

Fachbereich 2: Medienproduktion
Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe
Eingereicht am: 24.01.2023
Detmold, Wintersemester 2022/2023
Lizenz: CC-BY 4.0

Bachelorarbeit

Möglichkeiten zur kosteneffizienten Umsetzung von Virtual Production

Verfasst von:

Jan Andres Reinschmidt

Matrikelnummer: 1541 4052

Erstprüfer:

PROF. DIPL.-ING. Rico Dober

Zweitprüfer:

B. DES. Jennifer Meier

MEDIENPRODUKTION



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Glossar	5
3. Forschungsfrage	7
3.1 Methode.....	7
3.2 Aufbau Theoretischer Teil.....	8
3.3 Praktisches Projekt.....	8
4. Hintergründe zum Thema „Virtual Production“	9
4.1 Was ist Virtual Production.....	9
4.2 Virtual Production Anwendungszwecke und Setups.....	13
4.3 Vergleich gegenüber der Nutzung des Greenscreen.....	14
4.4 Probleme von Virtual Production.....	16
4.5 Der neue Produktionsablauf bei Virtual Production.....	19
4.6 Die Rolle von Game-Engines bei Virtual Production.....	20
5. Kostengünstige Umsetzung von Virtual Production	21
5.1 Für wen ist eine kostengünstige Umsetzung sinnvoll?.....	22
5.2 Warum sind die Kosten hoch?.....	23
5.2.1 LED-Wall.....	23
5.2.2 Brain Bar und Render Nodes.....	24
5.2.3 Kamera-Tracking-System.....	25
5.2.4 Weitere Kosten.....	25
5.2.5 Allgemeine Kosten.....	25
5.3 Alternativen zu teurem Equipment.....	26
5.3.1 Kostengünstiges Kamera-Tracking.....	26
5.3.2 Kostengünstige LED-Wall.....	28
Fernseher / Monitor (Mini Virtual Production).....	28
Beamer / Kurzdistanz-Beamer.....	30
5.4 Kosteneinsparung durch Virtual Production Setups.....	31
5.4.1 Hybrid Virtual Production.....	31
5.4.2 Kamera-Tracking mit Echtzeit-Vorschau.....	32
5.4.3 Leistungsanforderungen mit Matte Paintings senken.....	32
6. Schlussbetrachtung	33

6.1 Zusammenfassung und Erkenntnisse meiner Forschung.....	33
6.2 Fazit und Ausblick in die Zukunft.....	34
7. Praktischer Teil: Animationsfilm “Mr. Sandman (AT)”	35
7.1 Die Handlung.....	35
7.2 Das Team.....	36
7.3 Die Figur des Sandmanns.....	37
7.4 Besonderheiten bei der Produktion.....	37
7.5 Produktionsablauf.....	39
7.5.1 Ideenfindung / Moodboard.....	39
7.5.2 Character Design (Sandmann, Mia, Ker).....	40
7.5.3 Rigging.....	41
7.5.4 Environment Erstellung.....	41
7.5.5 Dreharbeiten.....	42
7.6 Reflexion.....	42
8. Literaturverzeichnis.....	44
9. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	46
11. Anhang.....	48
10. Eidesstattliche Erklärung.....	53

1. Einleitung

Aktuell ist Virtual Production ein großes Thema in der Filmindustrie und immer mehr Filmschaffende interessieren sich für die Thematik. Virtual Production ist eine Technologie mit der unmittelbar am Filmset reale Elemente mit virtuellen Elementen zusammengefügt werden. Ein Regisseur kann wie bei einem Realfilm die Schauspieler filmen und dabei in Echtzeit sehen, wie eine virtuelle Umgebung als Hintergrund agiert. Diese virtuelle Umgebung wird dabei auf eine LED-Wall projiziert, die im Hintergrund zu den realen Objekten platziert ist.



Abbildung 1: Virtual Production Stage. Die LED-Wall bildet eine Winter Landschaft ab, welche durch reale Objekte wie eine Schneemobil ergänzt wird.

Quelle: Full Sail University

Durch das effektive Filmen in einer Studioumgebung können Filme mit Virtual Production kosteneffizienter produziert werden (vgl. Tangcay, 2022). Dennoch sind die anfänglichen Kosten für Virtual Production im Vergleich zu Greenscreen-Produktionen hoch. Für Produktionen mit Budgets in Millionenhöhe sind diese anfänglichen Equipmentkosten keine große Hürde, bei Produktionen mit niedrigen Budgets von 200 - 500 Tsd. € können die Anschaffungskosten schnell das Budget überschreiten. Insbesondere Equipment wie die Display-Panels der LED-Wall oder das Tracking-System kosten viel Geld und sind für kleinere Produktionen oft unerschwinglich (vgl. Steve Nicola,

2018). Auch die Kosten für die benötigte Rechenleistung, um die virtuellen Inhalte auf einer großen LED-Wall zu rendern, sind hoch. Independent Filmproduktionen, Hochschulen oder kleineren Unternehmen, die sich mit der Thematik beschäftigen wollen, wird durch diese Kosten der Einstieg erschwert oder sogar verwehrt.

Die hohen Kosten stellen nicht nur für professionelle Produktionen mit kleineren Budgets ein Problem da, sondern auch für Virtual Production Interessierte, die sich tiefer mit der Thematik auseinandersetzen möchten. Wie kann ein praxisnaher Einstieg in die Thematik Virtual Production gelingen, ohne hohe Equipment Investitionen tätigen zu müssen?

2. Glossar

Zunächst werden im Glossar die wichtigsten Begriffe rund um das Thema Virtual Production erläutert. Die Begriffserklärung steht im Kontext zum Thema Virtual Production. Um diese Arbeit optimal lesen zu können ist ein grundsätzliches Verständnis über die Themen CGI, VFX und Filmproduktion erforderlich. Spezifischere Begriffe werden im Glossar erläutert.

Virtual Production (Deutsch: Virtuelle Produktion)

Virtual Production ist eine Technologie in der Fernseh- und Filmproduktion, bei der ein großes Display (LED-Wall) als Set Hintergrund fungiert, auf das in der Regel virtuell erzeugte Inhalte projiziert werden.

LED-Wall

Eine LED-Wall beschreibt ein großes Display, welches sich aus vielen kleineren LED-Display-Panels zusammensetzt. Eine LED-Wall bildet den Hintergrund zu den realen Objekten im Vordergrund. Auf der LED-Wall werden virtuelle Inhalte abgebildet die mit einer Kamera perspektivisch interagieren. Alternativ zu LED-Panels können auch Micro-LED- oder OLED-Panels für Virtual Production verwendet werden (vgl. Noah Kadner, 2019).

Tracking-System

Das Tracking-System zeichnet die Positions- und Rotationsbewegungen von ausgewählten Objekten auf. Mit einem Tracking-System können beispielsweise die Bewegungen einer realen Kamera auf eine virtuelle Kamera in einer Game-Engine übertragen werden. Das Tracken von Kamerabewegungen ist ein essenzieller Baustein um LED-Wall basiertes Virtual Production zu praktizieren.

Virtual-Reality (VR) Headset

Ein Virtual-Reality-Headset ermöglicht das Konsumieren von Virtual-Reality Inhalten. Virtual-Reality-Headsets haben meist ein integriertes Tracking-System, welches auch für das Praktizieren von Virtual Production genutzt werden kann. In dieser Arbeit wird sich öfter auf die „HTV Vive“ bezogen. Die „Vive“ ist ein Virtual-Reality-Headset der Firma HTC.

Game-Engine

Eine Game-Engine ist ein Framework, welches für das Erstellen von Computerspielen und anderen Echtzeitanwendungen verwendet wird. Die Anwendungsmöglichkeiten von Game-Engines reichen mittlerweile auch in Bereiche wie die Filmproduktion oder Veranstaltungstechnik (Noah Kadner, 2019). In dieser Arbeit werde ich mich vermehrt auf die Game-Engine „Unreal Engine“ des Unternehmens Epic-Games beziehen, da die Unreal Engine viele Tools für Virtual Production bietet.

Blueprint

Das „Blueprint Visual Scripting“ System in der Unreal Engine ist ein Scripting System, das auf Nodes basiert und bestimmt wie ein Objekt interagiert (vgl. Noah Kadner, 2019, S. 89).

Pixel Pitch

Der Pixel Pitch gibt Auskunft über die Dichte der Pixel von einem LED-Panel und korreliert mit der Auflösung. Der Pixel Pitch ist der Abstand in Millimetern vom Mittelpunkt eines Pixels zu dem danebenliegenden Pixel (vgl. Adam Forziati, 2020). Für eine LED-Wall ist ein Pixel Pitch von 0,9 mm bis 3 mm üblich.

Nit

Das Wort leitet sich vom lateinischen „nitere“ ab, was so viel wie „scheinen“ bedeutet. Es handelt sich um eine Einheit der Leuchtdichte und ist gleichzusetzen mit einer Candela pro Quadratmeter. Eine „Candela“ (lat. für Talg- oder Wachlicht) wiederum entspricht der Lichtstärke einer Haushaltskerze. 1200 Nits verfügen also über die Leuchtkraft von 1200 Kerzen (Theresa Gereke, 2020).

Brain Bar

Die Brain Bar beschreibt das Team von Künstlern und Ingenieuren, welches die technischen Geräte betreibt, um eine virtuelle Produktion zu steuern. Zu den Aufgabenbereichen gehören die Verteilung von Inhalten, Bildmanipulationen, Kamera-Tracking, Aufzeichnung und kreative Visualisierung von Daten (vgl. Noah Kadner et al., 2022). Im Idealfall ist eine Brain Bar mit leistungsstarken Workstations ausgestattet.

Render Nodes

Computersysteme welche zum Rendern von 3D Inhalten verwendet werden.

3. Forschungsfrage

Virtual Produktion gibt Filmemachern einige neue Möglichkeiten, Filme in einer Studioumgebung zu produzieren. Die hohen Anschaffungskosten sorgen allerdings dafür, dass sich kleine Produktionen oft nicht mit der Thematik auseinandersetzen und auf etabliertere Produktionstechniken wie z.B. den Greenscreen setzen. Diese Arbeit soll Möglichkeiten aufzeigen mit denen Produktionen mit einem Budget unter 500 Tsd. € Virtual Production praktizieren können. Die dazu passende Fragestellung lautet:

Wie kann Virtual Production Technologie kleineren Low-Budget Produktionen zugänglich gemacht werden?

Definition von niedrigem Budget bei einer Filmproduktion

Es gibt keine einheitliche Definition, ab welcher Summe eine Produktion als Low-Budget zu bezeichnen ist. Die Screen Actors Guild (SAG) hat eine Einteilung erstellt, nach der Filme mit einem Budget zwischen 75 Tsd. € bis 2 Mio. € als Low Budget gelten (vgl. Ludger Kaczmarek, 2022). Wenn in dieser Arbeit von einem Low-Budget gesprochen wird, ist eine Summe von 200 – 500 Tsd. € gemeint. Die von der SAG vorgeschlagene Budgetspanne wird auf einen noch kleineren Bereich eingegrenzt, da sich diese Arbeit gezielt auf Produktionen im unteren Budgetbereich konzentrieren will.

3.1 Methode

Um herauszufinden, wie Virtual Production für Low-Budget Produktionen zugänglicher gemacht werden kann, wird zunächst analysiert, wo die Kosten anfallen und wie hoch diese sind.

Mit diesen Erkenntnissen wird dann nach Alternativen zu der teuren Hardware gesucht. Dabei fließen auch praktische Erfahrungswerte aus Projekten und Tests ein. Die Alternativen zu dem teurem Equipment werden auf Praxistauglichkeit und Vor- und Nachteile bewertet.

Anschließend werden verschiedene Virtual Production Setups vorgestellt die helfen sollen, die Kosten zu senken. Einige dieser Setups werden praktisch ausprobiert um detailliertere Informationen zu erhalten.

3.2 Aufbau Theoretischer Teil

Zu Beginn dieser Arbeit wird auf grundsätzliche Dinge des Themas Virtual Production eingegangen. Es wird unter anderem aufgezeigt, in wieweit sich Virtual Production von anderen Produktionstechniken unterscheidet und wo aktuell Vorteile und Probleme der Produktionsart liegen. Dieser Teil soll dazu dienen, ein besseres Verständnis darüber zu bekommen, wie Virtual Production technisch und praktisch funktioniert.

Im zweiten Abschnitt des theoretischen Teils wird versucht die Forschungsfrage zu beantworten, wie Virtual Production kosteneffizient praktiziert werden kann.

Der theoretische Teil soll eine Einführung und einen Überblick in das Themenfeld Virtual Production geben. Außerdem sollen Wege aufgezeigt werden, wie auf kosteneffiziente Weise ein praxisnaher Einstieg in das Thema gefunden werden kann.

3.3 Praktisches Projekt

Wer ist eigentlich der Sandmann? Genau dieser Frage geht der Animations-Kurzfilm „Mr. Sandman (AT)“ nach. Heute ist der Sandmann den Meisten als ein netter und kinderfreundlicher Charakter bekannt, dies war aber nicht immer so. In vielen alten Sagen und Geschichten trat der Sandmann als Schreckensfigur auf, der Kinder entführte und ihnen Angst machte (vgl. Volker Petzold, 2004). Warum der Sandmann im Laufe der Zeit eine solch starke Wesenswandlung erfuhr, wird in unserem Film auf fiktionale Weise erzählt. In dem Film treten neben dem Sandmann weitere Sagen- und Märchenfiguren wie Frau Holle, Ker und der Tod auf. Der praktische Teil wird sich hauptsächlich auf die Produktion des Film beziehen.

Um inhaltliche Überschneidungen mit den anderen Teammitgliedern zu vermeiden, wird in dieser Arbeit über die Teile der Produktion gesprochen, an denen ich selber beteiligt war. Dies betrifft insbesondere die Bereiche:

- Charakterdesign des Sandmanns
- Sculpting und Modelling der Charaktere Sandmann, Mia und Ker
- Rigging für Motion-Capturing
- Erstellung des Kinderzimmers (3D Filmkulisse)

4. Hintergründe zum Thema „Virtual Production“

4.1 Was ist Virtual Production

Der Begriff Virtual Production steht im Allgemeinen für eine Filmproduktionstechnik, bei der ein großes Display (LED-Wall) im Hintergrund eines Filmsets steht und Inhalte projiziert. Es geht darum, virtuell erzeugte Inhalte mit realen Objekten im Vordergrund zu kombinieren. Diese Kombination von realen und virtuellen Elementen erfolgt in Echtzeit und ermöglicht es, Schauspieler glaubhaft in virtuelle Welten zu integrieren. Mit Virtual Production können alle wichtigen kreativen Entscheidungen unmittelbar am Set getroffen werden.



Abbildung 2: LED-Wall Setup der Netflix Show „1899“ (Baran bo Odar, 2022). Die Schauspieler agieren vor der LED-Wall.

Quelle: Netflix

Die virtuellen Elemente interagieren mit den Bewegungen der realen Kamera, sodass der virtuelle Hintergrund immer perspektivisch korrekt zum realen Vordergrund angezeigt wird. Dank Virtual Production kommt die Arbeit im Filmstudio so der Produktion eines Realfilms mit echtem Drehort näher.

Die Rolle der LED-Wall erklärt am Beispiel der Rückprojektion

Wenn in älteren Filmszenen die Akteure mit einem Auto fahren, wurde dies aus Sicherheitsgründen oft im Studio gedreht. Dabei agieren die Schauspieler vor einer Bildwand, deren Rückseite von einem Projektor angestrahlt wird (vgl. Mulack & Giesen, 2002, S. 14). Der Projektor projiziert beispielweise eine im Vorhinein aufgenommene Straßenszene. So soll der Effekt entstehen, dass sich die Akteure tatsächlich in einem fahrendem Auto befinden. Diesen Effekt nennt man Rückprojektion. Hier wird sozusagen der Film im Film gefilmt (Mulack & Giesen, 2002, S. 14). Beim genaueren betrachten solcher Szenen ist feststellen, dass die Rückprojektion nicht immer glaubwürdig funktioniert. Das größte Problem bei diesem Filmtrick ist, dass der Hintergrund auf der Leinwand perspektivisch oft nicht zum Vordergrund passt. Durch unnatürliche Bewegungen und perspektivische Unstimmigkeiten merkt man, dass die Straßenaufnahme im Hintergrund ursprünglich mit einer anderen Kamera aufgenommen wurde.

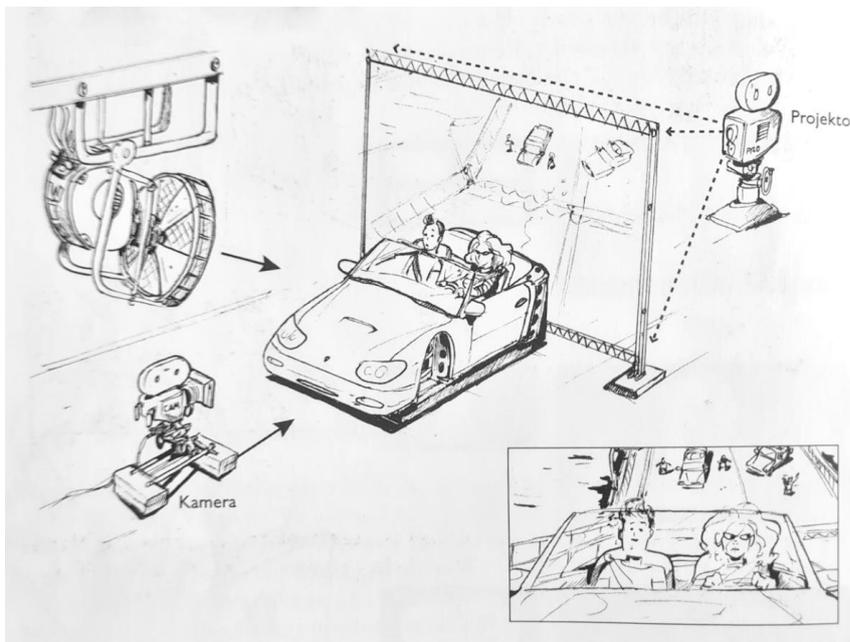


Abbildung 3: Aufbau einer klassischen Rückproduktion.

Quelle: Mulack & Giesen, 2002, S. 14

Das einfache Projizieren von im Vorhinein aufgenommenen Videos ist technisch gesehen auch bei Virtual Production möglich, allerdings geht Virtual Production einen entscheidenden Schritt weiter. Auf die LED-Wall wird eine dreidimensionale Umgebung projiziert, die in einer Game-Engine virtuell erzeugt wird. Zusätzlich dazu werden alle Bewegungen der realen Kamera mit einem Tracking-System aufgezeichnet und unmittelbar auf die virtuelle Umgebung in der

Game-Engine übertragen. Dadurch hat die Kamera am Set Auswirkungen auf die virtuelle Umgebung, die auf der LED-Wall abgebildet wird. Wenn die Kamera nun nach rechts bewegt wird, passen sich die Inhalte auf der LED-Wall perspektivisch korrekt an. So entsteht der Eindruck, dass die reale Kamera tatsächlich in der virtuellen Welt filmt. Eine LED-Wall umschließt die realen Objekte im Idealfall wie ein großes Panorama, sodass die Kamera die vordergründigen Objekte aus möglichst vielen Perspektiven filmen kann.

Die modernen Display-Panels, aus denen sich eine große LED-Wall zusammensetzt, haben den Vorteil, dass sie eine hohe Leuchtkraft besitzen. Reale Elemente im Vordergrund werden so indirekt von der LED-Wall beleuchtet. Wird auf der LED-Wall beispielsweise ein Strand bei Sonnenuntergang abgebildet, wird dadurch auch der Schauspieler im Vordergrund passend zur Szene beleuchtet. Dies wäre mit einem Projektor, wie er bei der Rückprojektion verwendet wurde, aufgrund der niedrigen Leuchtkraft unmöglich. Ein Schauspieler, der vor der LED-Wall steht, kann so in unzählige virtuelle Welten integriert werden und aus verschiedensten Perspektiven gefilmt werden, ohne dass es zu Verzerrungen oder falschen Reflektionen kommt.



Abbildung 4: Virtual Production Set der Serie „The Mandalorian“ (Joe Favreau et al., 2019).

Quelle: Industrial Light & Magic

So wird direkt am Set der Eindruck vermittelt, der Darsteller würde sich tatsächlich in der virtuellen Welt befinden. Reale und virtuelle Objekte stimmen miteinander überein und bilden eine Einheit. Schon während den Dreharbeiten sieht man in der Kamera, wie Schauspieler und computergenerierte Inhalte zusammenspielen.

Kevin Baillie bringt den großen Vorteil von Virtual Production in einem Interview gut auf den Punkt:

„Virtual production is also like parallel processing. It removes the barriers between live production and visual effects, so that they can occur simultaneously instead of inline.“ (Noah Kadner, 2019, S. 4)

Flexibilität am Set

Da die Kulisse in einer Game-Engine in Echtzeit erzeugt wird, können am Filmset verschiedenste Parameter individuell angepasst werden. Das Verschieben von Objekten, Verändern der Lichtstimmung oder Wetterbedingungen ist in der virtuellen Umgebung innerhalb kürzester Zeit möglich. Auch ein kompletter Wechsel des virtuellen Drehorts kann innerhalb kürzester Zeit vollzogen werden.

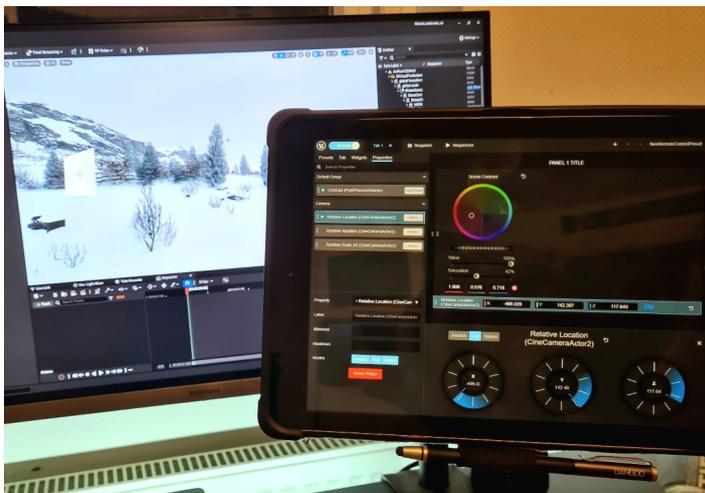


Abbildung 5: Remote Control Web Interface. Mit dem Unreal Plugin „Remote Control Web Interface“ können verschiedenste Einstellungen einer Szene in Echtzeit an einem Tablett kontrolliert werden.

Eigene Darstellung

4.2 Virtual Production

Anwendungszwecke und Setups

Filmmacher stoßen immer wieder auf das Problem, dass ein gewünschter Handlungsort nicht in der „realen Welt“ erreichbar oder vorhanden ist.

Es kann immer dann sinnvoll sein Virtual Production einzusetzen, wenn:

- ein gewünschter Drehort aus logistischen und/oder finanziellen Gründen nicht erreichbar oder realisierbar ist
- der Drehort fiktional ist und ein detailgetreuer Nachbau zu aufwendig und teuer ist

Auch für Live Produktionen kann Virtual Production interessant sein, da mit Virtual Production eine Studioumgebung erstellt werden kann, ohne dass diese tatsächlich gebaut werden muss. Im Gegensatz zum Greenscreen sehen die Moderatoren durch die LED-Wall was um sie herum passiert.

Für den Aufbau eines Virtual Production Setup ist der Anwendungszweck sehr entscheidend. Produktionen die Virtual Production beispielsweise zur Erstellung einer Pre-Visualisierung nutzen, reicht in der Regel ein reduziertes Setup bei dem eine kleinere LED-Wall mit höherem Pixel Pitch ausreicht. Wer dagegen einen kompletten Kinofilm mit Virtual Production drehen will, besitzt im Idealfall das bestmögliche Setup mit großen, hochauflösenden LED-Walls. Weitere sinnvolle Einsatzzwecke für Virtual Production sind Werbespot Produktionen und Stunt-Visualisierungen (vgl. Noah Kadner, 2019).

Unterschiedliche Setups

Das mit Abstand am meisten verbreitete und bekannte Virtual Production Setup arbeitet mit einer LED-Wall, die als Kulisse im Hintergrund agiert. Dieses Setup wurde bereits im Kapitel 4.1 beschrieben. Daneben gibt es aber auch andere Möglichkeiten ein Virtual Production Setup zu gestalten. Bei Hybrid Virtual Production wird beispielsweise ein Greenscreen in Echtzeit gekeyt und gegen virtuelle Inhalte ersetzt. Auf Hybrid Virtual Production wird im Kapitel 5.4.1 detaillierter eingegangen. Egal wie ein Virtual Production Setup aussieht, schlussendlich geht es immer darum, zumindest eine

Echtzeit-Vorschau zu generieren, die zeigt wie reale und virtuelle Inhalte miteinander interagieren. Im Optimalfall wird nicht nur eine Vorschau generiert, sondern ein brauchbarer In-Kamera-Effekt, der ohne nennenswerte Postproduktion im fertigen Film verwendet werden kann. Trotzdem können Virtual Production Ansätze, bei denen lediglich eine Vorschau generiert wird, für viele Anwendungsbereiche ausreichend sein.

4.3 Vergleich gegenüber der Nutzung des Greenscreen

Trotz einiger prägnanten technischen Unterschiede sind die Anwendungszwecke von Virtual Production der einer Greenscreen Produktion sehr ähnlich. Nämlich immer dann, wenn eine virtuelle Umgebung mit realen Elementen kombiniert werden soll.

Dieses Kapitel soll die Unterschiede der beiden Produktionsarten erklären und aufzeigen, warum und wann Virtual Production eine bessere Alternative zum Greenscreen sein kann.

Mit der Erfindung des Films haben Filmschaffende wie Georges Méliès eine Möglichkeit gefunden, den Vordergrund eines Filmstreifen vom Hintergrund mit Hilfe einer Maske zu separieren (vgl. Mulack & Giesen, 2002). Anschließend wurde der separierte Vordergrund mit einem neuen Hintergrund kombiniert. Dieser neue Hintergrund bildet einen gewünschten Handlungsort ab. Durch die Kombination des Hintergrunds mit dem durch die Maske separierten Vordergrund entsteht der Eindruck, die Darsteller würden sich tatsächlich am dem im Hintergrund abgebildeten Ort befinden.

Die bekannteste und meistverwendete Möglichkeit, eine solche Maske zu erstellen, ist der Greenscreen. Mit Hilfe des Greenscreen kann der Rechner das Grün des Hintergrunds extrahieren und transparent machen. Diesen Vorgang nennt man „Keyen“ oder „Keying“ (vgl. Bertram, 2005, S. 73).

Die Nachteile des Greenscreen

Das Arbeiten mit dem Greenscreen hat nicht nur Vorteile. Die am häufigsten auftretenden Nachteile werden nun aufgelistet:

Probleme beim Keyen (Maskieren):

- **Schlechte Ausleuchtung:** Im Idealfall ist ein Greenscreen gleichmäßig ausgeleuchtet, dies ist in der Praxis aus verschiedensten Gründen nicht immer möglich. Die Folge einer schlechten Ausleuchtung ist, dass das Keyen in der

Postproduktion länger dauert und nur mit zusätzlichem Rotoscoping möglich ist. Eine „Garbage Matte“ kann hier Abhilfe leisten (vgl. Bertram, 2005, S. 74).

- **Reflexionen an Oberflächen (Bertram, 2005, S. 87):** Die große Fläche des Greenscreen hat die Eigenschaft, dass die grüne Farbe Elemente im Vordergrund indirekt beleuchtet. Aus diesem Grund müssen in der Postproduktion oft Grünstiche aus Objekten entfernt werden. Zudem spiegelt sich der Greenscreen in reflektieren Objekten, was zu Fehlern beim Keying führt und wieder Zeit in der Postproduktion kostet.
- **Transparente und lichtdurchlässige Objekte (Bertram, 2005, S. 87):** Ein seidener, lichtdurchlässiger Stoff kann beim nachträglichen Keying für Probleme sorgen, da es für den Computer schwer zu erkennen ist, was zum Vorder- und was zum Hintergrund gehört.

Probleme beim Keyen (Maskieren):

- **Lichtstimmung und Lichtrichtung (Bertram, 2005, S. 87):** Da beim Greenscreen Vorder- und Hintergrund getrennt produziert werden, kann es schnell zu Ungereimtheiten in der Lichtstimmung kommen. Es muss immer darauf geachtet werden, dass die Lichtstimmung von Vorder- und Hintergrund zueinander passt.
- **Ungewissheit am Set:** Da die Greenscreen Aufnahme erst nach dem Dreh mit dem gewünschten Hintergrund kombiniert wird, ist während des Drehs unklar, wie die Aufnahme mit dem passenden Hintergrund im Endprodukt aussieht. Diese Ungewissheit am Set kann Fehler verursachen, die anschließend in der Postproduktion Zeit und Geld kosten oder sogar zu einem Nachdreh führen (vgl. Foster, 2010).
- **Aufwendig in der Postproduktion:** Greenscreen Aufnahmen sind zwangsläufig aufwendig in der Postproduktion, da die Aufnahmen gekeyt werden müssen. Zusätzlich muss immer damit gerechnet werden, dass ein nachträgliches Colorgrading nötig ist, damit Vorder- und Hintergrund farblich zusammenpassen (vgl. Bertram, 2005, S. 87).

Virtual Production als Lösung

Virtual Production basiert nicht wie der Greenscreen auf Masken, die bestimmte Bildbereiche entfernen. Bei Virtual Production werden Vorder- und Hintergrund gleichzeitig aufgenommen. Dies nennt man einen „In-Kamera-Effekt“ (vgl. Mulack & Giesen, 2002, S. 11), bei dem

grundsätzlich kein nachträgliches Maskieren nötig ist. Der virtuelle Hintergrund wird unmittelbar am Set mit dem realen Vordergrund kombiniert. Dadurch, dass nichts mehr maskiert werden muss, fallen die üblichen Probleme beim Keyen des Greenscreen weg. Zusätzlich sorgt die abgebildete virtuelle Umgebung auf der LED-Wall für eine passende indirekte Beleuchtung auf den Objekten im Vordergrund (vgl. Kadner, 2019, S. 76). Objekte reflektieren dadurch nur das, was sie auch reflektieren sollen, es müssen keine Grünstiche mehr nachträglich entfernt werden. Diese indirekte Beleuchtung funktioniert allerdings nur, wenn die LED-Wall ausreichend hell und groß ist.

Durch die unmittelbare Kombination von Virtuellem und Realem kommt das Arbeiten mit Virtual Production dem Drehen eines Realfilms näher. Der Regisseur sieht direkt durch die Kamera, was er filmt und kann so präzise sein Framing festlegen. Auch den Darstellern wird die Arbeit erleichtert, da sie sehen, in welcher Umgebung sie sich befinden. Die Kreativität wird so gefördert. Wie beim Realfilm ist unmittelbar am Set sichtbar, wie die fertige Komposition aussieht.

4.4 Probleme von Virtual Production

Die Vorteile zum Arbeiten mit dem Greenscreen sind groß, allerdings treten bei Virtual Production andere Probleme auf. Die Probleme von Virtual Production werden im Folgenden aufgezählt:

- **Der Moiré-Effekt:** Beim Abfilmen von Displays kann schnell der Moiré-Effekt auftreten und unschöne Artefakte verursachen. Der Moiré-Effekt entsteht durch eine Überlagerung von Bildern, die Strukturen enthalten (Daniel Yoon, 2019). Diese Strukturen sind im Falle von Virtual Produktion das Pixelraster der LED-Wall und das des Kamerasensors (vgl. Noah Kadner, 2021, S. 55). Je nachdem, wie sich die beiden Pixelraster überlagern, kommt es zu unerwünschten Artefakten

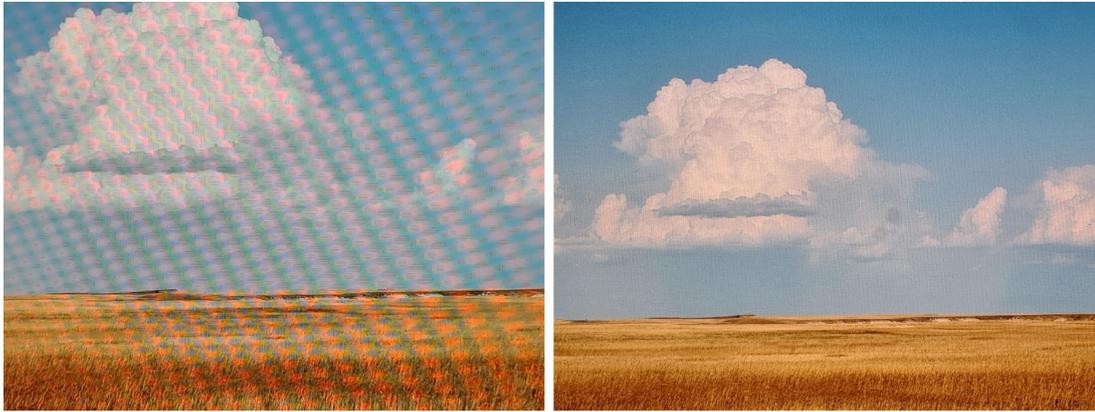


Abbildung 6: Moiré-Effekt. Auf dem linken Bild tritt der Moiré-Effekt auf. Durch das verändern der Entfernung von Kamera und Monitor konnte der Moiré-Effekt auf dem rechten Bild beseitigt werden.

Eigene Darstellung

Der einfachste Trick, um den Moiré-Effekt bei Virtual Production zu vermeiden ist es, Fokus und Blende so einzustellen, dass der Hintergrund unscharf wird. Die Unschärfe in der Tiefe sorgt dafür, dass sich das Pixelraster der LED-Wall nicht mehr mit dem des Kamerasensors überlagern kann, da es unscharf ist. Dieser Lösungsweg ist allerdings nicht optimal, da sie die Freiheit der Kameraarbeit einschränkt. Auch das Verändern der Kameraperspektive oder der Brennweite können Abhilfe schaffen, schränken aber ebenso die Kameraarbeit ein (vgl. Shenzhen Linsn LED Co.,Ltd., 2022). Grundsätzlich gilt: Je höher die Pixel Auflösung eines LED-Panels im Verhältnis zur Auflösung des Kamerasensors, desto geringer ist der Moiré-Effekt (vgl. Kadner, 2021, S. 55). Wenn es nicht möglich ist, den Moiré-Effekt beim Dreh zu vermeiden, müssen die störenden Bereiche in der Postproduktion beseitigt werden.

- **Equipmentkosten:** Bei größeren Produktionen sind diese Kosten zu vernachlässigen, da sich die Equipment Investitionen schnell durch die effiziente Dreharbeiten bei Virtual Production amortisieren. Für Independent Produktionen, kleinere Unternehmen und Institutionen wie Hochschulen können diese Equipmentkosten aber eine Barriere sein.
- **Set-Übergang von der LED-Wall zum realen Set:** Damit Virtual Production als glaubwürdiger In-Kamera-Effekt funktionieren kann, muss der Übergang vom virtuellen Hintergrund der LED-Wall auf das reale Set möglichst nahtlos funktionieren. Die Stelle, an der die LED-Wall auf dem Studioboden aufsetzt, ist der Problembereich. Wenn auf der LED-Wall beispielsweise eine Graslandschaft abgebildet ist, muss dieses Gras auch auf dem

Boden des realen Set weitergehen. Diesen Übergang fließend zu gestalten kann je nach Untergrund schwierig sein. Das Problem des Übergangs kann umgangen werden, indem ein Bildausschnitt gewählt wird, bei dem der Übergang nicht gefilmt wird.



Abbildung 7: Set-Übergang. Bei dieser Virtual Production Aufnahme ist der Übergang von realem Studio in die virtuelle Umgebung nur bei genauem Hinsehen zu erkennen.

Quelle: Epic Games

- **Maskieren im Nachhinein schwierig:** Einer der größten Vorteile von Virtual Production ist, dass der virtuelle Hintergrund direkt „In-Kamera“ mit dem realen Vordergrund kombiniert wird. Sollte nach dem Dreh auffallen, dass doch eine Separierung von Vorder- und Hintergrund nötig ist, muss dies mit dem aufwendigeren Rotoscoping geschehen (vgl. Bertram, 2005, S. 89). Ist allerdings von Anfang an klar, dass der Vordergrund maskiert werden soll, kann während der Aufnahme eine grüne oder blaue Fläche auf die LED-Wall projiziert werden, um einen Greenscreen darzustellen.



Abbildung 8: Greenscreen auf LED-Wall. Auf die LED-Wall wird ein Greenscreen lediglich an die Stelle projiziert, die von der Kamera tatsächlich gefilmt wird. Die nicht vom Greenscreen bedeckte Fläche kann so weiterhin für passende Reflektionen und indirekte Beleuchtung sorgen.

Quelle: Epic Games

4.5 Der neue Produktionsablauf bei Virtual Production

Ob ein Film mit Virtual Production, mit Greenscreen oder als Realfilm umgesetzt wird, hat starke Auswirkungen auf den gesamten Produktionsablauf. Während beim Realfilm oder bei einer Greenscreen Produktion die VFX-Departments größtenteils erst nach dem Dreh mit der Arbeit beginnen, muss bei Virtual Production ein Hauptteil der Arbeit beim Drehbeginn bereits fertiggestellt sein. Genau wie beim Bau einer physische Kulisse für einen Realfilm, muss auch die virtuelle 3D-Umgebung zum Zeitpunkt des Drehtermins fertig sein (vgl. Kadner, 2021, S. 61). Durch Virtual Production wird die Postproduktion auch zur Preproduktion.

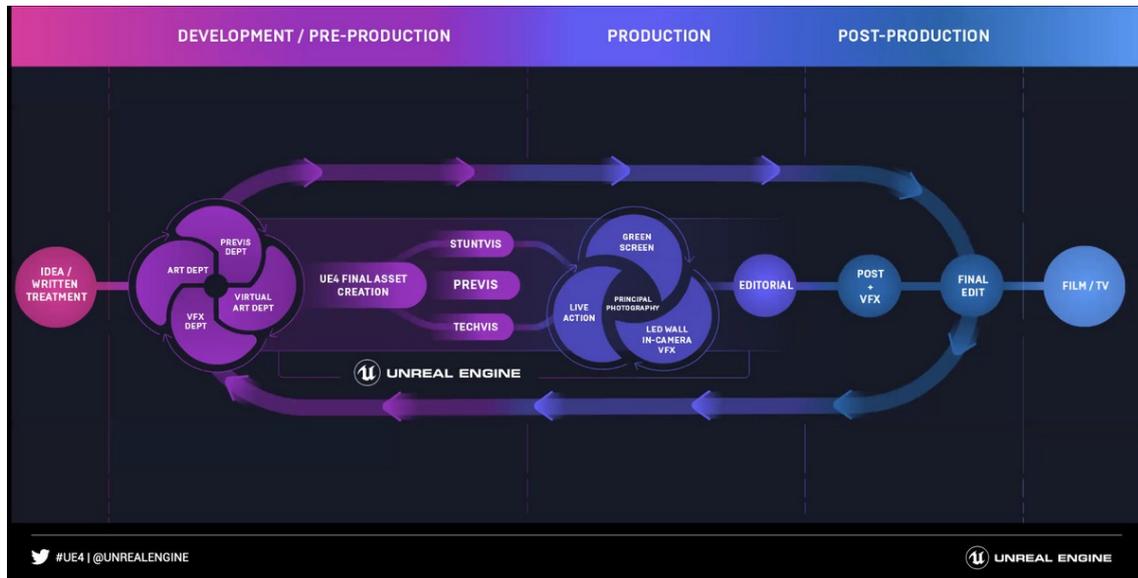


Abbildung 9: Der neue Workflow. Diese von Epic Games zu Verfügung gestellte Darstellung verdeutlicht wie CG- und VFX-Departments an dem gesamten Produktionsablauf maßgeblich beteiligt sind.

Quelle: unrealengine.com

4.6 Die Rolle von Game-Engines bei Virtual Production

Game-Engines sind dafür optimiert, ein Bild innerhalb kürzester Zeit zu rendern. Das ist nötig, damit sich in einem Videospiel die Aktionen eines Spieler unmittelbar auf die gerenderten Bilder auswirken. Da bei Virtual Production die realen Kamerabewegungen unmittelbare Auswirkungen auf eine virtuelle Umgebung haben, ist auch hier ein Rendern in Echtzeit nötig. Die normalerweise in der Filmindustrie verwendeten Render-Engines sind nicht für Echtzeitanwendungen optimiert und haben Renderzeiten, die für Virtual Production Anwendungen deutlich zu lang sind. In den vergangenen Jahren haben sich Game-Engines so schnell weiterentwickelt, dass die gerenderten Bilder eine so hohe Qualität aufweisen können, dass sie sich für Filmproduktionen eignen. Das Arbeiten mit Game-Engines im Fall von Virtual Production hat nicht nur den Vorteil das sich die virtuellen Inhalte unmittelbar an die Kamerabewegungen anpassen. Es ist zudem möglich, verschiedenste Änderungen an der virtuellen Umgebung vorzunehmen, so kann beispielsweise die Lichtstimmung oder das Wetter in Echtzeit geändert werden.



Abbildung 10: Individuelle Anpassbarkeit. Einstellungen wie die Lichtstimmung werden mit einem Tablett in Echtzeit angepasst.

Quelle: unrealengine.com

Da eine virtuelle Umgebung in der Game-Engine beliebig angepasst und gespeichert werden kann, können Nachdrehes sehr einfach umgesetzt werden. Anders als beim Realfilm lassen sich Wetterbedingungen und Lichtverhältnisse per Knopfdruck auf den selben Zustand wie beim ursprünglichen Dreh einstellen.

5. Kostengünstige Umsetzung von Virtual Production

Für große Produktionen sind die anfallenden Kosten für Equipment zu vernachlässigen, da Virtual Production selbst mit den hohen Equipmentkosten deutlich effizienter und günstiger ist als beispielsweise ein reiner Realfilm mit vielen Drehortwechseln (vgl. Noah Kadner, 2021, S. 17). Das liegt daran, dass Virtual Production ein Drehen in virtuellen Umgebungen erlaubt, bei denen ein Drehort innerhalb kürzester Zeit geändert werden kann. Alles passiert in einem einzigen Studio. Genau das ist bei einem Realfilm nicht möglich, es ist nötig von Drehort zu Drehort zu reisen, dies ist sehr kostspielig und verursacht hohe CO₂-Ausstoße (vgl. Florian Koch, 2020). Die Kosten für das Virtual Production Equipment rentieren sich also am Ende in der Produktion (vgl. Adam Forziati, 2020). Dies trifft allerdings nicht immer auf kleinere Produktionen zu, da bereits die Anschaffungs- oder Mietkosten für ein Virtual Production Studio schnell das gesamte Budget einnehmen können.

Um Lösungen für das Problem der hohen Kosten zu finden, geht diese Arbeit zwei Ansätzen nach:

1. **Equipment Alternativen:** Es wird nach günstigeren Alternativen zu dem teuren Equipment gesucht. Je nach Bedarf können so bestimmte Equipment-Bausteine gegen günstigere Alternativen ausgetauscht werden. Es wird dabei immer beobachtet, welche Auswirkungen die günstigeren Equipment-Alternativen auf die Qualität der Produktion haben.
2. **Anpassungen von Virtual Production Setups:** Es existieren verschiedenste Möglichkeiten, wie ein Virtual Production Setup aufgebaut werden kann. Je nach Setup verändert sich auch das benötigte Equipment. In dieser Arbeit werden verschiedenste Setups vorgestellt und praktisch ausprobiert. Dabei steht das Verhältnis von Qualität und anfallenden Kosten im Vordergrund der Untersuchung.

Die beiden Ansätze stehen miteinander im Verhältnis, da die günstigen Equipment-Alternativen oft in die angepassten Virtual Production Setups eingebaut werden können.

5.1 Für wen ist eine kostengünstige Umsetzung sinnvoll?

Ob ein Film mit Virtual Production, als reiner Realfilm oder mit Greenscreen Technik produziert wird, hängt von mehreren Faktoren ab. Ein wichtiger Faktor ist das Budget. Im Falle von Virtual Production stellt sich die Frage, ob sich eine Umsetzung mit Virtual Production finanziell lohnt. Die anfallenden Kosten für ein Virtual Production Studio sind gerade für Produktionen mit einem Budget unter 500 Tsd. € hoch. Die Mietkosten für eine mittelgroßes Virtual Production Studio mit LED-Wall Abmessungen von 15 m x 3,6 m liegen beispielsweise bei dem Produktionshaus „The Family“ bei 15-45 Tsd. \$ pro Tag (vgl. The Family, 2022). Die Wochenpreise strecken sich so auf 105 Tsd. bis 315 Tsd. \$. Diese Kosten sind auch bei vergleichbaren Studios nicht günstiger, das Studio 80six berechnet beispielsweise ca. 20-25 Tsd. € pro Tag für eine 18 m x 4,5 m große LED-Wall (vgl. Anhang 1).

Neben dem Mieten eines Studios gibt es die Möglichkeit, sich ein eigenes Virtual Production Studio aufzubauen. Die Vorteile hierbei sind, dass ein Virtual Production Studio individuell auf das jeweilige Projekt zusammengestellt werden kann. So kann bei Bedarf auch auf günstigeres Equipment gesetzt werden. Bei der Produktionsplanung

muss abgewägt werden, wie viel Kosten durch Virtual Production anfallen und gespart werden. Die anfallende Kosten können je nach Setup stark variieren. Während das Virtual Production Set der Hollywood Production „The Mandalorian“ (Joe Favreau et al. 2019) mehr als 100 Mio. € kostet (vgl. DOIT VISION, 2021), gibt es auch Möglichkeiten einen Virtual Production Dreh mit weniger als 5.000 € zu realisieren. Dafür müssen allerdings einige Tricks und Umwege zur Kosteneinsparung angewendet werden.

5.2 Warum sind die Kosten hoch?

Für ein LED-Wall basierendes Virtual Production Setup ist eine Reihe von Equipment nötig:

Tabelle 1: Virtual Production Gear

Stage and virtual production	
LED Display Wall	LED modules, processors, rigging, high-end workstations
Brain Bar	High-end workstations, video assist
Tracking	Inertial, optical, and encoder-based solutions
Networking Infrastructure	Used for production and editorial to move media/loads. For data-intensive workflows like mocap, an isolated network with high bandwidth switches is needed
Sync/Timecode	Genlock and time code hardware required to keep all acquired data in sync and lined up
Lens Data	Tracking of focus, iris, and zoom to determine lens distortion, field of view, camera nodal point

Quelle: Kadner, 2021, S. 59

Bei dem in Tabelle 1 aufgelisteten Equipment stellen insbesondere die LED-Wall, das Tracking-System und die Brain Bar einen großen Kostenaufwand dar. Im Folgenden werden die anfallenden Kosten für diese Equipment-Bausteine genauer analysiert.

5.2.1 LED-Wall

Die anfallenden Kosten einer LED-Wall sind stark von der Größe (Anzahl der benötigten Display-Panels) und dem Pixel Pitch abhängig. Um einen Eindruck über die anfallenden Kosten zu bekommen, werden die Preise und Produkte des professionellen Herstellers für Display-Panels „ROE Visual“ herangezogen (vgl. ROE Visual, 2022). Das Display-Panel „Ruby RB 2.3“ von ROE Visual wird für professionelle

Studios wie „Dark Bay“ verwendet (vgl. DARK WAYS Group, 2022). Das Ruby RB 2.3 ist ein für Virtual Production optimiertes Display-Panel, welches einen Pixel Pitch von 2,3 mm besitzt und 50 x 50 cm groß ist. Die Kosten pro Display-Panel liegen bei 2290 € (vgl. Anhang 7). Elektronik-Zubehör, Kabel und Halterungen sind in diesem Preis nicht einbegriffen. Um beispielsweise eine 15 x 3 m große LED-Wall auszustatten, wären 180 Display-Panels nötig, dadurch würde ein Preis von 412 200 € entstehen. Das Display-Panel „Ruby RB 1.5“ von ROE Visual hat einen niedrigeren Pixel Pitch von 1,5 mm und kostet pro 50 x 50 cm Panel 3285 € (vgl. Anhang 7). Insbesondere der Pixel Pitch ist für die Preisgestaltung entscheidend, je niedriger der Pixel Pitch, desto höher der Preis.

Videoprozessoren für die LED-Wall

Eine LED-Wall ist in der Regel aus vielen einzelnen Display-Panels zusammengesetzt. Ein Videoprozessor sorgt dafür, dass alle Display-Panels miteinander verbunden sind und zu einer Einheit werden. Zudem ermöglichen Videoprozessoren das Drehen von Videos, das Überlagern oder Einblenden von Inhalten und andere benutzerdefinierte Effekte (vgl. Steve Nicola, 2018). Die Kosten für einen Videoprozessor liegen meist in der Preisspanne von 15 – 80 Tsd. \$, die Kosten sind abhängig von der Komplexität der LED-Wall (vgl. Steve Nicola, 2018). Ein professioneller Videoprozessor der Firma Megapixel, der dazu in der Lage ist eine 8K Konfiguration mit über 32 Mio. Pixeln zu betreiben kostet ungefähr 35 Tsd. \$ (vgl. Anhang 2). Es gibt zwar Videoprozessoren die deutlich unter der 15 Tsd. \$ Marke liegen, nach Erfahrungen von Steve Nicola muss dann allerdings mit klaren Qualitätseinbußen gerechnet werden, die den gewünschten Effekt zerstören können (vgl. Steve Nicola, 2018).

5.2.2 Brain Bar und Render Nodes

Um einen Eindruck über die anfallenden Kosten für Brain Bar und Render Nodes zu bekommen, wird das verwendete Equipment des in Potsdam sitzenden Virtual Production Studio „Dark Bay“ analysiert. Das Dark Bay studio verwendet für die Brain Bar acht Workstations die jeweils mit leistungsstarken Komponenten wie dem AMD Threadripper Pro und einer NVIDIA RTX A5000 ausgestattet sind (vgl. DARK WAYS Group, 2022). Die Kosten dafür betragen grob gerechnet 60 Tsd. € (vgl. Anhang 3) . Zum Rendern der virtuellen Inhalte werden bei Dark Bay insgesamt 20 Render Nodes verwendet, welche jeweils mit den leistungsstarken NVIDIA RTX A6000 Grafikkarten ausgestattet sind (vgl. DARK WAYS Group, 2022). Die Kosten für alle 20 Render Nodes liegen grob gerechnet bei 130 Tsd. € (vgl. Anhang 3). Bei diesen

Equipmentkosten sollte erwähnt werden, dass das Dark Bay Studio mit seiner, im Umkreis 55 Meter messenden LED-Wall ein sehr großes Virtual Production Studio ist. Für eine LED-Wall dieser Größe mit einem Pixel Pitch von 2,3 mm müssen über 70 Mio. Pixel berechnet werden (vgl. DARK WAYS Group, 2022). Eine kleinere 15 x 3,6 m große LED-Wall mit einem 2,3 mm Pixel Pitch würde beispielsweise nur auf eine Pixelanzahl von 10,2 Mio. kommen. Grundsätzlich sind Anzahl und Kosten für Workstations und Render Nodes stark von der Größe und Auflösung der verwendeten LED-Wall und den Leistungsanforderungen der jeweiligen virtuellen Umgebung abhängig. Bei einem kleineren Virtual Production Projekt, welches eine niedriger auflösende LED-Wall verwendet, können beispielsweise schon zwei bis fünf Rechner ausreichen.

5.2.3 Kamera-Tracking-System

Auch für ein professionelles Tracking-System muss mit Kosten im Bereich von 15 – 125 Tsd. € gerechnet werden. Die Preisspanne ist so hoch, da der finale Preis von verschiedenen Faktoren wie der Tracking-Fläche oder der Latenzzeit des Systems abhängen. Ein professionelles, Virtual Production taugliches Tracking-System des Herstellers OptiTrack™ beginnt beispielsweise bei 17 Tsd. \$ (vgl. NaturalPoint Inc., 2023). In diesem Preis sind sechs „Prime^x 13“ Kameras einbegriffen, mit denen einen Bereich von 4 x 4 Meter getrackt werden kann (vgl. NaturalPoint Inc., 2023). Für einen größeren Tracking-Bereich von 15 x 15 Metern werden 48 Tracking-Kameras benötigt und der Preis steigt auf 125 Tsd. \$ (vgl. NaturalPoint Inc., 2023).

5.2.4 Weitere Kosten

Weitere Kosten können beispielsweise für Netzwerkinfrastrukturen und den Sync/Timecode anfallen. Mit dem Sync/Timecode können einzelne Komponenten wie LED-Wall oder Tracking-System miteinander kommunizieren und synchron sein. Zusätzliche Kosten können außerdem dann anfallen, wenn Kamera-Daten wie Fokus oder Blende auf eine virtuelle Kamera in der Game-Engine übertragen werden sollen.

5.2.5 Allgemeine Kosten

Bei einem Virtual Production Dreh fallen neben den spezifischen Virtual Production Kosten (LED-Wall, Tracking-System usw.) auch allgemeine Kosten an, die bei jeder Filmproduktion entstehen können. Dies umfasst zum Beispiel Kosten für Kameras, Objektive, Stative oder

Lichter. Auch wenn diese Kosten bei Virtual Production relevant sind, werden sie in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, da das spezifische Virtual Production Equipment für den kosteneffizienten Ansatz entscheidender ist.

5.3 Alternativen zu teurem Equipment

5.3.1 Kostengünstiges Kamera-Tracking

Eine einfache und gerne verwendete Möglichkeit ein günstiges Tracking-System zu realisieren ist, Virtual-Reality-Headsets und deren Controller und Tracker zu verwenden. Um Virtual-Reality Anwendungen zu realisieren ist es nötig, Kopf- und Handbewegungen des Spielers aufzuzeichnen. Dafür wird ein Tracking-System verwendet, welches auch für Virtual Production Anwendungen zweckentfremdet werden kann. Hierfür ist der Tracker des HTC-Vive System gut geeignet. Das Tracking-System der HTC-Vive arbeitet mit sogenannten Base-Stations, die im Raum aufgestellt werden und die Position des Trackers ermitteln. Die Kosten eines Virtual-Reality System liegen beispielsweise bei der HTC-Vive Pro bei 1000 € (Preis von idealo.com, Stand: 15.01.2023). Die Qualität der Daten eines Virtual-Reality Tracking-Systems kommt nicht an die Qualität eines professionellen Tracking-Systems heran. Es kann beispielsweise zu Rucklern, kurzen Aussetzern oder ungewollten Bewegungen kommen. Ungewollte Ruckler die durch ein solches Tracking-System entstehen, können beispielsweise mit einem Lerp Transform in einem Unreal Blueprint reduziert werden. Allerdings entsteht bei einem nachträglichen Begradigen von Rucklern eine kleiner Zeitversatz.

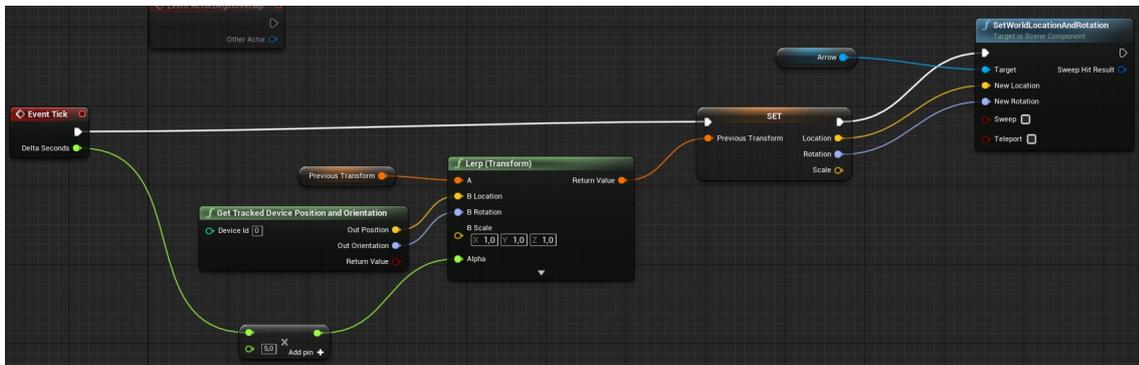


Abbildung 11: Lerp Blueprint. Ein Blueprint in Unreal sorgt dafür, dass die Input Daten des HTC-Vive Tracker mit einem Lerp Transform geglättet werden. Über den Alpha Input des Lerp Node kann die Stärke des Effekt festgelegt werden, umso stärker der Glättungs Effekt, desto träger und zeitversetzter wird das Ergebnis.

Eigene Darstellung aus der Unreal Engine 5

Ein weiterer Nachteil von Virtual-Reality Tracking-Systemen ist, dass in gewissen Abständen eine Neukalibrierung notwendig werden kann. Diese kostet Zeit und kann eine Produktion zu einer ungewollten Pause zwingen. Um die Entscheidung treffen zu können ob es Sinn macht, auf ein Tracking-System von einem VR-Headset zu setzen, sollten im Vorhinein Tests bezüglich der Tracking-Qualität gemacht werden. Bei einer professionellen Produktion ist es empfehlenswert mindestens eine Person zu haben, die sich ausschließlich um die Wartung des Virtual-Reality Tracking-System kümmert.



Abbildung 12: Kamera Rig. Simple Kamera Setup welches mit einem HTC-Vive Tracker arbeitet. Das Kamera Rig besteht lediglich aus Vive-Tracker und Monitor, da ausschließlich in einer virtuellen Umgebung gefilmt wird.

Eigene Darstellung

Das Unternehmen HTC hat den Umstand erkannt, dass viele Filmemacher Virtual-Reality Systeme für ihr Kamera-Tracking benutzen. Als Reaktion wurde das „Vive Mars CamTrack“ System vorgestellt. Dieses Tracking-System ist für Kamera-Tracking und Virtual Production ausgerichtet und soll Probleme von den Virtual-

Reality Systemen lösen. Preislich liegt dieses System bei 5000 € (Preis von myshop.vive.com, Stand: 17.01.2023).

5.3.2 Kostengünstige LED-Wall

Fernseher / Monitor (Mini Virtual Production)

Eine sehr kostengünstige Methode zum Praktizieren von Virtual Production besteht daraus, anstelle einer professionellen LED-Wall einen handelsüblichen Monitor zu benutzen. Diese Methode ist allerdings nur für das Filmen kleiner Vordergrundobjekte sinnvoll.

Für die Produktion eines Werbespots für ein kleines Produkt wie beispielsweise einen Sportschuh, kann es sich durchaus lohnen auf einen einfachen Monitor zu setzen.



Abbildung 13: Improvisierte LED-Wall. Ein Virtual Production Setup mit einem handelsüblichen 28 Zoll Monitor.

Eigene Darstellung (vgl. Anhang 5 für mehr Informationen)

Handelsübliche Monitore haben meist eine PPI (Pixel per inch) zwischen 80 – 160 (vgl. Manuel Christa, 2022). Diese Werte entsprechen umgerechnet einem Pixel Pitch von 0,317 - 0,158 mm. Ein 27 Zoll 4k Monitor hat beispielsweise einen Pixel Pitch von nur 0,156 mm. Eine hochauflösende LED-Wall hat dagegen einen Pixel Pitch von 0,9 – 1,5 mm (vgl. Mike Walsh, 2020). Der deutlich geringere Pixel Pitch eines handelsüblichen Monitors ist bei einer Virtual Production Anwendung auch zwingend nötig, da aufgrund der Displaygröße ein deutlich kleinerer Abstand von Monitor zu Kamera bestehen muss.



B-Tech BT8370 3x3

Abbildung 14: Video Wall 3 x 3.

Quelle: www.monitorhalterung.de

Anders als bei Display-Panels für Virtual Production lassen sich mehrere Monitore nicht sinnvoll zu einer größeren Fläche zusammensetzen, da selbst bei schmalen Displayrändern unschöne Gitter entstehen (vgl. Abbildung 14). Auch die Helligkeit von handelsüblichen Monitoren unterscheidet sich von professionellen LED-Wall Panels. Die maximale Helligkeit eines handelsüblichen Monitors liegt meist im Bereich von 200 – 500 Nits. Dagegen haben LED-Wall Display-Panels Werte von 1200 – 5000 Nits (vgl. Theresa Gereke, 2020). Dieser deutliche Unterschied wird teilweise dadurch kompensiert, dass bei einem Aufbau mit einem kleinen Monitor der Abstand von Vorder- und Hintergrund deutlich geringer ist als bei einer großen LED-Wall.

Versuchsaufbau mit Monitor

Für einen Versuchsaufbau (vgl. Anhang 5) habe ich unter anderem versucht, das Modell einer Kirche (Maßstab 1:87) mithilfe eines 28 Zoll 4k Monitors in eine virtuelle Umgebung zu integrieren (vgl. Abbildung 13). Als Tracking-System diente ein HTC-Vive Tracker. Der Abstand von Kamera und Monitor betrug lediglich 30 - 50 cm. Durch den geringen Pixel Pitch des Monitors von 0,161 mm, war die Auflösung hoch genug, dass der Moiré-Effekt nur in geringem Maße aufgetreten ist. Eine indirekte Beleuchtung ist bei dem Versuch nur schwer zu erkennen, da die Leuchtkraft des Monitor lediglich 300 Nits beträgt. Bei den Versuchen mit einem gläsernen Objekt sind die Vorteile von Virtual Production durch die realistischen Reflektionen gut sichtbar.



Abbildung 15: Glas-Reflexionen. Realistische Interaktion von Glas mit dem virtuellen Hintergrund. Dies wäre beim Arbeiten mit einem Greenscreen so nicht möglich.

Eigene Darstellung (vgl. Anhang 5)

Aufgrund der sofortigen Verfügbarkeit und der niedrigen Kosten eines handelsüblichen Monitors eignet sich diese Methode für Schüler und Studenten, die erste praktische Erfahrungen mit dem Thema Virtual Production machen wollen. Allerdings kann sich diese Methode auch für professionelle Produktionen eignen, vorausgesetzt die zu filmenden Vordergrundelemente sind relativ klein.

Beamer / Kurzdistanz-Beamer

Anstelle einer LED-Wall kann für Virtual Production auch ein Beamer verwendet werden. Dies hat einige Vorteile aber auch klare Nachteile. Ein großer Vorteil liegt darin, dass das Arbeiten mit einem Projektor deutlich günstiger sein kann, als auf eine professionelle LED-Wall zu setzen. Da bei Virtual Production immer Vorder- und Hintergrund zusammen aufgenommen werden, kann es beim Arbeiten mit Beamern passieren, dass Vordergrundobjekte Schatten auf die Leinwand werfen und so den In-Kamera-Effekt zerstören. Um diesem Problem entgegenzuwirken, können sogenannte Kurzdistanz-Beamer verwendet werden, hierbei ist der Abstand von Leinwand und Projektor so gering, dass Vordergrundobjekte selbst bei geringem Abstand zu der Leinwand keinen Schatten mehr werfen.

Ein weiterer Nachteil beim Verwenden von Beamern ist, dass selbst die hellsten Beamer nicht an die Leuchtkraft einer LED-Wall herankommen, da eine Leinwand lediglich das Licht des Beamers reflektiert, während eine LED-Wall das Licht direkt emittiert (vgl. Mike Walsh, 2020). Das erwünschte indirekte Beleuchten von

Vordergrundelementen wird daher beim Arbeiten mit Projektoren erschwert. Zudem kann der Hintergrund im Vergleich zum Vordergrund schnell unterbelichtet wirken. Ein weiteres Problem tritt dann auf, wenn mehrere Projektoren benötigt werden um eine große Hintergrundfläche auszufüllen. Die Projektoren so einzustellen, dass sich die unterschiedlichen Projektionsflächen nicht überlappen und nahtlos ineinander übergehen ist aufwendig und erfordert spezielle Software (vgl. Sun et al., 2008). Außerdem können bei der Projektion unschöne Verzerrungen auftreten, besonders dann, wenn die Projektionsfläche gewölbt ist.

5.4 Kosteneinsparung durch Virtual Production Setups

5.4.1 Hybrid Virtual Production

Bei Hybrid Virtual Production wird eine Greenscreen Aufnahme in Echtzeit gekeyt und durch einen virtuellen Hintergrund ersetzt, der in Echtzeit in einer Game-Engine erzeugt wird (vgl. Noah Kadner, 2019, S. 16). Dieses Hybrid Model aus Virtual Production und Greenscreen ist hilfreich, da Filmemacher durch das Live-Compositing sehen können, wie der reale Vordergrund mit dem Hintergrund interagiert. Hybrid Virtual Production verbindet die klassische Greenscreen Produktion mit den Vorteilen von Virtual Production. Der klare Nachteil bei Hybrid Virtual Production liegt darin, dass alle in Kapitel 4.3 beschriebenen Nachteile beim Greenscreen Keying auftreten. Auch eine Indirekte Beleuchtung wie bei einer LED-Wall ist nicht vorhanden.



Abbildung 16: Hybrid Virtual Production. Links: Die rohe Greenscreen Aufnahme. Rechts: Die in Echtzeit gekeyte Aufnahme mit dem in Unreal Engine gerenderten 3D-Hintergrund. Neben dem Keying ist auch ein Colorgrading in Echtzeit möglich.

Eigene Darstellung

Genau wie bei der LED-Wall basierten Virtual Production wird auch bei Hybrid Virtual Production die Position der Kamera getrackt, damit sich der virtuelle Hintergrund perspektivisch passend bewegt. Für Produktionen die bereits viel mit einem Greenscreen gearbeitet haben und benötigte Ausstattung besitzen, kann sich Hybrid Virtual Production lohnen. Da die hohen Kosten für eine LED-Wall und deren Videoprozessor wegfällen, kann Hybrid Virtual Production die Kosten bei einer Produktion maßgeblich senken. Auch für Hochschulen und Virtual Production Lernende kann Hybrid Virtual Production ein guter Einstieg in die Thematik sein, da die Vorgehensweise einem LED-Wall basiertem Setup an vielen Stellen nahe kommt.

5.4.2 Kamera-Tracking mit Echtzeit-Vorschau

Dieses Virtual Production Setup ist relativ simpel. Es wird eine virtuelle Umgebung mit einem Tracker gefilmt. Da es zu keiner Kombination von Realem und Virtuellem kommt, wird keine echte Kamera benötigt. Dieses Setup ist aufgrund der Einfachheit sehr kostengünstig umsetzbar, eignet sich aber nur für reine CGI-Projekte, die ohne die Integration von realen Schauspielern und Objekten auskommen.

Das benötigte Equipment ist kostengünstig beschaffbar:

- Tracking-System (z.B. Vive Tracker)
- Monitor (für Vorschau)
- Brainbar mit mindestens einer Workstation

Theoretisch könnte dieses Setup mit nur einer Workstation realisiert werden, vorausgesetzt die virtuelle Umgebung ist nicht zu rechenintensiv.

Der Vorteil des Setups ist, dass Kamerabewegungen nicht im 3D-Raum animiert werden müssen, sondern im Studio aufgezeichnet werden. So kommt die Kameraarbeit auch bei reinen CGI-Projekten der eines Realfilms näher.

5.4.3 Leistungsanforderungen mit Matte Paintings senken

Das verwenden von Matte Paintings ist im VFX Bereich schon lange etabliert und kann auch bei Virtual Production Anwendung finden. Meistens besteht eine virtuelle Umgebung komplett aus 3D-Geometrie, dies kann allerdings bei einer Vielzahl von Objekten oder bei aufwendigen Landschaften viel Rechenleistung erfordern. Wer die

Leistungsanforderungen der virtuellen Drehorte reduzieren will, kann Matte Paintings in die 3D-Umgebung einbauen. Gerade bei komplexen Landschaften im Hintergrund kann es sich lohnen Matte Paintings zu verwenden. Ist beispielsweise im Hintergrund eine Waldlandschaft zu sehen, werden hierfür schnell einige hundert 3D-Bäume benötigt, ein Matte Painting ist in diesem Fall deutlich leistungs-effizienter, da lediglich eine 3D-Plane mit Textur gerendert werden muss. Ein solches Vorgehen kann bei geschickter Anwendung nicht nur die Leistungsanforderungen senken, sondern auch zu überzeugenden Ergebnissen führen, gerade weil das Verwenden von Matte Paintings in der VFX-Branche etabliert und erprobt ist.

6. Schlussbetrachtung

6.1 Zusammenfassung und Erkenntnisse meiner Forschung

Wer Kosten bei Virtual Production reduzieren möchte, muss oft Umwege gehen, da bereits etablierte Workflows auf die Kosteneffizienz angepasst werden müssen. Die in der Arbeit vorgestellten Alternativen zu dem teurerem Equipment kommen meist mit Einschränkungen daher. Wer beispielsweise ein HTC-Vive Tracking-System benutzt, muss bei Bedienbarkeit und Tracking-Qualität Abstriche im Vergleich zu einem professionellen Tracking-System machen. Diese Einschränkungen von günstigerem Equipment müssen nicht zwingend bedeuten, dass die Qualität des Endergebnisses darunter leidet. Wem die technischen Einschränkungen und Probleme des jeweiligen Equipments bewusst sind, kann darauf reagieren und die Produktion so umsetzen, dass die Probleme im finalen Ergebnis nicht zu Tage kommen. Dies gilt nicht nur für kostensparende Ansätze sondern für jede virtuelle Produktion. Wird beispielsweise mit einer LED-Wall gearbeitet, muss dem Team klar sein, was der Moiré-Effekt ist und wie man ihn umgehen kann. Bei einem auf Kosteneffizienz optimierten Virtual Production Setup, muss immer beobachtet werden, ob das günstigere Equipment die Kreativität einschränkt. Entschließt sich eine Produktion zum Beispiel dazu, eine kleine LED-Wall zu verwenden um Kosten zu senken, kann dies die Bewegungsmöglichkeit der Kamera deutlich einschränken.

Da jede Produktion andere Anforderungen hat, ist es unmöglich eine pauschale Aussage darüber zu treffen, wie viel Geld durch die Möglichkeiten zur Kostenreduzierung eingespart werden kann. Das Gleiche gilt auch für die Gestaltung des Virtual Production Setup.

Ein Faktor der darüber entscheiden kann, ob es Sinn macht, auf günstiges Equipment zu setzen, ist die Experimentierfreudigkeit und Risikobereitschaft der jeweiligen Produktion. Eine kleine Independent Produktion ist wahrscheinlich eher dazu bereit, neue Wege zur Kostenreduzierung auszuprobieren als ein Unternehmen, welches Kundenanforderungen erfüllen muss. Um ein kosteneffizientes Virtual Production Setup aufzubauen, muss genaustens klar sein, welche Anforderungen das jeweilige Filmprojekt hat und welche Einstellungen mit Virtual Production umgesetzt werden sollen. Dazu ist es sehr wichtig in der Planungsphase Jemanden im Team zu haben, der sich mit den unterschiedlichen Möglichkeiten auskennt, wie Virtual Production praktiziert werden kann. Diese Erfahrungswerte sind wichtig, um abschätzen zu können, welches Equipment tatsächlich benötigt wird und auf was verzichtet werden kann.

6.2 Fazit und Ausblick in die Zukunft

Fazit: Die Qualität des Endresultates bei Virtual Production hängt sehr stark von dem jeweiligen Anwender ab. Selbst das größte und modernste Virtual Production Studio wird keine ordentlichen Ergebnisse produzieren, wenn es nicht von kompetenten Filmemachern bedient wird. Auf der anderen Seite ist es erstaunlich, welche überzeugenden Resultate einige Filmemacher mit einem Minimum an Equipment erzeugen. Um Virtual Production auf kostengünstige Weise praktizieren zu können, ist es wichtig, die Nachteile von Virtual Production zu verstehen und geschickt zu umgehen. Virtual Production und die gesamte dahinterstehende Technik dient dazu, die Kreativität und künstlerische Freiheit bei Filmemachern zu fördern.

Ausblick in die Zukunft: Aktuell ist zu beobachten, dass Virtual Production bei immer mehr Filmproduktionen zum Einsatz kommt. Mal wird Virtual Production lediglich bei einigen Drehorten angewendet. Bei der Netflix Produktion „Im Westen nichts Neues“ (Berger & Dreifuß et al., 2022) wurde beispielsweise nur eine Zug-Szene mit Virtual Production umgesetzt. Andere Produktionen wie die Netflix Serie „1899“ (Baran bo Odar, 2022) oder die Serie „The Mandalorian“ (Joe Favreau et al., 2019) verwenden Virtual Production

bereits für große Teile der Produktion. Die Vorteile am Set von Virtual Productions sind gerade im Vergleich zum Greenscreen hoch. Es ist vorstellbar, dass Virtual Production in der Zukunft eine immer größere Rolle bei Filmproduktionen einnehmen wird. Dies gilt besonders dann, wenn viele der aktuellen technischen Probleme in den nächsten Jahren gelöst oder zumindest reduziert werden können. Je weiter sich Virtual Production bei professionellen Produktionen etabliert, wird es sich wahrscheinlich auch bei Low-Budget und Independent Filmproduktionen weiter verbreiten. Es gibt bereits jetzt viele Möglichkeiten und Ansätze Virtual Production mit wenig Budget zu praktizieren. umso größer die Community an Virtual Production Interessierten Filmemachern wächst, desto mehr Erfahrungen und Tipps können ausgetauscht werden.

Mehr Kreativität am Set ist einer der entscheidenden Vorteile von Virtual Production, der meiner Meinung nach dafür sorgen wird, dass auch kleinere Produktionen mehr und mehr auf Virtual Production setzen werden. Interessant und nicht zu unterschätzen ist auch der umweltschonende Effekt von Virtual Produktion im Vergleich zum Realfilm. Das umweltschädliche Reisen von Drehort zu Drehort ist dank Virtual Production nicht mehr nötig, da alles in einem Studio gedreht werden kann (vgl. Jazz Tangcay, 2022). Da Klimaschutz höchstwahrscheinlich auch in der Zukunft ein großes Thema bleiben wird, ist dieser Aspekt nicht zu unterschätzen. Der CO₂ sparende Effekt von Virtual Production ist allerdings eher als positiver Nebeneffekt anzusehen, da es den Produktionen hauptsächlich um die höhere zeitliche Effizienz, das gesparte Geld und die kreativen Möglichkeiten von Virtual Production geht.

7. Praktischer Teil: Animationsfilm “Mr. Sandman (AT)”

7.1 Die Handlung

Der Sandmann ist als freundliche Figur bekannt, die kleinen Kindern Gute-Nacht-Geschichten erzählt. Doch dies war nicht immer so. In dem Motion-Capture Animationsfilm „Mr. Sandman (AT)“ wird die Herkunft des Sandmannes in einem düsteren Licht erzählt.

Der Sandmann verkörpert den Schlaf und ist der Zwillingsbruder vom Tod. Die Aufgabe des Sandmanns ist es, Kinder zu entführen, die nicht schlafen können. Er bringt die Kinder in einen dunklen Märchenwald zum Tod. Die beiden Brüder stehen unter der Macht ihrer Schwester Ker, die sich von den Seelen der Kinder ernährt.

Eines Tages entführt der Sandmann ein Kind namens Mia in den Märchenwald. Mia unterscheidet sich von den anderen Kindern, die der Sandmann bisher entführt hat. Wegen ihr beginnt er erstmals seine Taten zu hinterfragen und weigert sich letztlich, Mia an den Tod auszuliefern. Als die Schatten des Märchenwaldes nach der jungen Seele von Mia suchen, kommt Hilfe von unerwarteter Stelle für den Sandmann und Mia: Frau Holle versteckt Mia und zeigt dem Sandmann, dass er nicht mehr bei den finsternen Mächten seiner Geschwister mitmachen muss.

Am Ende entsteht ein Kampf zwischen den drei Geschwistern, die dunklen Mächte werden schließlich vom Sandmann und Frau Holle besiegt. Der Sandmann wird so zu der guten Figur, die wir bis heute kennen.

7.2 Das Team

Als Malte Habighorst mir von seiner Idee erzählte, einen Animationsfilm über die Figur des Sandmanns zu produzieren. Ich war von der Idee sofort angetan und wir beschlossen ein Team zu gründen. Innerhalb einiger Monate wuchs das Team auf eine Größe von fünf Personen.

Aufgrund der Tatsache, dass unser Team klein ist, war eine klare Einteilung in Departements nur grob möglich. Jedes Teammitglied war an verschiedenen Produktionsschritten beteiligt. Wir mussten flexibel sein und je nach Bedarf in die verschiedensten Aufgabenbereiche einspringen, damit die umfangreiche Produktion gelingen konnte.

Das Team:

Malte Habighorst (CG-Department, Drehbuch)

Julia Holzweißig (Kamera, Regie, Drehbuch)

Leonie Koch (CG-Department)

Dennis Prüßmeier (CG-Department)

Jan Andres Reinschmidt (CG-Department)

7.3 Die Figur des Sandmanns

Die Historie der Figur des Sandmanns ist äußerst interessant, da sich die Charaktereigenschaften je nach Geschichte und Zeitpunkt der Erzählung stark unterscheiden. Um einen Überblick über die verschiedenen Erzählungen über den Sandmann zu bekommen, habe ich eine Zusammenstellung der bedeutendsten Erscheinungen des Sandmanns in der Sagen-, Literatur- und Filmgeschichte erstellt:

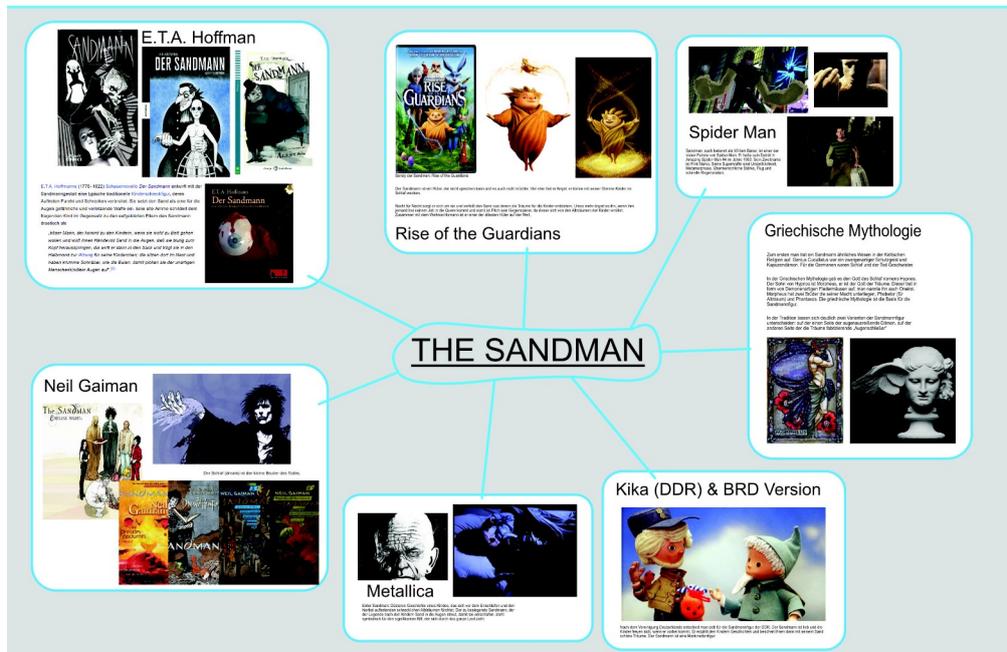


Abbildung 17: Die verschiedenen Charaktere des Sandmanns. Größere Ansicht im Anhang 6.

Eigene Darstellung (vgl. Anhang 6)

7.4 Besonderheiten bei der Produktion

Unsere Produktion unterscheidet sich in einigen Punkten von einer klassischen Animationsfilm-Produktion. Für die Animation haben wir ein Motion-Capture System verwendet. Die virtuellen Kameras haben wir mit einem separaten Tracking-System aufgezeichnet. Außerdem wird ein Großteil des Film in der Game-Engine Unreal-Engine umgesetzt. Durch die Echtzeit-Fähigkeiten der Game-Engine und des Motion-Capture Systems konnten wir unmittelbar während der Dreharbeiten eine Live-Vorschau generieren, die unsere 3D-Charaktere in der finalen virtuellen Umgebung zeigt. Auch die getrackten Kamerabewegungen flossen in diese Live-Vorschau ein. Durch dieses Zusammenspiel verschiedenster Techniken, konnten wir

in Echtzeit sehen wie sich die Bewegungen von Schauspielern und Kamera auf die 3D-Szene ausgewirkt haben.

Motion-Capturing

Das Motion-Capture System von der Firma „Captury“ erlaubt es, Bewegungen von Schauspielern aufzuzeichnen, ohne dass diese einen speziellen Anzug mit Markern tragen müssen. Das Tracking funktioniert über mehrere Kameras, welche die Darsteller aus unterschiedlichen Richtungen aufzeichnen und daraus deren 3D-Position berechnen. Die Daten des Motion-Capture System waren nicht immer perfekt und mussten teilweise in der Postproduktion korrigiert werden, trotzdem hat uns das System viel Arbeit und Zeit in der Animation erspart. Allerdings zeichnet das Motion-Capture System nur die Bewegungen des Körpers ohne das Gesicht auf.

Kamera-Tracking

Die Kamerabewegung für die virtuelle Kamera haben wir mit dem Tracking-System der HTC-Vive aufgezeichnet. Die aufgezeichneten Kamerabewegungen wurden in Echtzeit auf die virtuelle Kamera in der Game-Engine übertragen, welche die virtuellen Drehorte filmt. Dadurch konnte unsere Kamerafrau Jules in Echtzeit sehen, wie sich ihre Kamerabewegungen auf die virtuellen Drehorte auswirken.

Virtual Production Parallelen

Viele der beschriebenen Techniken wie beispielsweise das Kamera-Tracking oder das Verwenden der Game-Engine werden auch für Virtual Production verwendet. Auch der gesamte Produktionsablauf erinnert an einen Virtual Production Dreh, da alle 3D-Assets und virtuellen Umgebungen bis zum Drehtermin in einem fortgeschrittenen Zustand sein mussten, damit eine brauchbare Vorschau erzeugt werden konnte. Dies war insbesondere für das CG-Department eine zeitliche Herausforderung. Für die Live-Vorschau war das Rendern in der Game-Engine aufgrund der Echtzeit-Fähigkeit nötig. Für das finale Rendering hätten wir aber auch klassische Render-Engines wie V-Ray oder Arnold nehmen können. Wir haben uns allerdings dagegen entschieden, da wir von den kurzen Renderzeiten profitieren wollten und allgemein sehr an den Möglichkeiten von Game-Engines interessiert sind.

7.5 Produktionsablauf

Der Produktionsablauf konzentriert sich auf die Bereiche, an denen ich selber maßgeblich beteiligt war.

7.5.1 Ideenfindung / Moodboard



Abbildung 18: Moodboard Sandmann.

Eigene Darstellung

Das Moodboard soll einen Eindruck über den Stil und die Wirkung vermitteln, die wir mit dem Film erzeugen wollen. Die Stimmung ist im allgemeinen düster und gruselig. Im Laufe des Projekts sind mehrere Moodboards in verschiedensten Bereichen wie Environment-Creation oder Charakterdesign entstanden.

7.5.2 Charakterdesign (Sandmann, Mia, Ker)

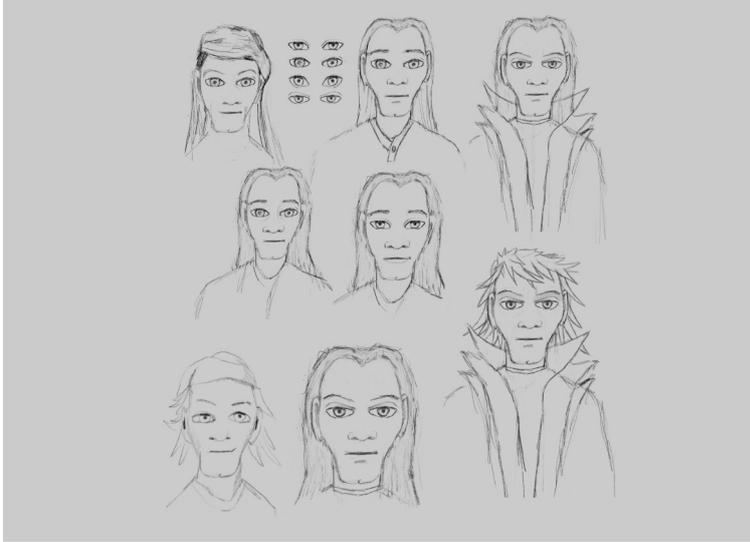


Abbildung 19: Charakterdesign Sandmann.

Eigene Darstellung

Bei unserem Projekt war ich verantwortlich für das Charakterdesign des Sandmanns. Außerdem habe ich bei den Charakterdesigns von Mia und Ker mitgeholfen. Auch die Realisation der Charaktere war eine meiner Aufgaben (Sculpting, Topology, Modelling, Texturing, Rigging usw.).

Im Laufe des Projektes haben wir schließlich die Entscheidung getroffen, die Charaktere mit dem Unreal MetaHuman-System zu erstellen. Mit dem von Epic Games entwickelten Tool MetaHuman können über verschiedenste Einstellungsmöglichkeiten individuelle Charaktere erstellt werden, die realistisch aussehen und speziell für die Unreal Engine optimiert sind. Ein entscheidender Grund für diese Änderung war, dass die MetaHuman Gesichter auf sehr benutzerfreundliche Weise mit einem Facial-Motion-Capture System eingespielt werden können. So konnten wir uns die Arbeit der Gesichts-Animation sparen. Diese Änderung bedeutete, dass sich die ursprünglichen Charakterdesigns besonders am Kopf veränderten. Die Kleidung der ursprünglichen Charaktere kann auf die MetaHuman angewendet werden. Damit die MetaHumans die Bewegungen der Motion-Capture Daten bekommen, ist ein Retargeting in Unreal nötig.

7.5.3 Rigging

Damit unsere Charaktere problemlos mit dem Motion-Capture-System von Captury funktionieren können, haben sie im Idealfall ein von Captury vorgegebenes Skeleton. Das Verwenden dieses vorgegebenen Skelet ist nicht zwingend nötig, für unser Projekt machte es allerdings Sinn, da wir uns so die Arbeit des Rig-Retargeting sparen konnten. Da wir im Laufe des Projektes auf MetaHumans (mit eigenen Rigs) umgestiegen sind, haben wir letztlich doch ein Retargeting von dem Captury auf das Metahuman Rig angewendet. Das Rigging und das damit verbundene Weight-Painting war für mich eine Herausforderung, da ich mich zuvor nie so intensiv mit der Thematik beschäftigte. Ich konnte viel über Rigging und die praktische Verwendung von Motion-Capture-Daten lernen.

7.5.4 Environment Erstellung

Die virtuellen Drehorte für unser Projekt haben wir im Team aufgeteilt. Ich war für die Erstellung von Mias Kinderzimmer zuständig. Zusammen mit den Ideen und dem Feedback des Teams, habe ich versucht, ein Kinderzimmer zu erstellen, welches gut zu den Charaktereigenschaften von Mia passt. Die Anordnung der Möbel und das allgemeine Raum-Layout passt sich den geplanten Kameraeinstellungen an. Viele der verwendeten 3D-Assets und Texturen für das Kinderzimmer stammen aus dem Unreal Engine Marketplace. Weitere Assets kamen ursprünglich aus dem Adventure-Game „Edith Finch“ (Giant Sparrow, 2017) und wurden von Epic Games zur Verfügung gestellt.



Abbildung 20: Mias Kinderzimmer bei Nachtstimmung.

Eigene Darstellung

Obwohl das Kinderzimmer grundsätzlich einladend und friedlich wirkt, soll durch die Nachtstimmung eine spannende und leicht gruselige Atmosphäre entstehen.

7.5.5 Dreharbeiten

Das Umsetzen des Filmes in einem kleinen Team führte dazu, dass jedes Teammitglied an den unterschiedlichsten Stellen aushelfen musste. Dies fiel besonders bei den Dreharbeiten im Studio auf, hier hat jedes Mitglied des CG-Department (4 Personen) verschiedenste Aufgaben ausgeführt. So habe ich neben diverser technischer Aufgaben wie dem Bedienen des Captury-System auch bei kreativen und schauspielerischen Aufgaben mitgewirkt. Jules hat die Kameraarbeit und die Regie übernommen. Nach langem Überlegen haben wir uns dazu entschieden, die schauspielerischen Rollen im Team zu besetzen, da uns eine Besetzung mit professionellen Schauspielern aufgrund des ungetesteten Captury-System riskant erschien.

7.6 Reflexion

Die Produktion des Animationsfilmes war für mich in vielerlei Hinsicht interessant und lehrreich. Ich bekam die Möglichkeit bei verschiedensten Aufgaben der Produktion mitzuwirken und habe dabei mein Wissen in den jeweiligen Bereichen vertiefen können. Außerdem habe ich viel Neues über Motion-Capturing und Filmproduktion in Game-Engines gelernt.

Besonders hat mir die Erstellung des Filmes in Unreal Engine gefallen. Dank der Umsetzung in der Game-Engine konnten wir beispielsweise eine qualitativ ansprechende Vorschau während der Aufzeichnung der Motion-Capture und Kameradaten erlangen. Auch die intensive Auseinandersetzung mit dem Charakterdesign und der anschließenden Umsetzung in 3D hat mir Spaß gemacht.

Das Arbeiten mit dem neuen Captury-System hat uns einerseits geholfen, da es uns eine Menge manueller Animationsarbeit abnahm, andererseits auch vor große Herausforderungen gestellt. Es traten eine Reihe technischer Probleme auf. Das Lösen dieser Probleme hat bei einem Drehtermin ganze zwei Drehtage gekostet. Die Probleme traten auch deshalb auf, weil das Captury-System an unserer Hochschule noch nie für ein Produktion benutzt wurde. Die Entscheidung, nicht auf professionelle Schauspieler zu setzen hat sich dadurch als gut herausgestellt, da wir durch die Verzögerungen sonst deutliche Probleme mit der Organisation bekommen hätten. Im

Nachhinein betrachtet, hätten wir mehr Zeit für das technische Setup vor dem eigentlichen Dreh einplanen müssen. Sobald wir es dann geschafft hatten, alle Systeme zum Laufen zu bekommen, ging es mit den Dreharbeiten schnell und problemlos voran. Dies lag auch daran, dass es bei kreativen Entscheidungen sehr geholfen hat, eine Echtzeitvorschau der virtuellen Drehorte und Charakteren zu haben.

8. Literaturverzeichnis

- Adam Forziati (My Tech Decisions, Hrsg.). (2020). *How Much Do Video Walls Cost? A Pricing Breakdown. How much should a video wall cost? We break it down for you and show you how to get the most out of an LED video wall purchase.* Verfügbar unter: <https://mytechdecisions.com/video/video-walls-pricing-cost/>
- Bertram, S. (2005). *VFX* (Praxis Film, Bd. 22). Konstanz: UVK-Verl.-Ges.
- Daniel Yoon (Universität Passau, Hrsg.). (2019). *Der Moiré-Effekt. Überlagerung erzeugt überraschende Strukturen.* Verfügbar unter: <https://www.mathe-museum.uni-passau.de/digitale-exponate-zum-ausprobieren/der-moire-effekt/>
- DARK WAYS Group (Hrsg.). (2022). *Dark Bay - Floor Plan & Tech Specs.* Verfügbar unter: <https://www.dark-bay.com/#!/keyfeatures>
- DOIT VISION (Hrsg.). (2021). *What is mandalorian LED wall? Mandalorian Virtual Set Cost.* Verfügbar unter: <https://www.doitvision.com/mandalorian-led-wall/>
- Florian Koch (klimareporter.in, Hrsg.). (2020). *Filme um jeden Preis.* Verfügbar unter: <https://klimareporter.in/umweltproblem-filmindustrie-filme-um-jeden-preis/>
- Foster, J. (2010). *The green screen handbook.* Chichester, Hoboken, N.J.: John Wiley; Wiley.
- Jazz Tangcay. (2022). *How Virtual Production Is Helping to Cut Costs and Reduce Carbon Footprint.* Zugriff am 16.11.2022. Verfügbar unter: <https://variety.com/2022/artisans/news/virtual-production-small-budget-1235236717/>
- Ludger Kaczmarek. (2022). *Lexikon der Filmbegriffe. Low-Budget-Produktion.*
- Manuel Christa (COMPUTEC MEDIA GmbH, Hrsg.). (2022). *Monitor-Pixeldichte: Wo ist die Schmerzgrenze?* Verfügbar unter: <https://www.pcgameshardware.de/Monitor-Display-Hardware-154105/Specials/Pixeldichte-1358256/>
- Mike Walsh (DGI Communications, Hrsg.). (2020). *LED Walls vs. Projection Displays.* Verfügbar unter: <https://www.dgicomcommunications.com/led-walls-vs-projection-displays/>
- Mike Walsh (DGI Communications, Hrsg.). (2020). *Your Guide to Pixel Pitch & LED Walls.* Verfügbar unter: <https://www.dgicomcommunications.com/what-is-pixel-pitch/>
- Mulack, T. & Giesen, R. (2002). *Special visual effects. Planung und Produktion* (Produktionspraxis, Bd. 10, 1. Aufl.). Gerlingen: Bleicher.

- NaturalPoint Inc. (Hrsg.). (2023). *OptiTrack*. Verfügbar unter:
<https://optitrack.com/systems/>
- Noah Kadner. (2019). *The Virtual Production Field Guide*, Epic Games. Verfügbar unter: <https://cdn2.unrealengine.com/Unreal+Engine%2Fvpfieldguide%2FVP-Field-Guide-V1.2.02-5d28ccec9909ff626e42c619bcbe8ed2bf83138d.pdf>
- Noah Kadner. (2021). *The Virtual Production Field Guide Volume 2*, Epic Games. Verfügbar unter:
<https://cdn2.unrealengine.com/Virtual+Production+Field+Guide+Volume+2+v1.0-5b06b62cbc5f.pdf>
- Noah Kadner, Addison Bath, Michael Keegan, David Morin, Miles Perkins, Ben Schneider, and Sebastian Sylwan. (2022). *The Virtual Production Glossary*. Verfügbar unter:
<https://www.vpglossary.com/>
- ROE Visual (Hrsg.). (2022). *Ruby Next generation of LED panels. How to comprise the latest technology into an advanced LED panel and translate that into an outstanding viewing experience? ROE Visual has done just that.* Zugriff am 23.01.2023. Verfügbar unter: <https://www.roevisual.com/en/products/ruby>
- Shenzhen Linsn LED Co.,Ltd. (Hrsg.). (2022). *How to Deal with Moire Effect LED Screen Effectively?* Verfügbar unter:
<https://www.linsnled.com/moire-effect-led-screen.html>
- Steve Nicola. (2018). *How Much Does a Video Wall Cost?* Verfügbar unter: <https://www.smartsysinc.com/blog/how-much-does-a-video-wall-cost>
- Sun, Wei and Sobel, Irwin and Culbertson, Bruce and Gelb, Dan and Robinson, Ian. (2008). *Calibrating Multi-Projector Cylindrically Curved Displays for "Wallpaper" Projection*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. Verfügbar unter:
<https://doi.org/10.1145/1394622.1394624>
- The Family (THE FAMILY COLLECTIVE LLC, Hrsg.). (2022). *On L.E.D. Bring your vision to the big screen. Literally.* Zugriff am 26.10.2022. Verfügbar unter: <https://thefamily.tv/On-L-E-D>
- Theresa Gereke (JC Eventtechnik GmbH, Hrsg.). (2020). *Helligkeitsunterschiede zwischen LED-Wand und Beamer.* Verfügbar unter:
<https://www.led-tek.de/2020/12/helligkeitsunterschiede-zwischen-led-wand-und-beamer/>
- Volker Petzold. (2004). DER SANDMANN ALS FABELFIGUR UND MEDIENSTAR. *Volkskunde in Rheinland-Pfalz*, (19), 115–135.

9. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Virtual Production Stage,
Quelle: <https://www.fullsail.edu/about/full-sail-stories/full-sail-to-build-virtual-production-studio> (abgerufen am 22.11.2022)

Abbildung 2: LED-Wall Setup der Netflix Show „1899“,
Quelle: Netflix, <https://www.youtube.com/watch?v=ZMynJCgJIQk>
(abgerufen am 04.01.2022)

Abbildung 3: Aufbau einer klassischen Rückproduktion,
Quelle: Mulack & Giesen, 2002, S. 14

Abbildung 4: Virtual Production Set von der Serie „The Mandalorian“,
Quelle: Industrial Light & Magic, <https://www.youtube.com/watch?v=Ufp8weYYDE8&t=273s> (abgerufen am 28.11.2022)

Abbildung 5: Remote Control Web Interface,
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 6: Moiré-Effekt,
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 7: Set-Übergang,
Quelle: Epic Games, <https://www.youtube.com/watch?v=Hjb-AqMD-a4&t=375s> (abgerufen am 02.12.2022)

Abbildung 8: Greenscreen auf LED-Wall,
Quelle: Epic Games, <https://www.youtube.com/watch?v=Hjb-AqMD-a4&t=375s> (abgerufen am 02.12.2022)

Abbildung 9: Der neue Workflow,
Quelle: <https://www.unrealengine.com/de/virtual-production>
(abgerufen am 03.12.2022)

Abbildung 10: Individuelle Anpassbarkeit,
Quelle: Epic Games, <https://www.youtube.com/watch?v=Hjb-AqMD-a4&t=375s> (abgerufen am 02.12.2022)

Abbildung 11: Lerp Blueprint,
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 12: Kamera Rig,
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 13: Improvisierte LED-Wall,
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 14: Video Wall 3 x 3,
Quelle: <https://www.monitorhalterung.de/b-tech-bt8370-system-x-video-wall-standfuss.html> (abgerufen am 15.01.2023)

Abbildung 15: Glas Reflektionen,
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 16: Hybrid Virtual Production,
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 17: Die verschiedenen Charaktere des Sandmann,
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 18: Moodboard Sandmann,
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 19: Charakterdesign Sandmann,
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 20: Mias Kinderzimmer bei Nachtstimmung,
Quelle: Eigene Darstellung

Tabellen:

Tabelle 1: Virtual Production Gear,
Quelle: Kadner, 2021, S. 59

11. Anhang

Anhang 1: E-Mail Austausch mit 80six Virtual Production Studios:



Studios <studios@80-six.com>

Allen antworten | v

Di 08.11, 16:04

Jan Reinschmidt v

Hi Jan,

Many thanks for your email. We don't have fixed costings as we bespoke our quotes based on client needs. As a rough guideline generally plate work on the 18.5m volume is £20-25k per day. Full VP work is £25 - 30k per day but this is bespoke to client needs.

Hope this helps?

Best wishes,

Natasha



**CREATIVE
PRODUCTION
TECHNOLOGY**



Discover our all-new studio facility
VirtualProductionStudios.com

Anhang 2: E-Mail Austausch mit John Youngson von Megapixel Visual Reality:



John Youngson <john@megapixelvr.com>

Di 27.12.2022, 22:48

Jan Reinschmidt v

Allen antworten | v

Hello Jan,

Thanks very much for your inquiry on our website.

The HELIOS Processing Platform is customizable based on the number of LED pixels that are being used in the virtual production volume. For an 8K configuration capable of driving up to 32M pixels, you'd be looking at approximately \$35,000. USD. If you have any other questions please let us know.

Thanks

John

John Youngson

VP Sales

MEGAPIXEL VISUAL REALITY

john@megapixelvr.com

+1 702 802 1882

Anhang 3: Kostenüberschlagung der Dark Bay Render Nodes und Brain Bar Workstations:

Dark bay Render Nodes & Brian Bar Workstations		Quelle für Preise: Idealo.de
Grobe kostenrechnung:		
Für Render Nodes:		
		Preise gerundet (Stand: Dez 2022)
CPU	AMD Threadripper Pro 3975WX	2.600,00 €
RAM	128GB DDR4 3200MHz ECC	900,00 €
GPU 1	NVIDIA RTX A6000	5.800,00 €
GPU 2	NVIDIA RTX A6000	5.800,00 €
Sync Board	NVIDIA Quadro Sync Board II	1.000,00 €
Ethernet Adapter Cards	Mellanox 25Gb (for DDC)	250,00 €
Storage	12 TB	300,00 €
Gesamtkosten pro Render Node:		16.650,00 €
Kosten für 20 Render Nodes:		133.200,00 €
Für Brain Bar Workstations:		
		Preise gerundet (Stand: Dez 2022)
CPU	AMD Threadripper Pro 3975WX	2.600,00 €
RAM	128GB DDR4 3200MHz ECC	900,00 €
GPU	NVIDIA RTX A5000	2.500,00 €
Sync Board	NVIDIA Quadro Sync Board II	1.000,00 €
Ethernet Adapter Cards	Mellanox 25Gb (for DDC)	250,00 €
Storage	12 TB	300,00 €
Gesamtkosten pro Brian Bar Workstation:		7.550,00 €
Kosten für 8 Brian Bar Workstations:		60.400,00 €
Gesamtkosten:		193.600,00 €

Anhang 6: Die verschiedenen Charaktere des Sandmann:

THE SANDMAN



E.T.A. Hoffmann
 E.T.A. Hoffmann (1776-1822) übernahm die Rolle des Sandmanns in der Romantischen Literatur. In seinen Erzählungen wird der Sandmann als eine typische romantische Figur dargestellt, die die Augen geblendet und verblende Visionen von einer Welt, die sich dem Gegenstand zu den aufzuklären Eltern den Sandmann überträgt.
 „Jener Mann, der kommt zu den Kindern, wenn sie nicht zu Bett gehen wollen und will ihnen Märchen in die Augen, daß sie blutig zum Kopf herabströmen, die wirft er ihnen in den Saß und trägt sie in den Hain und zur Kirche für seine Knechtchen, die sitzen dort in Aaah und haben krumme Schenkel, wie die Büten, damit pöken sie der unartigen Menschlein Augen auf!“



Rise of the Guardians
 Der Sandmann ist ein Hase, der nicht sprechen kann und es auch nicht möchte. Viel eher hat er Angst, er könne mit seiner Stimme Kinder in Schlaf versetzen.
 Nachts für Nacht steigt er sich im Saß und erzählt den Kindern die Traum für die Kinder entstehen. Umso mehr steigt es ihn, wenn ihm erzählt sie werden, daß er im Saß sein und nicht er ist, das Sandmann. Da dieser sich von den Kindern der Kinder erzählt. Zusammen mit dem Weihnachtsmann ist er einer der ältesten Hase auf der Welt.



Spider Man
 Sandman, auch bekannt als Wilson Fisk, ist einer der besten Freunde von Spider-Man. Er hat ein Auge in Form eines Spinnennetzes. Er ist ein sehr mächtiger Mann. Er hat ein Auge in Form eines Spinnennetzes. Er hat ein Auge in Form eines Spinnennetzes. Er hat ein Auge in Form eines Spinnennetzes.

Griechische Mythologie

Zunächst mal hat ein Sandmann ähnliches Wesen in der klassischen Religion auf dem Ozean. Cacus war ein zweigeboriger Schutzgeist und Koboldwesen. Für die Griechen waren Schlaf und der Tod Geschwister.
 In der Griechischen Mythologie gab es den Gott des Schlaf namens Hypnos. Der Sohn von Nyx und Eros, er ist der Gott der Träume. Dieser hat in Form von einem Flügeligen Wesen. Er hat ein Auge in Form eines Spinnennetzes. Er hat ein Auge in Form eines Spinnennetzes. Er hat ein Auge in Form eines Spinnennetzes.
 In der Tradition werden sich ähnlich zwei Varianten der Sandmannfigur unterschieden: auf der einen Seite der wegwandernde Schlaf, auf der anderen Seite der Träume beherrschende „Zugzwang“.



Neil Gaiman
 Der Schlaf (dream) ist der kleine Bruder des Todes.
 Dieser Sandmann ist ein Wesen, das die Augen geblendet und verblende Visionen von einer Welt, die sich dem Gegenstand zu den aufzuklären Eltern den Sandmann überträgt.



Metallica
 Dieser Sandmann ist ein Wesen, das die Augen geblendet und verblende Visionen von einer Welt, die sich dem Gegenstand zu den aufzuklären Eltern den Sandmann überträgt.

Kika (DDR) & BRD Version



Nach dem Vereinigung Deutschlands entschied man sich für die Sandmannfigur der DDR. Der Sandmann ist kein, das Kind Träume auf, wenn er vorbeikommt. Er erzählt den Kindern Geschichten und beschwert ihnen dann ein wenig Träume. Der Sandmann ist eine Traumfigur.

Weitere Figuren:



Krampus
 Krampus (auch Krampe) heißt Dämon, halb Ziege. Er zwingt die Menschen mit Gewalt dazu, sich zu wehren. Er ist ein Mischwesen aus einer Schizophrenie in Begleitung des heiligen Nikolaus. Die Gestalt des Krampus stammt ursprünglich aus der volkstümlichen Zeit.



Frau Holle
 Eine Witwe hat zwei Töchter. Die eine ist schön und artig, die andere hässlich und faul. Ein Tag lag die schöne Tochter durch einen Reizmittel in eine andere Welt. Dort wird sie in die Welt der Töchter der Frau Holle versetzt und in der Welt der Töchter der Frau Holle versetzt. Dort wird sie in die Welt der Töchter der Frau Holle versetzt. Dort wird sie in die Welt der Töchter der Frau Holle versetzt.

Anhang 7: E-Mail Austausch mit ROE Visual Europe:

RE: Price Request > Posteingang x



Sales Support - ROE Visual Europe <salessupport@roevisual.eu>
an mich ▾

Good morning,

Please see below the panel prices.

RB15 MVR/Brompton - 3285 euro
RB23 MVR/Brompton - 2290 euro

These prices are just for the panels. No electronics, cables etc.

Best regards,



Marcel Minnis - ROE Visual Europe

Sales Support

ROE Visual Europe B.V.

	Office:	Warehouse:	Repairs:
	Zernikelaan 2A	Industriepark 9-1	Industriepark 5M
	9351 VA Leek	9351 PA Leek	9351 PA Leek
	The Netherlands	The Netherlands	The Netherlands

10. Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Detmold, den 24.01.2023

Jan Andres Reinschmidt

Jan Andres Reinschmidt