auch natürliche Lichtquellen wie Fenster beeinflussen die Lichtstimmung.

Referenzaufnahmen für die Aufzeichnung des Lichtsetups können auch mithilfe sogenannter Chrome Balls durchgeführt werden. Clavadetscher (2021) erläutert, dass es sich dabei um große spiegelnde Kugeln handelt, die vor oder nach einer Szene kurz in die Produktionskamera gehalten werden. Die Reflexion innerhalb der Kugel zeigt die Position einzelner Lichter am Set. Die andere Seite der Kugel wird oft mit einer Fotokamera aufgenommen, um aus den beiden Hälften eine digitale Kugel zusammenzusetzen. Dieses Vorgehen wird genutzt, um die Umbauzeiten des Filmteams nicht zu beeinflussen. Die zwei entstandenen Fotos können in Photoshop zusammengebracht werden.

Die digitale Kugel wird dann innerhalb eines 3D-Programms ebenfalls als Light Dome genutzt, um die zu integrierenden CG-Elemente auszuleuchten. Ergänzend dazu gibt es auch Kugeln, die in einem 18-Prozent-Mittelgrau-Farbtönen bemalt wurden. Dies geschieht, da dieser Ton keine Farbstiche aufweist. Diese Kugeln geben zusätzliche Informationen zur Position des Führungs- und Aufhelllichtes sowie über Schatten. Hinzu kommt die Lichtreflexion auf matten Oberflächen (Clavadetscher et al., 2021).

Purves (2014) weist darauf hin, dass an einem Stop-Motion-Set die Lichtaufbauten mit besonderer Sorgfalt behandelt werden sollten. Inkonsistente Lichtverhältnisse führen dazu, dass die Einzelbilder unterschiedlich hell aufgezeichnet werden. Beim Abspielen wechseln dadurch helle und dunkle Frames, was als sichtbares Bildflackern erscheint.

Damit bieten Stop-Motion-Sets weniger Abweichungen in den Lichtverhältnissen und sollten die Dokumentation der Lichtverhältnisse am Set vereinfachen. Da es sich um kleine Sets handelt, ist die Nutzung von Chrome Balls als umständlich zu betrachten. Der Einsatz moderner 360-Grad-Kameras ermöglicht dennoch die schnelle Aufnahme von HDR-Bildern, die als Light Dome verwendet werden können.

Der Vergleich der Arbeitsabläufe zeigt, dass die Datenerfassung am Stop-Motion-Set weniger zeitkritisch ist als an einem Realfilmset. Der VFX-Supervisor, der dafür verantwortlich ist, die Umsetzung aller geplanten Effekte sicherzustellen, verfügt über mehr Zeit, um die erforderlichen Informationen zu erfassen. Da Stop-Motion-Produktionen, wie Purves (2014) anmerkt, in der Regel in Studios mit konstanten Lichtverhältnissen entstehen, bleiben sowohl die aufgenommenen HDRIs als auch die Lichteinstellungen weitgehend stabil. Für den Workflow bedeutet dies, dass am Set feste Zeitfenster zur Erfassung der für die Postproduktion relevanten Daten eingeplant werden sollten.

Es ist vorstellbar, dass die Datenerfassung dabei in zwei Blöcke gegliedert wird, einen zur Aufnahme der Beleuchtungsinformationen und einen zur Erfassung der Kameradaten. Diese Blöcke lassen sich in Absprache mit der Produktion an den Beginn oder das Ende einer Szene verlegen, also unmittelbar vor oder nach dem Animationsprozess. Auf diese Weise bliebe ausreichend Zeit für die Dokumentation der szenenbezogenen Informationen, was zugleich eine effiziente Planung unterstützen würde.

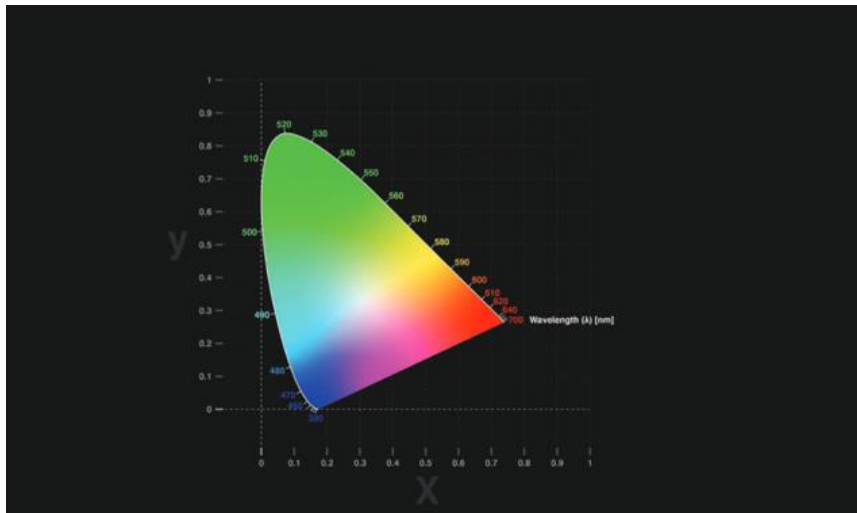
2.2.2 Farbmanagement

Durch Farbmanagement soll erreicht werden, dass Farben software- und geräteunabhängig möglichst gleich dargestellt werden (Bühler et al., 2018). Da in der Produktion viele verschiedene Programme genutzt werden, sollten die Farben innerhalb dieser Programme konsistent erscheinen. Ist das nicht der Fall, besteht die Gefahr, dass einzelne Elemente farbliche Abweichungen aufweisen und das Gesamtbild unstimmig wirkt. Dafür sind bestimmte Informationen nötig, um konkrete Handlungsanweisungen für einzelne Arbeitsschritte festzulegen. Im Folgenden werden notwendige Begriffe und Konzepte zum Thema erläutert.

Die Darstellung von Farben und Licht innerhalb digitaler Bilder orientiert sich an der menschlichen Wahrnehmung (Bühler et al., 2018). Bühler (2018) führt weiter aus, dass sich im menschlichen Auge zwei Typen von Fotorezeptoren unterscheiden lassen, Stäbchen und Zapfen. Während Stäbchen vor allem für das Sehen bei schwachem Licht verantwortlich sind, ermöglichen die Zapfen das Farbsehen. Es existieren drei Zapfentypen, die jeweils auf unterschiedliche Bereiche des Lichtspektrums reagieren. Trifft Licht einer bestimmten Wellenlänge auf die entsprechenden Rezeptoren, wird es vom Gehirn als Rot, Grün oder Blau interpretiert. Die gleichzeitige Anregung mehrerer Zapfentypen führt zur Wahrnehmung zusätzlicher Farben, die als Kombination dieser drei Primärfarben erscheinen, beispielsweise Gelb.

Perez (2023) beschreibt ergänzend, dass die Summe aller vom Menschen wahrnehmbaren Farben innerhalb des CIE-Diagramms abgebildet wird (siehe Abbildung 19). CIE steht für *Commission Internationale de l'Éclairage*, die Internationale Beleuchtungskommission. Diese Kommission hat anhand von Tests alle optisch wahrnehmbaren Wellenlängen definiert und in einem Diagramm visualisiert (Perez, 2023). Bühler (2018) führt weiter aus, dass Digitalkameras und dementsprechend digitale Bilder ebenfalls diese drei Primärfarben nutzen, um Farben darzustellen. Brinkmann (1999) spricht in diesem Zusammenhang von drei Kanälen, aus denen sich das fertige Bild zusammensetzt. Weiter erklärt er, dass die einzelnen Picture Elements (Pixel), aus denen sich ein digitales Bild zusammensetzt, die Werte aus den drei Kanälen kombinieren und dadurch eine individuelle Farbe darstellen.

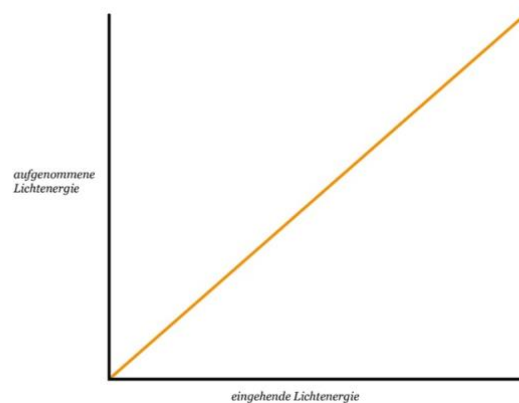
Abbildung 19: CIE-Diagramm



Quelle: Perez, 2023, S.105

Auch die Wahrnehmung von Helligkeit muss in diesem Zusammenhang berücksichtigt werden. Wie bereits beschrieben, sind Stäbchenzellen im menschlichen Auge für die Erfassung von Hell-Dunkel-Kontrasten verantwortlich. Perez (2023) erläutert den Unterschied zwischen der menschlichen Wahrnehmung und der Aufnahme von Licht durch eine Kamera. Während der Belichtung eines Kamerasensors treffen kontinuierlich Photonen auf den Sensor. Verdoppelt sich die Intensität einer Lichtquelle, registriert der Sensor entsprechend die doppelte Menge an Lichtinformationen. Die Helligkeitsverteilung digitaler Bilder lässt sich somit durch Kurven darstellen, die veranschaulichen, wie viele Pixel jeweils einen bestimmten Helligkeitswert speichern. Diese Kurven werden als Gamma-Kurven bezeichnet. Bei Sensordaten entspricht dies einer linearen Helligkeitsverteilung, wie in Abbildung 20 dargestellt.

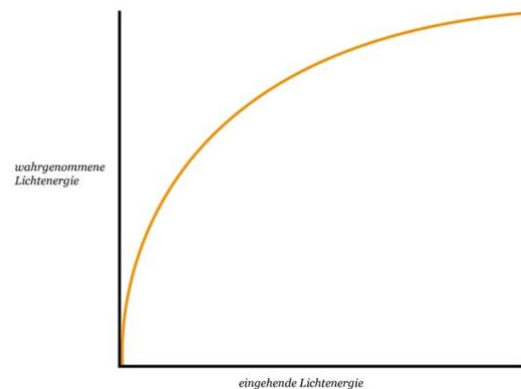
Abbildung 20: Grafische Darstellung der Lichtaufnahme eines Kamerasensors



Quelle: in Anlehnung an Perez, 2023, S.58

Beim Menschen hingegen ist die Helligkeitswahrnehmung an die Umgebung angepasst. Eine Verdopplung der Lichtintensität wirkt in einer dunklen Umgebung deutlich stärker als in einer hellen, wie in Abbildung 21 gezeigt (InLightVFX, 2020). Perez (2023) ergänzt, dass die menschliche Wahrnehmung von Helligkeit logarithmisch verläuft, da die Kurve im unteren Wertebereich gestreckt und im oberen Wertebereich gestaucht wird.

Abbildung 21: Grafische Darstellung der logarithmischen Lichtwahrnehmung des Menschen



Quelle: in Anlehnung an Perez, 2023, S.58

Für Ausgabegeräte, wie Monitore oder Projektoren, gibt es dementsprechende mathematische Funktionen, die dafür sorgen, dass die Helligkeitsverteilung eines digitalen Signals so verändert wird, dass sie zur menschlichen Wahrnehmung passt (Perez, 2023). Diese Transferfunktionen erzeugen die richtige Form der Gamma-Kurve. Dabei spielt das sogenannte Tone Mapping eine entscheidende Rolle. Laut der OpenEXR-Online-Dokumentation (o. J.) werden durch diese Funktion die Schwarz- und Weißtöne des Bildes so angepasst, dass das Wiedergabegerät das Bild darstellen kann. Die Summe der darstellbaren Helligkeitsstufen eines Bildes wird auf das Ausgabegerät umgerechnet.

Ergänzend wird erklärt, dass durch diesen Prozess Bildinformationen verloren gehen. Auch viele Kameras, vor allem Smartphones oder Einstiegermodelle, verändern die Gamma-Kurve direkt und speichern nicht die wirklichen linearen Sensordaten ab (InLightVFX, 2020). Perez (2023) erklärt, dass diese Bilddaten als displayreferenziert bezeichnet werden.

Dem gegenüber stehen professionelle Video- und Fotokameras, die die Bilddaten szenenreferenziert abspeichern, also so, wie das Licht auf den Sensor trifft. Diese Bilddaten werden als RAW-Daten bezeichnet. Der Vorteil dieser Daten ist, dass die Postproduktion mehr Bildinformationen zur Verfügung hat, da das Tone Mapping erst beim finalen Export durchgeführt wird.

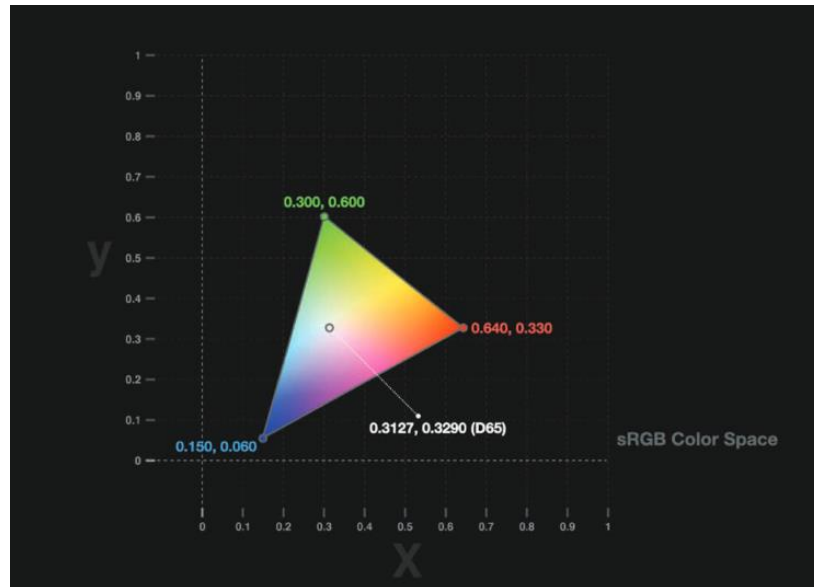
Viele moderne Softwarelösungen wie *Blender*, *Maya* oder *Nuke* arbeiten intern mit linearen Lichtinformationen. Der Grund dafür liegt in der besseren Eignung linearer Daten für mathematische Operationen. Lichtquellen können in einem linearen Farbraum korrekt addiert werden, was bei nichtlinearen Daten zu fehlerhaften Ergebnissen führen kann (Perez, 2023). Die Bildausgabe innerhalb dieser Programme erfolgt jedoch nicht in linearer Form.

Stattdessen wird ein Look-Up Table (LUT) verwendet, um das Bildsignal für die Darstellung auf Monitoren anzupassen (Perez, 2023). Ein LUT ist eine mathematische Operation, die Pixelwerte anhand einer Liste verändert. Es handelt sich also um eine Neuordnung von Pixelwerten auf einen Zielfarbraum (Perez, 2023). Dadurch können Programme mit linearen Gamma-Informationen arbeiten, obwohl die Vorschau das Bild im sRGB-Farbraum mit entsprechender logarithmischer Gamma-Kurve darstellt.

Die Limitierung der Ausgabegeräte betrifft auch die Farbinformationen eines Bildes. Gängige Ausgabegeräte sind nicht in der Lage, das gesamte wahrnehmbare Farbspektrum abzubilden. Perez (2023) beschreibt, dass aus diesem Grund Farbräume für verschiedene Anwendungsfälle entwickelt wurden. So wurde der sRGB-Farbraum für die Darstellung von Bildern auf Webseiten und Monitoren entwickelt, während der REC.709-Farbraum für HD-Monitore entwickelt wurde.

Bei Farbräumen handelt es sich also um Teilbereiche innerhalb des CIE-Diagramms, wie in Abbildung 22 zu sehen ist (Perez, 2023). Diese Teilbereiche werden ebenfalls mithilfe von drei Primärfarben und einem sogenannten Weißpunkt definiert. Perez (2023) beschreibt den Weißpunkt als den Punkt im Diagramm, an dem alle Farben ihre maximale Intensität erreichen.

Abbildung 22: Der sRGB-Farbraum als Teil des wahrnehmbaren Spektrums



Quelle: Perez, 2023, S.117

Bei der Umsetzung digitaler Effekte muss Material aus verschiedenen Quellen mit unterschiedlichen Farbräumen und Gamma-Kurven kombiniert werden. Um dabei den Überblick zu behalten, wurde das Academy Color Encoding System (ACES) entwickelt. Dabei handelt es sich um ein Farbmanagement-System, mit dessen Hilfe Material aus unterschiedlichsten Quellen kombiniert und einheitlich bearbeitet werden kann (Houston et al., 2021). ACES umfasst das gesamte CIE-Spektrum und besitzt einen Dynamikumfang, der über den des menschlichen Auges hinausgeht (Perez, 2023). Dadurch kann ACES alle vom Menschen wahrnehmbaren Farben speichern und darstellen. Perez (2023) erklärt außerdem, dass ACES bis zu 30 Blendenstufen in der Helligkeit unterscheiden kann. Eine Blendenstufe steht dabei für die Verdopplung beziehungsweise Halbierung der Lichtstärke. Das menschliche Auge bewegt sich in einem Bereich von 24 Blendenstufen.

Perez (2023) stellt klar, dass es sich bei ACES nicht um den fertigen Ausgabefarbraum handelt. Das System wird genutzt, um in verschiedenen Programmen die Farbkontinuität zu gewährleisten, sodass ein späterer Export für ein beliebiges Ausgabemedium möglich wird.

Um Material in ACES zu nutzen, werden sogenannte Input Device Transforms (IDT) und Output Device Transforms (ODT) benötigt. Dabei handelt es sich um Operationen mit deren Hilfe Bildmaterial in ACES überführt und aus ACES heraus in einen Zielfarbraum konvertiert wird (ACESCentral, 2020). Um den passenden IDT zu wählen, muss bekannt sein in welcher Form das Material vorliegt. So stellt sich die Frage, ob es sich um Raw-Material eines bestimmten Kameraherstellers handelt oder ob das Material in einem Farbraum wie Rec.709 oder sRGB vorhanden ist (ACESCentral, 2020).

Innerhalb des ACES-Workflows gibt es verschiedene Farbräume, die für unterschiedliche Anwendungsfälle optimiert wurden. So ist ACESc for die Nutzung im Color Grading vorgesehen, während ACESc for 3D Renderings und Compositing entwickelt wurde (Perez, 2023).

Für die Nutzung der einzelnen Bilddaten in ACES wird das *OpenEXR*-Dateiformat benötigt. Perez (2023) erklärt, dass dieses Bildformat das einzige ist, das die Möglichkeit bietet, ACES-Bilder abzuspeichern und den Zugang zu allen Licht- und Farbinformationen beizubehalten. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit der Nutzung des *OpenEXR*-Formates für die Anwendung von ACES in einem VFX-Workflow. Außerdem bietet dieser Dateityp den Vorteil, dass die Bilddaten unkomprimiert und dementsprechend ohne Verlust von Bildinformationen weitergegeben werden können. Bei Dateiformaten wie dem Portable Network Graphics Format (PNG) oder dem Joint Photographic Experts Group Format (JPEG) handelt es sich nach Bühler (2017b) hingegen um verlustbehaftete Dateiformate.

Wie im Kapitel zur Datenakquise bereits erwähnt, handelt es sich bei Stop-Motion-Produktionen um Einzelbild-RAW-Dateien, die zunächst in einen Arbeitsfarbraum überführt werden müssen. Dies geschieht durch die Bearbeitung und anschließende Speicherung in einem anderen Bildformat, beispielsweise PNGs. Um anschließend im ACES-Workflow arbeiten zu können, wird dieser Arbeitsfarbraum in den ACESc for-Farbraum konvertiert. Auf diese Weise lassen sich die Bildsequenzen im Compositing mit weiteren Elementen kombinieren und das finale Ergebnis in einem passenden Zielfarbraum exportieren. Damit erweist sich ACES grundsätzlich als auf Stop-Motion-Filme adaptierbar, wobei jedoch stets eine vorgelagerte Bearbeitung und Konvertierung der RAW-Bilder erforderlich ist. Das ist der Fall, da die vorhandenen IDTs für Video-RAW-Formate entwickelt wurden und nicht für Foto-RAW-Formate. Das ergab sich durch die Betrachtung der in *DaVinci Resolve* abrufbaren IDTs.

Es sollte allerdings beachtet werden, dass es sich bei den entwickelten Bilddateien um PNGs oder JPEGs handelt und damit um komprimierte Bilder. Dementsprechend ergibt sich die Notwendigkeit, die eingesetzten Bilder in der Raw-Entwicklung bereits so zu bearbeiten, dass sie im Compositing nicht stark verändert werden müssen. Da es sich bei den Renderings um EXR-Dateien handelt, sollten die CG-Elemente an das Ausgangsbild angepasst werden, da hier mehr Spielraum in der Farb- und Lichtkorrektur gegeben ist. Für die Entwicklung eines konsistenten Workflows ist es daher entscheidend, die nach der Animation erzeugten Bilddateien einheitlich weiterzuverarbeiten und zu dokumentieren, welche Kamerasysteme und Hersteller eingesetzt wurden, um möglichen Unterschieden in der RAW-Entwicklung vorzubeugen.

2.2.3 Matchmove

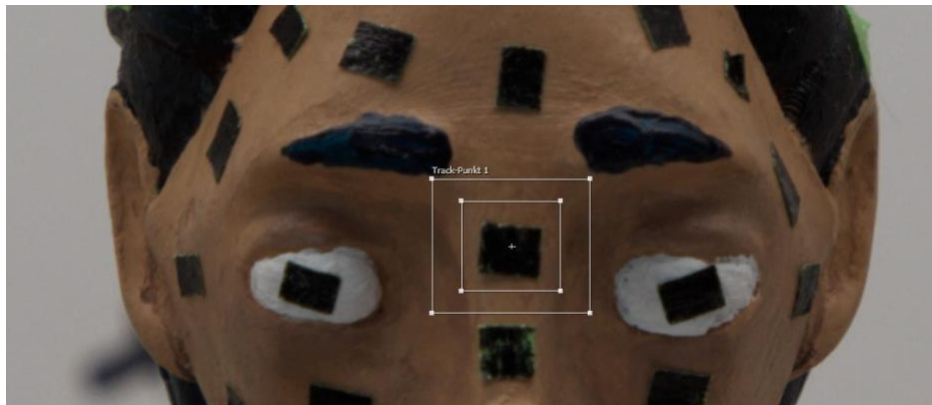
Matchmove, auch Kamera- oder Objekt-Tracking genannt, bezeichnet die Rekonstruktion von Bewegung in einer 3D-Szene. Dinur (2017) erklärt, dass der Matchmove-Künstler dafür sorgt, dass es ein akkurates dreidimensionales Set gibt, das die Grundlage für die Arbeit aller folgenden Abteilungen bildet. So haben Animatoren und Effektkünstler eine Vorgabe im dreidimensionalen Raum, an der sie sich orientieren können. Ziel ist es, dass alle Beteiligten wissen, zu welchem Zeitpunkt und an welcher Stelle die Kamera ist und was diese sieht.

Außerdem wird sichergestellt, dass die CG-Elemente zum am Set aufgenommenen Videomaterial passen (Dobbert, 2005). Dinur (2017) betont, dass ein akkurater Track die Grundlage für alle weiteren Arbeitsschritte bildet.

Dobbert (2005) unterteilt den Matchmove-Prozess in mehrere zentrale Schritte. Zunächst wird die Kamerabewegung anhand des vorhandenen Filmmaterials sowie der am Set gesammelten Daten interpretiert. Dabei ist zu prüfen, welche Informationen erforderlich sind und welche Bildelemente als Referenzen dienen können. Angaben zum Bildformat, sowie zur geplanten Nutzung, etwa für die Integration von 3D-Elementen, erleichtern zusätzlich die Einschätzung des Arbeitsaufwands. Anschließend erfolgt die Definition der Kamera, die sowohl manuell als auch automatisch vorgenommen werden kann.

Dinur (2017) beschreibt, dass dabei bestimmte Bildpunkte, sogenannte Tracking-Features, zur Berechnung der Parallaxe herangezogen werden. Parallaxe beschreibt die scheinbare, relative Verschiebung von Objekten im Bild, die entsteht, wenn sich die Kamera in ihrer Position verändert. Nahe Objekte wandern schneller durch das Bild als entfernte (Dinur, 2017). Auf dieser Grundlage kann die Software einen sogenannten Camera Solve, also die Rekonstruktion der Kamerabewegung, durchführen. Dobbert (2005) ergänzt, dass Bildpunkte in der Tracking-Software markiert werden. Die gesetzten Marker bestehen aus einem Mittelpunkt, einem Musterbereich und einem Suchbereich, (siehe Abbildung 23). Der Musterbereich gibt ein Suchmuster vor, nach dem das Programm Bild für Bild sucht. Bei der Suche verlässt das Programm den Rahmen des Suchbereichs nicht. Dadurch kann die Bewegung eines Bildelements Bild für Bild rekonstruiert werden. Für ein präzises Ergebnis sind nach Dobbert (2005) insbesondere zusätzliche Informationen zur verwendeten Brennweite und zur Sensorgröße erforderlich.

Abbildung 23: Aufbau eines Markers mit Mittelpunkt, Muster- und Suchbereich



Quelle: eigene Aufnahme

Dobbert (2005) ergänzt, dass dieser Prozess vor der Entwicklung spezialisierter Software manuell erfolgte. Die Kamera wurde mithilfe der am Set erhobenen Daten im 3D-Raum positioniert und ihre Bewegung Schritt für Schritt an das Ausgangsmaterial angepasst. Dieser Ansatz wird als Matchamation bezeichnet.

Dinur (2017) erklärt, dass nachdem die Kamerabewegung durch eine der zwei Methoden ermittelt wurde, die Notwendigkeit besteht, CG-Elemente in der Szene zu platzieren, um den Abteilungen für 3D-Modellierung, Animation und digitale Effekte exakte Anhaltspunkte zu liefern. Dabei sei auf eine saubere Integration zu achten, da Fehler wie das Schwimmen oder Schweben von Objekten die Glaubwürdigkeit der Aufnahme beeinträchtigen können. Dobbert (2005) weist darauf hin, dass für die Erstellung solcher Platzhalterobjekte (Proxy-Geometrien) Set-Daten eine wichtige Grundlage darstellen.

So können Abstände zwischen Gebäuden oder Set-Elementen auf die 3D-Szene übertragen werden, um die Proxy-Geometrien passgenau zum Kamera-Track zu positionieren. Auch im Stop-Motion-Film können Kamerabewegungen auftreten. So lassen sich verschiedene Schwenks animieren oder die Kamera selbst wird während einer Szene bewegt (Shaw, 2008). Für das Kameratracking bieten Stop-Motion-Produktionen jedoch den Vorteil, dass diese Bewegungen meist mithilfe von Vorrichtungen wie Schienen oder computergesteuerten Motion-Control-Systemen realisiert werden (Shaw, 2008). Dadurch gibt es konkrete Positions- und Bewegungsdaten, die von der Matchmove-Abteilung genutzt werden können.

Auch die Skalierung der Sets sollte sich im Matchmove-Prozess als vorteilhaft erweisen, da die kleinen Modelle präzise Messungen erleichtern und somit eine verlässliche Grundlage für den Arbeitsprozess bieten.

Neben der Rekonstruktion der Kamerabewegung besteht auch die Möglichkeit, die Bewegung von Objekten zu ermitteln. Dabei werden Features genutzt, die sich gemeinsam in dieselbe Richtung bewegen, beispielsweise Gesichtselemente. Für dieses Verfahren gelten jedoch bestimmte Voraussetzungen. Alle verwendeten Features müssen sich auf demselben Objekt befinden und dürfen sich nicht unabhängig voneinander bewegen. Bei längeren Bewegungen, bei denen einzelne Features verdeckt werden, ist es zudem notwendig, zusätzliche Marker zu setzen, was den Prozess erschweren kann. Daher erfordert die Rekonstruktion von Objektbewegungen eine sorgfältige Planung (Dobbert, 2005).

Eine Möglichkeit für das Objekt-Tracking im Stop-Motion-Film besteht darin, Tracking-Features direkt an der Puppe zu montieren. Diese Kontrapunkte bewegen sich synchron mit dem Puppenkopf und liefern verlässliche Anhaltspunkte für die Rekonstruktion der Kopfbewegungen. Dobbert (2005) weist darauf hin, dass dies bei realen Schauspielern problematisch ist, da sich verschiedene Gesichtspartien unabhängig voneinander bewegen können. Etwa wenn sich die Augenbrauen heben, die Lippen zusammengepresst werden und der Kopf gleichzeitig eine Drehung ausführt. Bei Stop-Motion-Puppen tritt dieses Problem hingegen kaum auf, da sie gezielt für die Anforderungen des Tracking-Prozesses konstruiert werden können. Eine Puppe, die mithilfe von 3D-Tracking digital ergänzt wird, sollte daher über gut erkennbare Features im Gesicht verfügen, während Bewegungen innerhalb des Gesichts vermieden werden. Dies lässt sich durch einen starren Puppenkopf ohne Armatur oder bewegliche Teile umsetzen. Zusätzlich merkt Dobbert (2005) an, dass Bewegungsunschärfe die Nachverfolgung erschwert, da Tracking-Features verzerrt oder kontrastarm erscheinen können. Da im Stop-Motion-Film jedoch keine Bewegungsunschärfe entsteht (vgl. Kapitel 2.1.2), bleiben die Features in allen Einzelbildern klar erkennbar, was den Tracking-Prozess erleichtern sollte.

Eine weitere Möglichkeit ist der Matchamation-Prozess. Jason Walker beschreibt in Priebe's *The Advanced Art of Stop-Motion Animation* (2011), wie er für den Film *Madame Tutli-Putli* (Lavis und Szczerbowski, 2007) Augenpaare Bild für Bild passend auf die Aufnahmen der Puppen animierte. Bei Betrachtung dieser zwei Möglichkeiten fällt auf, dass für Stop-Motion-Produktionen eine Kombination dieser zwei Techniken eine effiziente Methode darstellen kann, um schnell ein Ergebnis zu erzielen. So können an der Puppe befestigte Marker eine Grundlage schaffen, mit deren Hilfe die Kopfbewegungen auf ein CG-Double übertragen werden. Anschließend können Bewegungen händisch verbessert werden.

Dieser Ansatz gleicht auch Probleme aus, die durch die Animation auf Twos entstehen. Es ist davon auszugehen, dass bei einer schnellen auf Twos animierten Bewegung Tracking-Features von der entsprechenden Software nicht stabil verfolgt werden können. Der Einsatz der Matchamation-Technik hilft an dieser Stelle.

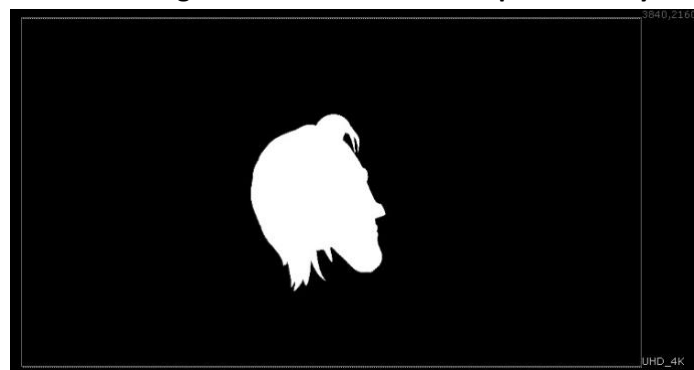
2.2.4 Compositing

Der VFX-Supervisor Eran Dinur beschreibt Compositing in seinem Buch *The Filmmaker's Guide to Visual Effects* folgendermaßen: „At its most basic level, compositing is used to put together all the elements created by the various artists working on the shot and integrating them with the footage by adjusting color, focus, atmosphere, lens effects and grain“ (Dinur 2017, S. 89). Brinkmann (1999) ergänzt, dass das Ziel des Compositings darin besteht, die Kombination der einzelnen Bildelemente so wirken zu lassen, als seien sie zusammen durch eine Kamera aufgenommen worden. Im Verlauf dieses Kapitels sollen grundlegende Begriffe und Konzepte erläutert werden, die notwendig für das Compositing in *ENOUGH* sind. Da es das Ziel ist, CG-Elemente im Bildmaterial zu integrieren, beschränkt sich dieses Unterkapitel auf die Arbeit mit 3D-Renderings, also Bildern, die mithilfe von Computer-Algorithmen erstellt wurden. Dazu werden die Funktionsweise von Masken und die Arbeit mit verschiedenen Render-Ebenen beschrieben.

Brinkmann (1999) beschreibt, dass für die Bearbeitung einzelner Bildelemente, Objekte im Bild vom Rest der Aufnahme getrennt werden müssen. Um das zu erreichen, werden Masken eingesetzt. Wie in Kapitel 2.2.2 bereits erwähnt, bestehen digitale Bilder grundlegend aus drei Kanälen Rot, Grün und Blau. Bei einer Maske hingegen handelt es sich um ein Einzelkanal Graustufen Bild, welches eingesetzt wird, um Teile des Bildes zu isolieren.

Um diese Separierung von Bildelementen durch Masken nachvollziehbar zu machen, wird zunächst vereinfacht dargestellt, wie Pixelinformationen innerhalb eines Bildes abgespeichert werden. Perez (2023) beschreibt, dass die einzelnen Pixel, aus denen ein digitales Bild besteht, Zahlenwerte speichern. Diese Zahlenwerte beschreiben, wie viele Anteile des jeweiligen Kanals in diesem Pixel gespeichert sind (Rot, Grün und Blau). Die individuelle Kombination dieser Anteile pro Pixel ergibt die dargestellte Farbe. Brinkmann (1999) erläutert, dass viele Compositing-Operationen auf diese Pixelwerte Einfluss nehmen und sie entsprechend verändern. Wright (2010) ergänzt, wie die Separierung der Bildelemente durch Masken realisiert wird. Eine Maske ist ein einfaches Graustufenbild, das in der Regel aus einem komplett schwarzen (Pixelwert Null) und einem komplett weißen (Pixelwert Eins) Element besteht (siehe Abbildung 24). Die anderen verfügbaren Pixelwerte liegen zwischen Null und Eins.

Abbildung 24: Maske für den CG-Kopf von Casey



Quelle: eigene Aufnahme

Wird diese Maske mit dem Ausgangsbild multipliziert, bleiben die mit Eins multiplizierten Pixelwerte erhalten, die mit Null multiplizierten, werden zu Null. Das Ergebnis ist ein Bild mit transparentem Hintergrund (siehe Abbildung 25). Pixelwerte mit einem Grauwert, beispielsweise 0,5, erzeugen Halbtransparenz an den entsprechenden Bildstellen.

Abbildung 25: Mit der Maske multipliziertes Ausgangsbild das über ein Muster gelegt wurde



Quelle: eigene Aufnahme

Wright (2010) ergänzt, dass, wenn das freigestellte Bild über einen Hintergrund gelegt wird, die gleiche Operation angewendet wird. Dafür wird die Maske invertiert und mit dem Hintergrund multipliziert. Dadurch entsteht ein Ausschnitt für das Vordergrundobjekt, wodurch dieses vor dem Hintergrund platziert werden kann. Das ist notwendig, da die zwei Bilder, um übereinander gelegt werden zu können, miteinander addiert werden müssen. Durch die Multiplikation mit der Maske werden die betroffenen Stellen auf Null gesetzt, wodurch die entsprechenden Hintergrund- oder Vordergrundwerte allein angezeigt werden.

Brinkmann (1999) fügt hinzu, dass es sich bei Masken um Nutzbilder handelt. Also digitale Bilder, die nur den Zweck haben bestimmte Elemente freizustellen und nicht im finalen Bild selbst zu sehen sind. Des Weiteren könnten Masken zwar als Einzelkanal Bilder Verwendung finden, jedoch sei es gängiger sie als sogenannten Alpha-Kanal in einem RGB-Bild zu integrieren. Dieser vierte Kanal enthält dann zusätzlich zu den jeweiligen Farbanteilen Informationen zur Transparenz des Bildes.

Brinkmann (1999) führt aus, dass es verschiedene Methoden für die Erstellung von Masken gibt. So sei es für Retusche Arbeiten üblich, dass Masken für einzelne Bilder gemalt werden. Da sich die Maske von Bild zu Bild verändert, habe sich die Methode etabliert Schlüssel Bilder innerhalb einer Aufnahme festzulegen in denen die Maske mithilfe eines Pfad-Werkzeuges gemalt wird. Zwischen diesen Schlüsselbildern findet eine Interpolation der erstellten Pfade statt. Dadurch entsteht eine animierte Maske, die verfeinert werden kann. Diese animierten Masken werden auch als Travel-Mattes bezeichnet.

Wright (2010) erklärt, dass im Compositing zwischen zwei Bildtypen unterschieden wird. Bilder, bei denen die RGB-Kanäle bereits mit dem Alpha-Kanal multipliziert wurden (premultipliziert), und Bilder, bei denen dies noch nicht geschehen ist (unpremultipliziert). 3D-Renderings liegen in der Regel in der premultiplizierten-Variante vor. Wenn an solchen Bildern eine Farbkorrektur durchgeführt werden soll, müssen die RGB-Werte zunächst wieder durch den Alpha-Kanal dividiert werden. Der Grund ist, dass Farboperationen sonst auf bereits durch den Alpha-Kanal veränderte Werte angewendet werden. Dadurch würden halbtransparente Pixel verfälscht weiterverarbeitet. Laut Wright kann eine falsche Handhabung Helligkeits- und Farbartefakte in diesen Bereichen verursachen.

Daraus lässt sich ableiten, dass innerhalb der Postproduktion klar kommuniziert werden muss, welche Art von Bild in Bezug auf den Alpha-Kanal vorliegt. Da es sich hier um ein grundlegendes Prinzip im Compositing handelt, sollten die verwendeten Stop-Motion-Aufnahmen keinen Unterschied bei der Weiterverarbeitung darstellen.

Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Erstellung von animierten Masken durch die Animation auf Twos beeinflusst werden könnte. Es ist anzunehmen, dass die Interpolation zwischen den Schlüsselbildern nicht zu den doppelten Frames passt und Masken dementsprechend Bild für Bild bearbeitet werden müssen. Für die Bearbeitung des CG-Kopfes lässt sich die Notwendigkeit einer Division des Alpha-Kanals, für die Ergänzung von Farbkorrekturen, festhalten.

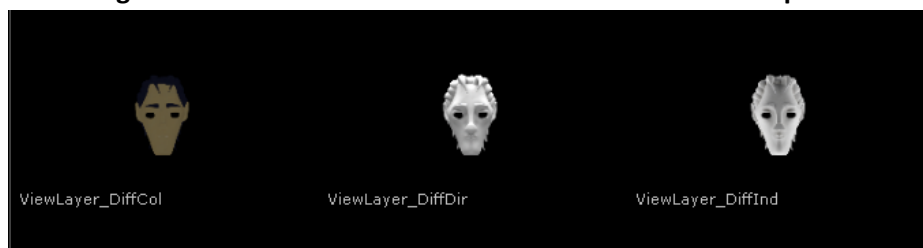
Eine 3D-Szene wird nicht als Ganzes gerendert, sondern in verschiedene Ebenen aufgeteilt, die im Anschluss durch die Compositing-Abteilung zusammengebracht werden (Wright, 2010). Durch dieses Verfahren können Kosten reduziert werden, da einzelne Elemente unabhängig voneinander ausgetauscht werden können, ohne dass erneut das gesamte Bild gerendert werden muss (Wright, 2010). Wright (2010) ergänzt, dass es im Kontext des Compositings eine Unterscheidung zwischen Renderebenen und Bildkomponenten, auch Renderpass genannt, gibt. So werden einzelne Bildelemente in Renderebenen abgespeichert. Renderpässe hingegen sind die Bestandteile eines Objekts im Bild, beispielsweise eine Ebene, die nur Farbinformationen enthält.

Im Folgenden werden einige Renderpässe vorgestellt, die für das Compositing in *ENOUGH* benötigt werden.

Diffuse

Der Diffuse-Pass enthält die Farbinformationen eines 3D-Objekts in der Szene (Birn, 2006). Im blendereigenen Cycles-Renderer setzt sich dieser Pass aus drei Komponenten zusammen. Laut dem Blender 4.5 LTS Manual (o. J.) handelt es sich um den Diffuse Direct Pass, der Informationen zur Intensität des direkt auf das Objekt treffenden Lichts enthält, den Diffuse Indirect Pass, der reflektierte oder gestreute Lichtstrahlen darstellt, sowie den Diffuse Color Pass, der die Farbe des Objekts enthält. In Abbildung 26 werden die einzelnen Pässe gezeigt.

Abbildung 26: Die einzelnen Diffuse Render-Pässe für den CG-Kopf von Casey



Quelle: eigene Aufnahme

Specular

Der Specular-Pass enthält Informationen zu Glanzlichtern und bietet die Möglichkeit, deren Intensität und Farbe im Compositing zu verändern (Birn, 2006). In Cycles wird dieser Pass Glossy genannt. Er setzt sich aus denselben Komponenten wie der Diffuse-Pass zusammen, jedoch für glänzende Oberflächen (*Blender 4.5 LTS Manual*, o. J.).

Ambient Occlusion

Ambient Occlusion beschreibt die Intensität und Position von Schlagschatten, die durch Abschirmung zu Lichtern in der 3D-Szene entstehen (Birn, 2006).

Laut *dem* Blender 4.5 LTS Manual (o. J.) handelt es sich um ein Graustufenbild mit Werten zwischen Null und Eins. Eins steht für vollständig weiße und Null für vollständig schwarze Pixel. Abbildung 27 zeigt wie durch die Multiplikation mit dem AO-Pass feine Gradienten entstehen, die einen Schattenverlauf simulieren.

Abbildung 27: Der Kopf vor (oben) und nach (unten) der Multiplikation mit dem AO-Pass



Quelle: eigene Aufnahme

Transmission

Transmission beschreibt die Fähigkeit von Materialien, Licht zu reflektieren und gleichzeitig durchzulassen (Blender 4.5 LTS Manual, o. J.). In Cycles setzt sich dieser Pass wie der Diffuse-Pass aus drei Komponenten zusammen.

Z-Pass

Der Z-Pass beschreibt die Entfernung zwischen Kamera und der Oberfläche mit der kleinsten Distanz zur Kamera (Blender 4.5 LTS Manual, o. J.). Er kann zur Ergänzung von Tiefenunschärfe im Compositing genutzt werden (Birn, 2006).

In Ergänzung zu diesen Render-Ebenen besteht die Möglichkeit, die einzelnen Lichtquellen innerhalb einer 3D-Szene in separaten Pässen zu rendern (Birn, 2006). Nach Birn (2006) können dadurch einzelne Lichtquellen in Farbe und Intensität unabhängig im Compositing verändert werden. So lassen sich genauere Anpassungen vornehmen, ohne dass durch ein erneutes Rendern der Szene Zeit verloren geht.

Da für jede Aufnahme die entsprechenden Render-Pässe miteinander kombiniert werden müssen, ist es sinnvoll, eine Datei aufzusetzen, die die grundlegenden Arbeitsschritte abdeckt. Innerhalb einer solchen Meister-Datei können dann weitere Arbeitsschritte wie Farbkorrekturen und Objektiv-Effekte integriert werden.

3 Workflow-Entwicklung

Um alle relevanten Abläufe zu erproben und daraus konkrete Vorgaben ableiten zu können, wurde eine Testanimation erstellt. Ziel war es, die einzelnen Schritte für die Integration des CGI-Kopfes systematisch durchzuführen und dabei Erkenntnisse über den zeitlichen Aufwand sowie die Qualität der Ergebnisse zu gewinnen.

Für die Entwicklung des Workflows wurde zunächst eine grundlegende Strategie für die Umsetzung des Head-Replacements entwickelt. Diese basiert auf den in Kapitel 2 dargestellten Grundlagen. Folgender Ablauf sollte durch die Testanimation erprobt werden.

1. Aufnahme der Licht- und Kameradaten am Set mithilfe von HDR-Bildern, Notizen und den Metadaten der Fotodateien
2. Aufsetzen eines ACES-Farbmanagement-Systems in den relevanten Programmen (*DaVinci Resolve*, *Blender* und *Nuke*)
3. Tracking der Kopfbewegung der Puppe in *Blender*
4. Rendern der Kopfanimation und Festlegung konkreter Render-Pässe
5. Aufsetzen eines Compositing-Skripts, das alle relevanten Arbeitsschritte umfasst

Der Austausch der Tracking-Daten zwischen *Blender* und *Maya* wird in dieser Arbeit nicht behandelt. Für diesen Schritt existieren bereits etablierte Workflows und Methoden, die durch den Einsatz von Stop-Motion-Material nicht beeinflusst werden.

3.1 Vorbereitung

Für die Aufnahme der Testanimation wurde dieselbe Puppe verwendet, die auch in der Produktion eingesetzt werden soll. Dadurch konnte der Tracking-Prozess realitätsnah getestet werden. Zudem konnten die Beteiligten die verwendete Armatur kennenlernen und bei Problemen Rücksprache halten. Die Testanimation diente somit nicht nur der Erprobung des VFX-Workflows, sondern half auch dabei, Schwachstellen der Puppe zu identifizieren und zu verbessern.

Mithilfe der Gewindehülsen in den Füßen wurde die Puppe mit dem Boden des Sets verschraubt. Der Kopf der Puppe wurde mit Markierungen für den Tracking-Prozess versehen. Dabei handelte es sich um schwarzes und grünes Montageband, das in kleine Vierecke geschnitten und an den Kopf geklebt wurde. Die grünen Quadrate wurden für den dunklen Hinterkopf der Puppe angefertigt, da Schwarz dort nicht den nötigen Kontrast für das Tracking gegeben hätte. Es wurde darauf geachtet, dass zwischen den Markern ausreichend Abstand besteht, um kein Muster zu erzeugen, das zu Problemen beim Tracking führen könnte.

Der Lichtaufbau umfasste ein großes Flächenlicht über der Puppe sowie ein kleines Flächenlicht vor der Puppe, das Schatten aus dem Gesicht nehmen sollte. Links und rechts wurden weiße Wände aus dem Set aufgestellt. Hinzu kam eine weiße Hohlkehle, die hinter der Puppe positioniert wurde. Dadurch reflektierte sich das Licht innerhalb des Sets mehrfach, was eine gleichmäßige Ausleuchtung der Puppe gewährleistete. Der Grund für diese Lichtstimmung war, dass zunächst die Funktionsweise des blendereigenen Tracking-Algorithmus getestet werden sollte, unabhängig von erschwerten Bedingungen durch starke Schatten oder Glanzlichter. Dementsprechend wurden auf der Hohlkehle einfache Markierungen in Form von Kreuzen und Strichen angebracht, um Features im Hintergrund zu haben, mit deren Hilfe zuerst die Kamera getrackt werden konnte. Dies ist trotz des statischen Kameraaufbaus nötig, da für das Object-Tracking in *Blender* zunächst ein Camera-Solve durchgeführt werden muss (*Blender 4.5 LTS Manual*, o. J.).

Der Bildausschnitt wurde so gewählt, dass das Gesicht der Puppe einen großen Teil des Bildes einnimmt. Schultern und Hals sollten ebenfalls gut erkennbar sein. Dieser Bildaufbau wurde entsprechend Dobberts (2005) Ausführungen gewählt. Er beschreibt, dass das zu trackende Objekt nach Möglichkeit klar im Bild zu sehen sein sollte. Zudem lassen sich so die Übergänge vom Hals der Puppe zum CG-Kopf besser beurteilen.

Die Animation umfasste Bewegungen von Kopf und Hals, wobei der durch die Armatur der Puppe vorgegebene Bewegungsradius bewusst vollständig ausgenutzt wurde. In einzelnen Momenten waren dadurch nur bestimmte Bereiche des Gesichts sichtbar, etwa die linke oder rechte Hälfte. Auch Tracking-Markierungen verschwanden zeitweise aus dem Bildausschnitt. Diese Entscheidung erfolgte bewusst, da im Storyboard von *ENOUGH*. Einstellungen vorgesehen sind, in denen das Gesicht innerhalb einer Sequenz aus mehreren Perspektiven gezeigt wird. Es sollte sichergestellt werden, dass die verwendeten Markierungen ausreichen, um die Bewegungen des Puppenkopfes zu rekonstruieren. Animiert wurde, wie in Kapitel 2 erläutert, auf Twos, um den Einfluss der doppelten Frames auf den Tracking-Prozess zu prüfen.

Zur Aufnahme der Einzelbilder wurde eine *Canon 5D Mark II* zusammen mit einer *Canon-Zoomoptik* verwendet. Dieselbe Kamera und Optik sollen auch in der Produktion von *ENOUGH*. eingesetzt werden. Vor dem Animationsprozess wurden die Entfernung zwischen dem Kamerasensor und dem Puppenkopf sowie die Entfernung zwischen Set-Boden und Kamera gemessen. Diese Daten sollen bei der anschließenden Einrichtung der 3D-Szene verwendet werden. Außerdem wurde ein Objektivgitter aufgenommen. Im Anschluss an den Animationsprozess wurde die Puppe gegen eine 360-Grad-Kamera ausgetauscht, um ein HDRI für die anschließende Beleuchtung in Blender aufzunehmen.

Die Schritte zur Datenerfassung konnten problemlos auf das Stop-Motion-Set und den vorhandenen Licht- sowie Kameraaufbau übertragen werden. Zur Aufnahme der Kamerainformationen wurde kein gesonderter Report angelegt, sondern ein einfaches Textdokument mit den entsprechenden Entfernungen. Technische Parameter wurden durch die RAW-Dateien abgedeckt. Mithilfe eines Screenshots der RAW-Daten wurde das in Abbildung 28 gezeigte Dokument erstellt. Dadurch standen alle Informationen für die folgenden Arbeitsschritte zur Verfügung.

Abbildung 28: Dokument mit wichtigen Informationen für die Postproduktion

Aufnahme Daten Test-Shot

Abstand	Einheit
Puppe - Objektiv	29cm
Puppe - Sensor	47cm
Kamera - Boden	16cm
Hintergrund Markierungen zueinander	4cm
Markierungen auf Kopf	9mm

Kamera Informationen:

Eigenschaft	Wert
Kamera	
Aufnahmedatum	01/01/2000 2:07 am
Abmessungen	5634 x 3752
Größe	25.6 MB
Autoren	
Kamerahersteller	Canon
Kameramodell	EOS 5D Mark II
Seriennummer der Kamera	
ISO-Filempfindlichkeit	ISO-640
Blendenzahl	F/11
Belichtungszeit	1/60 Sek.
Lichtwert	0 Schritt(e)
Belichtungsprogramm	Manuell
Messmodus	Mehrfeld
Blitzlichtmodus	Kein Blitz, obligatorisch
Brennweite	76 mm

Notizen:

- Zwei Lampen (über Puppe Amaran Flexlight und kleines Aputure MC vor der Puppe)
- HDR auf Festplatte
- Sequenz V01

Quelle: eigene Aufnahme

3.2 Postproduktion

Nach der Aufnahme der Testanimation musste die Bildsequenz, die im *Canon*-RAW-Format vorlag, für die weiteren Arbeitsschritte aufbereitet werden. In Kapitel 2.2.2 wurde bereits festgestellt, dass für den ACES-Workflow eine Entwicklung der Foto-RAW-Dateien erforderlich ist. Mit dieser Entwicklung geht jedoch der direkte Zugriff auf die Sensordaten verloren und die Möglichkeiten zur Bearbeitung im Compositing werden eingeschränkt.

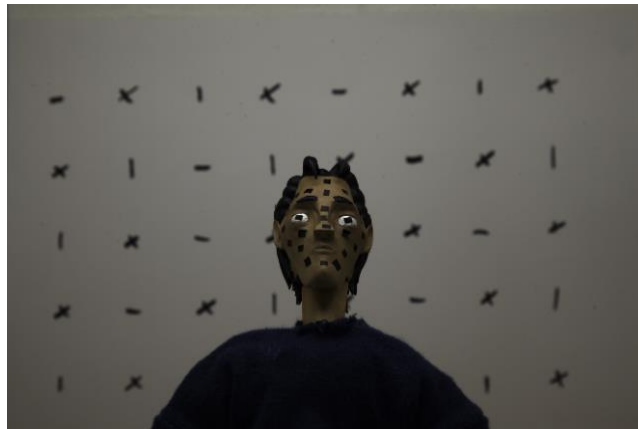
Da für die Postproduktion von *ENOUGH*. ein möglichst hoher Grad an Kontrolle und Flexibilität angestrebt wird, wurden die einzelnen RAW-Dateien in ein anderes RAW-Format überführt. Verwendet wurde das von *Adobe* entwickelte Digital-Negative-Format (DNG). Da es sich hierbei um einen offenen Standard handelt, können die Dateien direkt in *DaVinci Resolve* geöffnet und weiterverarbeitet werden (Digitales Negativ (DNG), o. J.).

Dadurch bleibt der Zugriff auf die Daten vorhanden und es bleibt mehr Spielraum für Korrekturen im Compositing. Nach der Konvertierung wurde die Bildsequenz in *DaVinci Resolve* geladen und mithilfe der RAW-Werkzeuge in den sRGB-Farbraum überführt.

Dieser Schritt ist notwendig, um die Daten anschließend mithilfe eines sRGB-IDTs in den ACEScg-Farbraum zu konvertieren. In Abbildung 29 ist der Einfluss dieser Konvertierung zu erkennen.

Die Gammakurve des Bildes wird durch ACES linearisiert, wodurch das Bild auf dem Monitor zunächst zu dunkel und kontrastreich erscheint. Die auf diese Weise vorbereitete Bildsequenz wurde anschließend im EXR-Format exportiert.

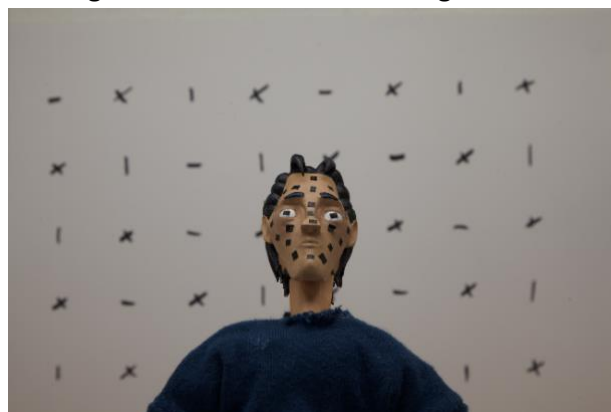
Abbildung 29: Bild mit linearer Gammakurve durch die Konvertierung in ACES



Quelle: eigene Aufnahme

Die verwendeten Programme stellen, wie in Abbildung 30 gezeigt, entsprechende LUTs zur Verfügung, um das finale sRGB-Bild beurteilen zu können.

Abbildung 30: Bild nach der Einstellung eines sRGB-Luts



Quelle: eigene Aufnahme

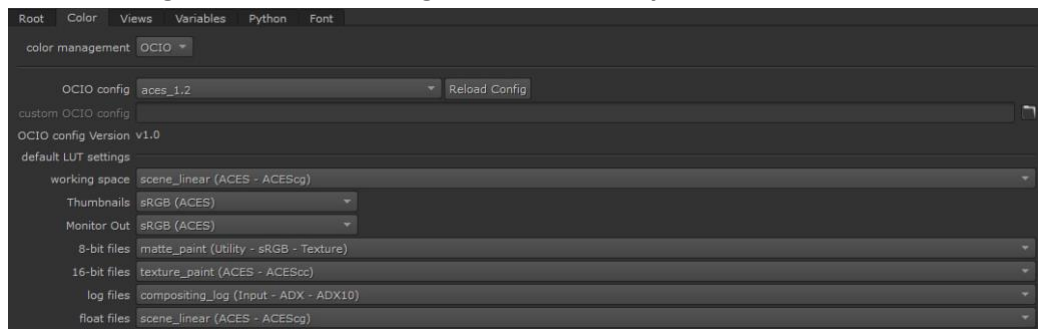
Da das Rendering in der Cycles-Renderengine durchgeführt wird, musste das interne Farbmanagement von Blender angepasst werden, da die Software keinen Zugriff auf ACES-Farbräume hat (Blender 4.5 LTS Manual, o. J.).

Wie in der Blender-Dokumentation beschrieben basiert das Farbmanagement innerhalb des Programms auf der *OpenColorIO-Library* (Blender 4.5 LTS Manual, o. J.). Diese Library ist kompatibel mit ACES und ermöglicht somit die Übertragung des ACES-Workflows auf Blender (OpenColorIO, o. J.). Dafür wurde die Farbmanagement-Konfigurationsdatei in Blender ausgetauscht. Diese Datei beschreibt alle Farbräume, auf die Blender zugreifen kann (OpenColorIO, o. J.). Sie wird über die Internetseite ACESCentral (o. J.) bereitgestellt. Nach dem Download wurde sie im Dateipfad gegen die ursprüngliche Farbkonfiguration ausgetauscht.

Im Gegensatz zu *Blender* verfügt *Nuke* bereits über die entsprechenden Konfigurationen. Diese müssen, wie in Abbildung 31 gezeigt, in den Projekteinstellungen ausgewählt werden.

Für das in *Nuke* importierte Material muss dann noch ein entsprechender IDT angegeben werden. Dies geschieht in der Read-Node selbst (Nuke Reference guide, o. J.).

Abbildung 31: Die in Nuke integrierte OCIO Library mit dem ACES 1.2 Farbraum



Quelle: eigene Aufnahme

Durch die Konvertierung der RAW-Dateien und den Austausch der Farbkonfiguration in *Blender* konnte sichergestellt werden, dass die verwendeten Bildinformationen in jedem Programm gleich dargestellt werden. Für den Workflow in *ENOUGH* kann somit ein konsistentes Farbmanagement gewährleistet werden. Der Einsatz von *Maya* innerhalb der Produktion ist dabei ohne Relevanz für das Farbmanagement, da es zur Erstellung der Animationen dient, jedoch nicht für das finale Rendering eingesetzt wird.

3.2.1 Der Trackingprozess

Für das Tracking des Puppenkopfes musste zunächst die Objektivverzeichnung innerhalb der Sequenz entfernt werden. Dafür wurde das aufgenommene Objektivgitter zusammen mit der Lens-Distortion-Node in *Nuke* verwendet. Diese Node ermöglicht es, die Verzeichnung der Linse zu entfernen und sie später im Compositing wieder auf das gesamte Bild zu übertragen. Die Node analysiert dafür das Objektivgitter und berechnet die Verzeichnung der Linse (Nuke Reference guide, o. J.). Die entzerrte Bildsequenz wurde anschließend exportiert.

Im nächsten Schritt wurde die EXR-Sequenz in *Blender* geladen, um den Kopf der Puppe zu tracken. Dafür wurde das Material im Motion-Tracking-Fenster geöffnet. Zunächst wurde die Kamerabewegung getrackt. Dazu wurden die Markierungen, siehe Abbildung 32, auf der Hohlkehle festgelegt und als Tracking-Features definiert.

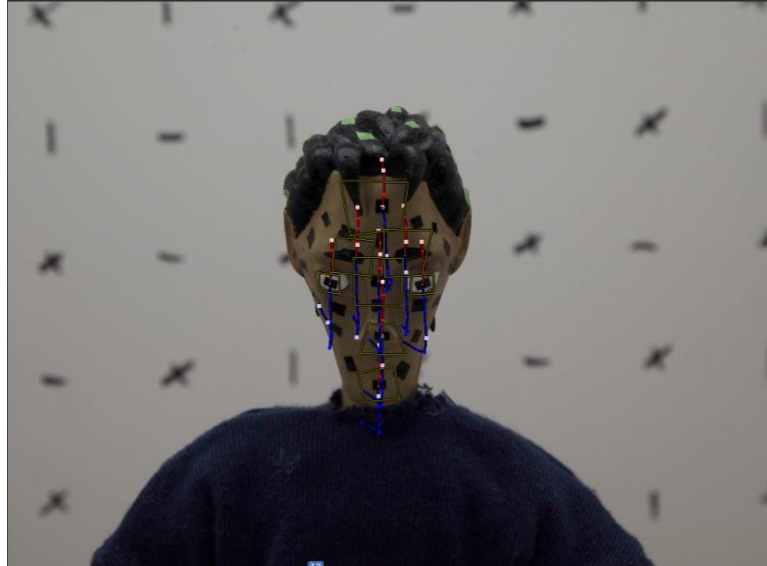
Abbildung 32: Festlegung der Markierungen auf der Hohlkehle als Tracking-Features



Quelle: eigene Aufnahme

Da die Kamera auf einem Stativ fixiert war, verlief dieser Prozess problemlos. Danach konnte ein Objekt-Track gestartet werden. Dazu wurden die Tracking-Punkte auf dem Kopf der Puppe, siehe Abbildung 33, markiert und verfolgt. Durch die Kopfbewegungen konnten viele Punkte nicht bis zum Ende der Sequenz nachverfolgt werden.

Abbildung 33: Festlegen von Punkten auf dem Puppenkopf als Tracking-Feature

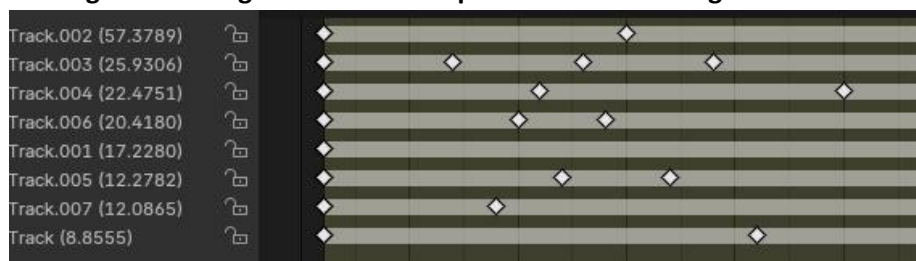


Quelle: eigene Aufnahme

Außerdem fiel auf, dass die Animation auf Twos dazu beitrug, dass bestimmte Tracking-Punkte von der Software nicht richtig verfolgt wurden. Für den Solve einer Bewegung benötigt *Blender* mindestens acht verfolgte Punkte im Bild (Blender 4.5 LTS Manual, o. J.). Daher mussten regelmäßig neue Punkte gesetzt und getrackt werden.

In Abbildung 34 wird im Dope-Sheet sichtbar, wann Marker nicht weiterverfolgt wurden und durch andere ersetzt werden mussten. Das Dope-Sheet gibt einen Überblick über gesetzte Keyframes innerhalb einer Szene. Für das Tracking bedeutet dies, dass eine Übersicht über die Aufnahme der Bewegungsdaten vorliegt (Blender 4.5 LTS Manual, o. J.).

Abbildung 34: Tracking-Abbrüche im Dope-Sheet des Tracking Fensters in Blender

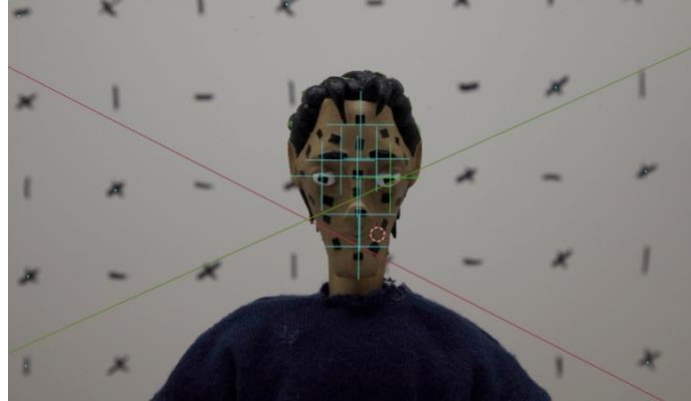


Quelle: eigene Aufnahme

Nach dem Solve war es möglich, das Modell des Kopfes mithilfe einer Punktwolke zu positionieren (siehe Abbildung 35). Die einzelnen Punkte konnten den Markern auf dem Kopf der Puppe zugeordnet werden. Anschließend wurde innerhalb dieser Punktwolke ein sogenanntes Empty positioniert. Emptys sind Platzhalter innerhalb von *Blender*. Dabei handelt es sich um 3D-Koordinaten ohne Oberfläche oder Volumen, die nicht gerendert werden können (Blender 4.5 LTS Manual, o. J.).

Mithilfe des Object-Solver-Constraints wurde das Empty der Bewegung der Punktwolke zugeordnet. Constraints steuern Eigenschaften eines Objekts, etwa Position oder Rotation. Dadurch können Bewegungen von einem Objekt auf ein anderes übertragen werden. Im Fall des Object-Solver-Constraints werden die Bewegungsdaten aus einem Objekt- oder Kamera-Solve auf ein Empty übertragen (Blender 4.5 LTS Manual, o. J.). Anschließend konnte das 3D-Modell des Puppenkopfes dem Empty zugeordnet werden, wodurch es sich entsprechend der Tracking-Daten bewegte.

Abbildung 35: Punktwolke mit Bewegungsdaten des Puppenkopfes



Quelle: eigene Aufnahme

Es zeigte sich, dass dieser Prozess einen nicht vertretbaren Zeitaufwand verursachte. Deshalb musste eine Alternative für das Head-Tracking der Puppe gefunden werden. Um effizienter arbeiten zu können, wurde auf ein Plug-in zurückgegriffen, den GeoTracker der Firma *KeenTools*.

Dabei handelt es sich um ein Objekt-Tracking-Tool, das 3D-Geometrien nutzt, um die Bewegung von Objekten im Bild zu verfolgen. Das Programm vergleicht Objekte im Bild mit einem 3D-Modell und überträgt die Bewegung aus dem Videomaterial auf die Geometrie (KeenTools, 2025). Da für die Herstellung des Puppenkopfes bereits ein 3D-Modell erstellt worden war, lagen die notwendigen Voraussetzungen vor. Für das Tracking in *ENOUGH*, wurde der GeoTracker in *Blender* eingesetzt. Im Folgenden wird der Trackingprozess mit dem GeoTracker-Plug-in beschrieben.

Für die Durchführung sind ein 3D-Modell, eine Kamera in der Szene sowie die Aufnahmeparameter in Form von Sensorgröße, Brennweite und Videomaterial erforderlich. Zunächst wird die Bildsequenz mithilfe des Plug-ins analysiert, um eine konsistente Grundlage für das anschließende Kamera- und Objekttracking zu schaffen. Im nächsten Schritt wird das 3D-Modell auf der Bildsequenz positioniert und mit dem Pin-Mode verfeinert. Definierte Punkte dienen dabei zur proportionalen Anpassung und exakten Ausrichtung des Modells (siehe Abbildung 36). Die Platzierung erfolgt in einem Einzelbild und bildet den Ausgangspunkt für den Trackingalgorithmus. Anschließend werden die Kameradaten ergänzt. Der eigentliche Trackingprozess sollte kontinuierlich überwacht werden. Bei fehlerhaften Ergebnissen kann der Vorgang unterbrochen und das Modell im aktuellen Frame mit dem Pin-Mode neu justiert werden. Danach wird der Prozess fortgesetzt. Einzelne Frames lassen sich nach Abschluss des automatischen Trackings manuell korrigieren, um die Präzision zu erhöhen. Die Bewegungsdaten werden in Form von Keyframes auf das 3D-Modell übertragen. Diese Keyframes können exportiert und in anderen Programmen weiterverarbeitet werden.

Abbildung 36: Pins zur Anpassung und Verzerrung der Geometrie



Quelle: eigene Aufnahme

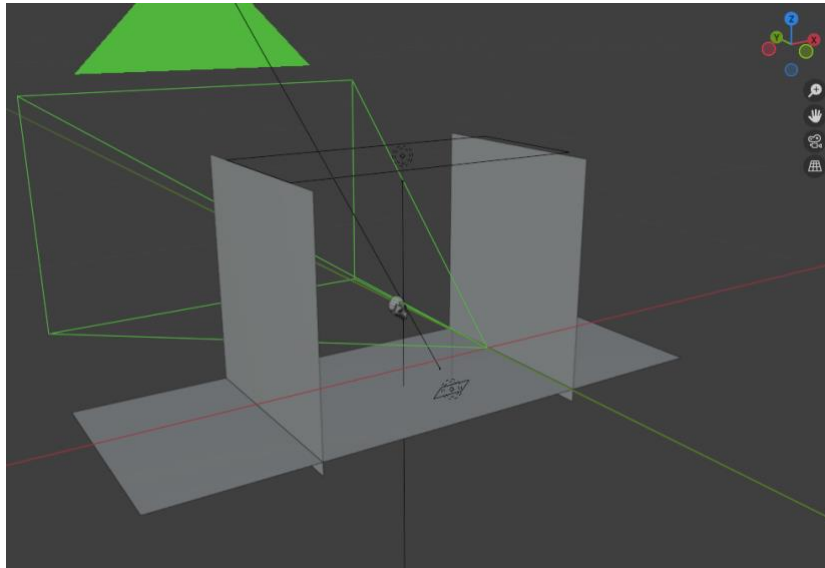
Die Verwendung des GeoTracker-Plug-ins beschleunigte den Prozess deutlich. Für den ersten Ansatz wurden rund sechs Stunden benötigt, während sich die Zeit mit dem Plug-in auf etwa die Hälfte reduzierte. Aufgrund dieser Erfahrungen wurde entschieden, dass in der Produktion von *ENOUGH* der GeoTracker eingesetzt wird. Dementsprechend werden keine Marker mehr auf dem Puppenkopf benötigt. Informationen zur Entfernung zwischen Puppenkopf und Kamera sollten dennoch aufgenommen werden, um die Ergebnisse des Plug-ins überprüfen zu können.

Die Animation auf Twos beeinflusste die Arbeit mit dem Plug-in ebenfalls, da es bei einzelnen Frames vorkam, dass die Kopfgeometrie verschoben wurde, obwohl keine Veränderung zwischen den Frames stattfand. So konnte das Problem zwar manuell behoben werden, dennoch sorgte die Animation auf Twos bei beiden Methoden für Probleme und machte ein händisches Eingreifen notwendig.

3.2.2 Rendering

Da für die Testanimation ein einfacher Lichtaufbau gewählt wurde, kam das geschossene HDR-Bild nicht zum Einsatz. Mithilfe von Referenzfotos wurde der Aufbau digital nachgebaut (siehe Abbildung 37). Dafür wurde der animierte CG-Kopf auf Puppengröße skaliert und die verwendeten Lichter in entsprechender Größe gewählt. Für die Stärke der Lichter wurden Wattangaben benötigt, die über die Produktdatenblätter der Hersteller in Erfahrung gebracht werden konnten. Da Blender die Möglichkeit bietet, Videomaterial innerhalb einer CG-Kamera abzuspielen, konnte der erstellte Lichtaufbau simultan mit dem Videomaterial abgeglichen werden. Wie zuvor erläutert, konnte durch einen Monitor-LUT sichergestellt werden, dass die Lichtdarstellung korrekt ist.

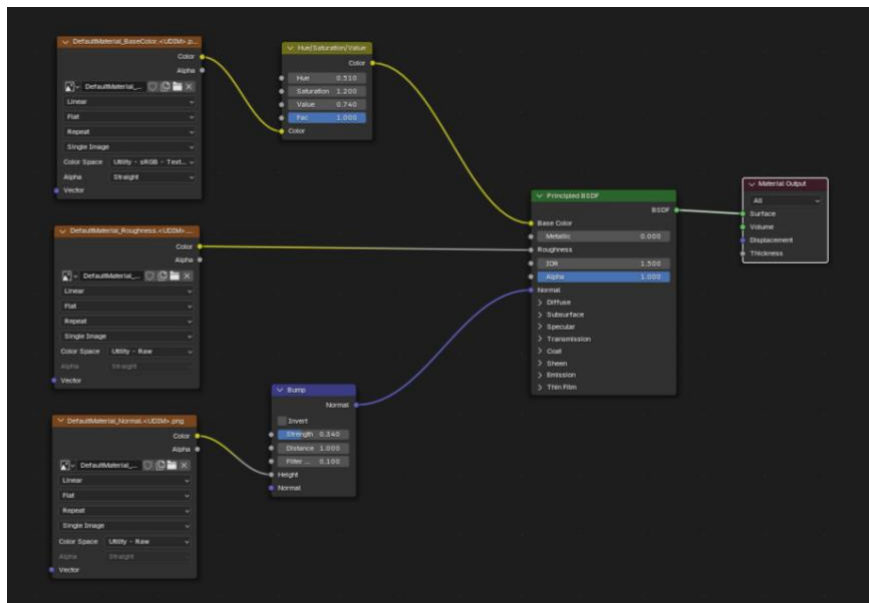
Abbildung 37: Digitaler Lichtaufbau innerhalb Blenders



Quelle: eigene Aufnahme

Die Texturen für den Puppenkopf wurden mithilfe von *Adobe Substance Painter* erstellt. Dabei wurden die analogen Techniken für die Bemalung des Puppenkopfes imitiert. Für mehr Struktur im Gesicht wurde eine Bump-Map erstellt. Dieser Texturtyp imitiert kleine Erhöhungen und Details, ohne die tatsächliche Geometrie des Modells zu verändern (Dinur, 2017). Die einzelnen Texturen wurden in Blender mithilfe des Shader-Editors zusammengeführt und dem 3D-Modell des Kopfes zugewiesen (siehe Abbildung 38).

Abbildung 38: Die drei Texturen für Farbe, Rauheit und Bump im Shader-Editor von Blender



Quelle: eigene Aufnahme

Im Anschluss wurde ein Einzelbild mit verschiedenen Renderpässen erstellt. Die benötigten Pässe beschränkten sich auf die in Kapitel 2.2.4 beschriebenen. Um im Compositing den Überblick zu behalten, wurde in Blender eine File-Output-Node erstellt. Mit dieser Node können die Renderpässe neu benannt und in einem angelegten Dateipfad gespeichert werden (Blender 4.5 LTS Manual, o. J.).

Um die in der 3D-Szene eingesetzten Lichter im Compositing gesondert bearbeiten zu können wurden Lichtgruppen in Blender erstellt. Dadurch wurde sichergestellt, dass eventuelle Veränderungen der Farbtemperatur und Intensität im Compositing vorgenommen werden können.

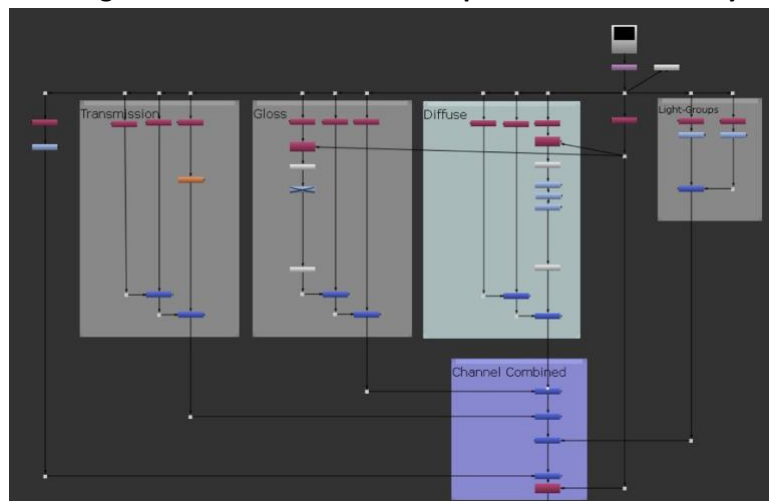
3.2.3 Compositing

Um Zeit im Compositing zu sparen, wurde ein *Nuke*-Skript erstellt, das als Vorlage wiederverwendet werden kann. Innerhalb dieses Skripts sollten folgende Arbeitsschritte abgedeckt werden, Kombination der einzelnen Renderpässe zu einem Beauty-Pass, integrierte Farbkorrektur innerhalb der Renderpässe, Ausschneiden von Bildelementen, Ergänzung von Tiefenunschärfe, Objektivverzeichnung und Bewegungsunschärfe sowie die Möglichkeit zur Beleuchtungskorrektur.

Dazu wurde die gerenderte EXR-Sequenz in Nuke mithilfe einer Read-Node eingelesen und die entsprechenden Pässe mit einer Shuffle-Node extrahiert. Anschließend wurden die einzelnen Pässe mit Merge-Nodes kombiniert. Die Merge-Node ermöglicht die Kombination zweier Bilder.

Dabei gibt es verschiedene mathematische Operationen, die bestimmen, wie Pixelwerte verrechnet werden (Nuke Reference guide, o. J.). Für die Kombination der Renderpässe mussten einzelne Teilbilder gemäß den Ausführungen in Kapitel 2.2.4 addiert oder multipliziert werden. In Abbildung 39 ist der Teil des Skripts dargestellt, der die einzelnen Pässe zusammenführt. Um Farbinformationen individuell bearbeiten zu können, wurden Grade- und Color-Correct-Nodes ergänzt.

Abbildung 39: Kombination der Renderpässe zu einem Beauty-Pass



Quelle: eigene Aufnahme

Mithilfe einer Copy-To-Node wurde der Alphakanal auf die Renderpässe übertragen. Dafür wurde der Alphakanal über eine Shuffle-Node extrahiert und den jeweiligen Renderpässen zugeordnet. Mit unpremult- und premult-Nodes konnten die Farboperationen ergänzt werden (siehe Abbildung 40). Die unpremult-Node sorgt dabei für die Division des Renderings durch den Alpha-Kanal, während die premult-Node das korrigierte Bild wieder mit dem Alpha-Kanal multipliziert (Nuke Reference guide, o. J.). Danach folgte die Kombination der Ebenen über weitere Merge-Nodes.

Zum Abschluss wurde mithilfe der Lens-Distortion-Node die zuvor berechnete Objektivverzeichnung auf den CGI-Kopf übertragen (Nuke Reference guide, o. J.).

Das so erstellte Skript kann für jeden Shot wiederverwendet werden. Es müssen nur die entsprechenden Quellen geladen werden. Die Kombination der Renderpässe erfolgt automatisch. Farbkorrekturen und Roto-Arbeiten müssen jedoch individuell durchgeführt werden. Zudem muss je nach Shot ein anderes Objektivgitter für die Berechnung der Verzeichnung verwendet werden.

3.3 Erkenntnisse

Der Test zeigte, dass der Aufbau des Puppenkopfes mit den verschiedenen Markern sinnvoll war. So konnten die Tracking-Punkte als Features definiert und genutzt werden. Unabhängig davon verdeutlichte der Einsatz der Blender eigenen Tracking-Werkzeuge, dass die Marker kleiner hätten gestaltet werden können. Da die Suchfenster teilweise verschoben wurden, wählte die Software benachbarte Punkte aus. Ursache dafür waren die geringen Abstände zwischen den Markern.

Auch die Animation auf Twos erschwerte den Tracking-Prozess, da große Sprünge im Material häufig zum Abbruch führten. Diese mussten händisch korrigiert werden, was zusätzlichen Zeitaufwand verursachte.

Der Einsatz des GeoTracker-Plug-ins reduzierte den Aufwand deutlich. Zwar führten die doppelten Fotografien weiterhin zu Problemen, da das Plug-in große Sprünge nicht immer korrekt interpretierte, diese Fehler traten jedoch seltener auf und konnten im Pin-Mode leicht behoben werden. Voraussetzung für den Einsatz des GeoTracker war allerdings ein vollständig vorliegendes 3D-Modell des Kopfes.

Es lässt sich festhalten, dass die Animation auf Twos einen Einfluss auf den Tracking-Prozess hat, dieser Einfluss durch den Einsatz geeigneter Plug-ins jedoch kompensiert werden kann. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass externe Plug-ins zusätzliche Schritte oder Abhängigkeiten mit sich bringen, die möglicherweise nicht mit allen Produktionsabläufen kompatibel sind.

Für das Farbmanagement zeigte sich, dass Blender zusätzliche Vorbereitungsschritte erfordert. Die Integration einer alternativen Farbkonfiguration verlief jedoch problemlos, sodass Blender in den Workflow integriert werden konnte. Für die Bildsequenzen war es notwendig, einen zusätzlichen Schritt zu ergänzen. Die Konvertierung der Einzelbilder ins DNG-Format erlaubte den Zugriff auf RAW-Einstellungen, verursachte jedoch zusätzlichen Aufwand und Speicherbedarf. Die RAW-Sequenz der Testanimation hatte eine Größe von 5,28 GB, die DNG-Sequenz weitere 5 GB. Hinzu kamen die ACES-EXR-Sequenzen, wodurch der Speicherbedarf schnell stieg. Dieser Faktor sollte berücksichtigt werden, wenn entschieden wird, ob RAW-Dateien zusätzlich ins DNG-Format überführt werden.

Der Einsatz von *DaVinci Resolve* als Werkzeug für das Farbmanagement erwies sich als nützlich. Das Programm ermöglicht es, ACES als Standard festzulegen und Material entsprechend zu konvertieren. Für die Vorbereitung der EXR-Sequenzen war es daher problemlos einsetzbar.

Im Compositing fiel auf, dass die Arbeit durch die Animation auf Twos erschwert wurde. Das war der Fall, da Masken für jeden zweiten Frame neu erstellt werden mussten. Es war aufgrund der doppelten Bilder nicht möglich Travel-Mattes zu erstellen, da eine Form immer für zwei Bilder gehalten werden muss.

Im Anschluss an den Test wurde mithilfe der gewonnenen Erkenntnisse eine Aufnahme für den finalen Film umgesetzt. In dieser kurzen Aufnahme bewegt sich die Puppe, wie in Abbildung 42 zu sehen ist, in einem Bett liegend, von links nach rechts.

Abbildung 42: Zweite Szene die mithilfe des getesteten Workflows umgesetzt wurde



Quelle: eigene Aufnahme

Anders als bei der Testaufnahme wurde hier ein am Set aufgenommenes HDR-Bild verwendet, um innerhalb von Blender einen Überblick über den Lichtaufbau zu erhalten. Auf dieser Grundlage wurden weitere digitale Lichter ergänzt, mit deren Hilfe der Schattenwurf innerhalb des Gesichts der Puppe nachgestellt werden sollte. Da der Lichtaufbau für harte Schatten im Bild sorgte, war der alleinige Einsatz von Referenzfotos nicht ausreichend, um die genaue Lichtstimmung nachzubauen. Der Prozess des Head-Trackings konnte aufgrund der einfachen und gleichmäßigen Bewegung sehr schnell durchgeführt werden. Dabei benötigte das GeoTracker-Plug-in nur wenige Korrekturen, wodurch der Prozess beschleunigt wurde.

Auch das Abspeichern der EXR-Sequenz mithilfe der erstellten Output-Node funktionierte problemlos. Lediglich der Dateipfad musste verändert werden. Dadurch konnte das Nuke-Skript direkt auf die gerenderte Sequenz zugreifen.

Wie zuvor beschrieben, erfolgte die Kombination der Renderpässe automatisch. Innerhalb des Skripts mussten nur der Roto-Abschnitt sowie die Farb- und Lichtkorrekturen entsprechend verändert werden.

Die entwickelten Arbeitsanweisungen konnten nacheinander abgearbeitet werden, ohne dass unbekannte Fehler auftraten, die nicht durch die bestehenden Abläufe abgedeckt waren.

4 Fazit

Durch die Arbeit konnte ein rudimentärer Ablaufplan für die Integration von Computeranimationen in Stop-Motion-Sequenzen erstellt werden. Der Workflow für das CGI-Head-Replacement sieht folgende Arbeitsschritte vor:

Vorbereitung des Puppenkopfes

Der Kopf der Puppe sollte möglichst leicht und starr gestaltet werden. Bewegungen innerhalb des Gesichts sind dem Tracking-Prozess nicht zuträglich und sollten vermieden werden. Zusätzlich bietet die Installation von Punkten oder ähnlichen Features die Möglichkeit, den Tracking-Prozess zu vereinfachen, da die Software solche Kontrastpunkte leichter erkennen und verfolgen kann. Dabei sollte die Größe der Punkte sowie die Entfernung zwischen ihnen so gewählt werden, dass die Tracking-Software keine Elemente vertauscht.

Referenzdaten

Am Set sollten Zeiten festgelegt werden, in denen das VFX-Team alle nötigen Daten für die nachfolgenden Arbeitsschritte sammeln kann. Besondere Sorgfalt sollte dabei auf den Lichtaufbau sowie die Position der Kamera gelegt werden. Des Weiteren sollte nach Möglichkeit für jedes verwendete Objektiv eine Objektivgitter-Aufnahme erstellt werden. Weitere Kameraparameter können mithilfe der jeweiligen RAW-Dateien in Erfahrung gebracht werden und sollten den Ablauf am Set nicht stören. Für die Aufnahme eines HDR-Bildes wird die Verwendung einer 360-Grad-Kamera empfohlen, da diese einfacher im Set platziert werden kann.

Aufsetzen eines Farbmanagement-Systems

Um ein einheitliches Farbmanagement zu gewährleisten, wird empfohlen, das ACES-Farbmanagement-System einzusetzen. Das System bietet im Vergleich zu alternativen Lösungen einen unvergleichlichen Leistungsumfang, da es eine durchgängige Farbraumstandardisierung von der Aufnahme bis zur finalen Ausgabe ermöglicht. Dementsprechend sollten Programme, die ACES nicht unterstützen, entsprechend angepasst werden.

Vorbereitung des Materials

Entsprechend des Farbmanagements sollte das Bildmaterial in den ACES-Farbraum überführt werden. Dafür gibt es zwei Wege. Erstens die vorherige Entwicklung der einzelnen Fotos einer Bildsequenz. Hierfür können Standardanwendungen wie Adobe Photoshop oder herstellerspezifische RAW-Entwickler eingesetzt werden. Das Ergebnis ist eine PNG- oder JPEG-Sequenz im sRGB-Farbraum. Zweitens die Konvertierung der RAW-Dateien in das DNG-Format. Dadurch können die RAW-Daten im Farbmanagement-Programm verwendet und ebenfalls in ACES konvertiert werden. Bei der Wahl einer Methode sollte folgende Frage berücksichtigt werden, Wie viel Speicherplatz steht zur Verfügung und wie viel Kontrolle wird in Bezug auf Farb- und Lichtkorrekturen benötigt? Im Anschluss sollte die in ACES überführte Sequenz im EXR-Format exportiert und mithilfe der aufgenommenen Objektivgitter von optischer Verzeichnung befreit werden.

Tracking-Prozess

Die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse haben gezeigt, dass die Verwendung eines Plug-ins den Tracking-Prozess beschleunigt und geradliniger gestaltet. Es wird empfohlen, nach Möglichkeit auf ähnliche Software-Werkzeuge zurückzugreifen. Zudem sollte bei Zwei- oder Mehr-Bild-Animationsweisen darauf geachtet werden, dass dieselben Bilder auch dieselben Bewegungsinformationen erzeugen. Eine genaue Kontrolle und anschließende händische Korrektur werden empfohlen.

Aufsetzen einer 3D-Szene

Der Aufbau der 3D-Szene, mit deren Hilfe die Kopfbewegung sowie die Lichtverhältnisse rekonstruiert werden, sollte strukturiert erfolgen. Empfohlen wird, zunächst die Größe der Lichtquellen sowie des CG-Kopfes im realen Maßstab zu skalieren. Anschließend sollte die Position der Kamera anhand der Set-Daten vorgenommen werden. Dafür empfiehlt es sich, die Bildsequenz als Referenz zu nutzen, um die Lichtverhältnisse bereits in der 3D-Szene beurteilen zu können.

Renderprozess

Für das Rendern der 3D-Sequenz sollten verschiedene Render-Pässe genutzt werden, um im Compositing Korrekturen und Feinabstimmungen vornehmen zu können. Es sollten nur notwendige Render-Pässe ausgegeben werden. Durch das Rendern eines Testbildes können die notwendigen Elemente bestimmt werden.

Compositing

Um den Compositing-Prozess zu optimieren, empfiehlt sich das Aufsetzen eines Skripts, das alle notwendigen Arbeitsschritte beinhaltet. Je nach Shot können diese Arbeitsschritte dann nach und nach durchlaufen werden. Das Skript sollte folgende Blöcke beinhalten: Kombination einzelner Render-Pässe zu einem Beauty-Pass, Farbkorrekturen für einzelne Elemente, die Möglichkeit zum Ausschneiden von Bildelementen, die Ergänzung von Kameraeffekten wie Tiefenunschärfe und Objektivverzeichnung.

Schnitt und finaler Export

Im finalen Schnitt sollte die Bildsequenz in den Ausgabe-Farbraum konvertiert werden. Danach können optional weitere dramaturgische Farbkorrekturen vorgenommen werden. Im Anschluss kann eine Videodatei entsprechend der gewünschten Ansprüche exportiert werden.

4.1 Reflexion

Das Ziel der Arbeit, einen Workflow zur Durchführung eines CG-Head-Replacements zu entwickeln, konnte erfüllt werden. Durch die theoretische Ausarbeitung verschiedener Workflow-Aspekte konnten Teilaufgaben bestimmt und praktisch umgesetzt werden. So konnten Erkenntnisse über die Anwendung bestimmter Verfahren sowie über den Umgang mit technischen Herausforderungen gewonnen werden.

Die Gestaltung des Puppenkopfes unterstützte den Tracking Prozess. Jedoch ist die Position der einzelnen Markierungen am Kopf zu eng, was während des Tracking-Prozesses zu Problemen führte. Es ist davon auszugehen, dass durch den Einsatz des Plug-ins auf diese Markierungen verzichtet werden kann. Des Weiteren könnte der Puppenkopf simpler gestaltet werden, zum Beispiel ohne Haare. Dadurch würde die Retusche überstehender Elemente im Compositing reduziert werden können. Es ist allerdings nicht getestet worden inwiefern der GeoTracker mit einer solchen, abgeänderten Geometrie arbeiten kann.

Besonders hervorzuheben ist der Einsatz von ACES als Farbmanagement-System. Durch die Integration von ACES konnte eine konsistente und verlässliche Farbwiedergabe gewährleistet werden. Zusammen mit der Nutzung des DNG-Formats wurde eine hohe Flexibilität innerhalb der Prozesse erzielt.

Es sollte jedoch beachtet werden, dass sich dieser Workflow komplett auf das ACES-Farbmanagement-System stützt. So ist nicht geklärt, wie ein mögliches Farbmanagement ohne den Einsatz von ACES aussehen könnte.

Die Umsetzung eines weiteren Tests, ohne den Einsatz von ACES, würde konkrete Informationen zu den internen Farbmanagement Systemen der verwendeten Programme erfordern.

Im Bereich des Objekt-Trackings bestätigte sich die Annahme, dass die Abwesenheit von Bewegungsunschärfe und die optimierte Gestaltung des Puppenkopfes dem Tracking-Prozess zuträglich sind. Dennoch zeigte die praktische Umsetzung, dass die Animation auf Twos bei schnellen Bewegungen Probleme verursacht und händische Korrekturen unvermeidlich sind. Die praktische Umsetzung verdeutlichte zudem, dass digitale Gesichtsanimationen den Vorteil komplexerer Gestik und Mimik bieten. Gleichzeitig entsteht jedoch ein erheblicher Mehraufwand, der zusätzliche Arbeitsschritte erfordert. Ob dieser Aufwand im Vergleich zur Nutzung von Replacements gerechtfertigt ist, konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht beantwortet werden. Hierfür wäre eine Wiederholung des Versuchs mit Wechselelementen notwendig.

Hinzu kommt, dass die Testaufnahme unter einfachen Lichtbedingungen durchgeführt wurde. Es bleibt offen, welcher zusätzliche Aufwand bei komplexeren und dunkleren Lichtstimmungen mit starken Kontrasten entstehen würde. Eine weitere Testaufnahme könnte klären, wie die Lichtstimmung das Trackingergebnis beeinflusst, wenn Teile des Gesichts stark abgedunkelt sind.

Auch die Nutzung spezifischer Programme eröffnet Potenzial für weitere Untersuchungen. So muss je nach Programm geprüft werden, ob ACES unterstützt wird. Zudem beschränkten sich die Ausführungen zum Compositing-Skript auf *Nuke*. Es ist offen, inwieweit andere Software-Lösungen dieselben Möglichkeiten bieten. Das ist vor allem relevant, da es sich bei *Nuke* um ein hochpreisiges Software-Paket handelt, welches in kleinen und unabhängigen Produktionen vielleicht nicht genutzt wird. Die Entwicklung einer entsprechenden Compositing-Datei in *After Effects* oder *Blackmagic Fusion* könnte klären wie universal die festgelegten Abläufe sind.

Damit stellt die Arbeit ein Fundament für weitere Tests dar. Weitere Untersuchungen können dazu beitragen, den Workflow flexibler und auf andere Programme oder Produktionsstrukturen anpassbar zu gestalten.

5 Literaturverzeichnis

- Birn, J. (2005). *Digital Lighting and Rendering* (2. Aufl.). New Riders Publishing.
- Brinkmann, R. (1999). *The Art and Science of Digital Compositing*. Morgan Kaufmann.
- Bühler, P., Schlaich, P., & Sinner, D. (2017). *Animation: Grundlagen - 2D-Animation - 3D-Animation*. Springer.
- Bühler, P., Schlaich, P., & Sinner, D. (2017a). *Digitale Fotografie: Fotografische Gestaltung - Optik -ameratechnik*. Springer.
- Bühler, P., Schlaich, P., & Sinner, D. (2017b). *Digitales Bild: Bildgestaltung - Bildbearbeitung - Bildtechnik*. Springer.
- Buhler, P., Schlaich, P., & Sinner, D. (2018). *Digitale Farbe: Farbgestaltung - Colormanagement - Farbverarbeitung*. Springer.
- Clavadetscher, C. (2021). Lighting Data. V. E. S. (Hrsg.), *The VES Handbook of Visual Effects Industry Standard VFX Practices and Procedures* (3. Aufl.). Routledge.
- Dinur, E. (2017). *The filmmaker's guide to visual effects: The art and techniques of VFX for directors, producers, editors and cinematographers*. Routledge.
- Dobbert, T. (2005). *Matchmoving: The invisible art of camera tracking*. Sybex.
- Goulekas, K. (2021). On-Set Data Acquisition. V. E. S. (Hrsg.), *The VES Handbook of Visual Effects Industry Standard VFX Practices and Procedures* (3. Aufl.). Routledge.
- Houston, J., Maltz, A., & Clark, C. (2021). Academy Color Encoding System (ACES). V. E. S. (Hrsg.), *The VES Handbook of Visual Effects Industry Standard VFX Practices and Procedures* (3. Aufl.). Routledge.
- Hönliger, B. & Nasse, H. H. (2009). *Verzeichnung*. Zeiss Geschäftsbereich Photo-Objektive.
- Perez, V. (2023). *The Color Management handbook for visual effects artists: Digital color principles, Color Management fundamentals & ACES workflows*.
- Johnston, O. & Thomas, F. (1997). *Illusion Of Life*. Hyperion.
- Lederer, V. (2008). *Bach's „st. Matthew passion“: A closer look*. Continuum International Publishing Group.
- Lord, P., & Sibley, B. (2004). *Creating 3-D animation: The aardman book of filmmaking*.
- Okun, J. A., & Susan Zwerman, V. E. S. (Hrsg.). (2021). *The VES Handbook of Visual Effects Industry Standard VFX Practices and Procedures* (3. Aufl.). Routledge.
- Priebe, K. A. (2011). *The Advanced Art of stop-motion Animation*. Cengage Learning Ptr.
- Purves, B. J. C. (2008). *Stop Motion: Passion, Process and Performance*. Focal Press.
- Purves, B. J. C. (2014). *Stop-motion animation: Frame by frame film-making with puppets and models*. Fairchild Books.
- Shaw, S. (2008). *Stop motion: Craft skills for model animation* (2. Aufl.). Focal Press.
- Wright, S. (2010). *Digital Compositing for Film and Video* (3. Aufl.). Focal Press.

5.1 Onlinequellen

ACESCentral. (2025, August 10). *Home page - ACESCentral*. <https://acescentral.com/>

ACESCentral. (2020, April 15). *IDTs: What do they do? - ACESCentral*. <https://acescentral.com/knowledge-base-2/idts-what-do-they-do/>

Blender 4.5 LTS manual. (o. J.). Blender.org. Abgerufen 16. September 2025, von <https://docs.blender.org/manual/en/latest/index.html>

Cartoon Network. (2024, November 3). *Over the Garden Wall | 10th Anniversary Stop Motion Short | Cartoon Network* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=KkPqr2lx7t8>

Cartoon Network. (2024, November 4). *Behind the scenes: Over the Garden Wall | 10th Anniversary Stop Motion Short | Cartoon Network* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=qdh7Slm2DiAc>

Corridor Crew. (2025, März 25). *Stop Motion— but it's ALL 3D Printed!* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=h-6rXCtHb_U

Digitales negativ (DNG). (o. J.). <https://helpx.adobe.com/de/camera-raw/digital-negative.html>

InLightVFX. (2020, October 6). *Add VFX into Cinematic RAW+LOG Footage (the right way) | ACES Part 1* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=aJF2sAjRsy0>

Nuke Reference guide. (n.d.). https://learn.foundry.com/nuke/content/reference_guide.html

OpenEXR. (o. J.). Openexr.com. Abgerufen 16. September 2025, von <http://openexr.com>

OpenColorIO. (o. J.). Opencolorio.org. Abgerufen 16. September 2025, von <https://opencolorio.org/>

Persistenz des Sehens | Adobe. (o. J.). <https://www.adobe.com/de/creativecloud/animation/discover/persistence-of-vision.html>

KeenTools. (2025, Februar 17). *GeoTracker for blender*. Medium. <https://medium.com/keentools/geotracker-for-blender-guide-c17500ecc073>

Jump Cut [Das Lexikon der Filmbegriffe]. (2022, March 23). <https://filmlexikon.uni-kiel.de/doku.php/j:jumpcut-217>

Valentin Felder. (2021, July 5). *StopMotion Head Armature | An unwound clockwork* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=NJs7VFGIGNA>

VES Camera Reports. (o. J.). Camerareports.org. Abgerufen 16. September 2025, von <https://camerareports.org/>

5.2 Filme

Butler, C., & Fell, S. (Directors). (2012). *ParaNorman* [Film]. Laika, Focus Features.

Butler, C. (Director). (2019). *Missing Link* [Film]. Laika, Annapurna Pictures, United Artists Releasing.

Lavis, C. & Szczerbowski, M. (Regisseure). (2007). *Madame Tutli-Putli* [Film]. Page, M.

Starewicz, W. & Starewicz, I. (Regisseure). (1937). *Le Roman de Renard* [Film].

Tolchinsky, Z. (Regisseur). (2021). *The forbidden zone* [Film]. Richebe, R., Nalpas, L.

Park, N. (Regisseur). (1993). *The Wrong Trousers* [Film]. Aardman Animations, Wallace and Gromit Ltd., BBC Bristol, Lionheart Television, BBC Childrens International.

5.3 Serien

Cartoon Network Studios (Produzent). (2014). *Over the Garden Wall* [TV-Serie]. Cartoon Network.

