



**Hochschule für Angewandte
Wissenschaften Hamburg**
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorthesis

Analyse und Vergleich verschiedener
Medienserver und ihrer Bedienphilosophien:
Wo könnten spezialisierte Kontrollelemente
Vorteile bieten?

13.06.2022

Melanie Trautmann



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Department Medientechnik der Fakultät Design, Medientechnik und Information

Erstprüfer: Dipl.-Ing. (FH) Matthias Wilkens

Zweitprüfer: Prof. Dr. Roland Greule

1. Inhalt

1. Inhalt	1
2. Abstract	3
3. Einleitung	4
3.1. Motivation	4
3.2. Zielsetzung	4
4. Medienserver	5
4.1. Begriffsklärung.....	5
4.2. Einsatz	5
4.2.1. Einsatzorte.....	10
4.3. Einbindung in die Produktionsumgebung	14
4.4. Marktübersicht	16
4.4.1. Medienserver als reine Softwarelösung	16
4.4.2. Medienserver mit eigener Hardware	17
4.4.3. Node-basierte Software.....	17
5. Beispielprojekt	19
5.1. Projection Mapping	20
5.1.1. Technische Anforderungen des 3D Projection Mappings	26
5.2. Relevante Werkzeuge für das Projection Mapping.....	31
5.2.1. Compositing.....	32
5.2.2. Mapping.....	32
5.2.3. Keystone-Korrektur.....	35
5.2.4. Warping	36
5.2.5. Softedge	39
5.2.6. Helligkeit.....	40
5.2.7. Farbkalibrierung.....	40

6. Vergleich der Einrichtung zweier Server in einem Versuchsaufbau	42
6.1. Auswahl	42
6.1.1. Pandoras Box	43
6.1.2. Pixera.....	44
6.2. Ablauf	45
6.2.1. Vorbereitung	45
6.2.2. Aufbau	47
6.3. Vergleich	50
6.3.1. Anlegen eines Projektes	50
6.3.2. Einrichtung im realen Raum	58
6.4. Ergebnis.....	68
6.4.1. Fazit	69
7. Einbindung von Kontrollelementen	71
7.1. Mögliche Szenarien	71
7.1.1. Ablaufsteuerung.....	71
7.1.2. Einrichtungsprozess	72
7.2. Testszenario.....	73
7.2.1. Pixera Control	74
7.2.2. Gamepad mit Tastaturfunktionen	82
7.2.3. Fazit	84
8. Fazit	86
9. Ausblick	88
10. Eigenständigkeitserklärung	89
11.Literatur- und Quellenverzeichnis	90
12.Abbildungsverzeichnis.....	94
13.Anhang.....	97

2. Abstract

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Bedienung von Medienservern.

Um Einsatzmöglichkeiten von Medienservern und Herausforderungen an diese besser verständlich zu machen, wird am Anfang dieser Arbeit auf die Fähigkeiten des Medienservers eingegangen und beleuchtet, wie er in fast alle Genres der Veranstaltungstechnik Einzug gehalten hat. Im Anschluss soll eine Marktübersicht einen Einblick in verschiedene Arten der Technik geben.

Um die Unterschiede zu veranschaulichen, die die Bedienphilosophie von Medienservern aufweisen können, wird ein beispielhaftes Einsatzszenario beschrieben. Hierfür wird eine dreidimensionale Projektionsfläche eingerichtet und bespielt. Sie verlangt nach einer Vielfalt an elementaren sowie fortgeschrittenen Software-Features und einer umfangreichen Einrichtung. Außerdem kommt es bei Produktionen dieser Art oft zu der Situation, dass bereits hergestellte Inhalte auf die realen Gegebenheiten angepasst und bearbeitet werden müssen.

Der folgende Vergleich fokussiert sich auf die für diese Aufgabe besonders wichtigen Herausforderungen. Insbesondere die Einrichtung mehrerer Projektoren, ihre Abstimmung aufeinander und der Bezug auf die dreidimensionale Projektionsfläche werden hervorgehoben.

Die Analyse des Einrichtungsprozesses führt zur Frage, ob moderne Medienserver davon profitieren können wie bei Licht, Video und Tonpulten bereits üblich, mithilfe eines Hardware-Kontrollelements gesteuert zu werden, anstatt lediglich über eine Desktop-Oberfläche. Betrachtet wird, was für Geräte es bereits am Markt sind und wie diese eingesetzt werden. Zum Schluss wurde die Steuerung der zweier Funktionen aus dem Einrichtungsprozess einer Projektion mit Hilfe eines Controllers einer Spielekonsole realisiert.

3. Einleitung

3.1. Motivation

Als selbstständige Medientechnikerin mit Schwerpunkt im Bereich Licht besteht mein Arbeitsalltag zu einem großen Teil aus der Arbeit am Lichtstellpult. Ich kenne meine Konsole gut und bediene ihre Knöpfe, Schiebe- und Drehregler aus dem Muskelgedächtnis ohne darüber nachzudenken.

So geht es, denke ich, den meisten Technikern deren Fachgebiet sich um ein Pult herum erstreckt. In Licht und Ton prominent vertreten, hat die Konsole als zentrale Hardware auch im Videogewerk ihre Einsatzmöglichkeiten, zum Beispiel als Bildmischer oder zur Steuerung von ferngesteuerten, bewegbaren Remote-Kameras.

Umso irritierender empfand ich es, dass sich im breiten Aufgabenfeld des Medienservers noch keine dedizierte Bedienhardware durchgesetzt zu haben scheint. Die Einrichtung großer Installationen erfolgt meist entweder über eine Desktop-Anwendung oder gewerkeübergreifend mit Hilfe eines Lichtstellpults. Das warf bei mir die Frage auf: Könnte insbesondere der Einrichtungsprozess einer Projektor-Installation von der Nutzung externer Bedienhardware profitieren? Oder sind benutzerfreundliche Bedienphilosophien ausschlaggebender?

3.2. Zielsetzung

In dieser Bachelorarbeit soll ein Überblick über die Anwendungsmöglichkeiten von Medienservern gegeben werden und betrachtet werden wie sie im OProduktionsalltag eingesetzt werden.

Anhand der konkreten Anwendungsmöglichkeit *Projection Mapping* soll analysiert werden, nach welchen Parametern Medienserver in diesem Anwendungsbereich unterschieden werden können. Hierfür soll zunächst eine Einführung in diese Parameter gegeben werden.

Mithilfe dieser Fakten sollen die Bedienphilosophien zweier Medienserver anhand eines konkreten Beispielprojektes verglichen werden. Hierbei soll im Besonderen die Einrichtung einer vorgeplanten Installation betrachtet werden.

Zum Schluss sollen die gesammelten Erkenntnisse bei der Frage helfen, ob die Verwendung von externer Hardware zur Einrichtung komplexerer Installationen einen Mehrwert bringen kann. Und wenn ja, wie diese Steuerung umgesetzt werden könnte.

4. Medienserver

4.1. Begriffsklärung

Ein Medienserver dient als Schnittstelle zwischen multimedialen Inhalten (englisch: content) und einem oder mehreren Abspielgeräten. Arten des Content können zum Beispiel Standbilder, Videosequenzen, vorgerenderte 3D-Animationen oder live eingespielte Videosignale einer Kamera sein. Ausgespielt werden diese Signale zum Beispiel auf Bildschirmen, LED-Wänden, Projektoren oder via Pixelmapping auf verschiedene Leuchtmittel (vgl.: Kapitel 4.2.1).

Die Medienserver, die in dieser Arbeit betrachtet werden sollen, dienen nicht als reine Daten-Server, auf denen Medien gelagert und abgerufen werden können, obwohl es auch diese Art der Medienserver gibt. Die Aufgaben des Medienservers lassen sich für diese Arbeit am besten in zwei Arbeitsbereiche teilen. Zum einen in die Bearbeitung der Medien, das Compositing. Hier werden die einzelnen Inhalte gemischt, mit Effekten belegt und zu einem Gesamtinhalt zusammengeführt.

Zum anderen in das Mapping, bei dem die Inhalte auf die Ausgabegeräte angepasst werden.

Hardwareseitig sind Medienserver auf Betriebssystemen wie Windows, Linux oder MacOS basierende Rechner mit mehreren Video-Outputs. Es sind verschiedene Konfigurationen zum Beispiel in den Bereichen Arbeitsspeicher, Grafikkarten, Prozessorleistung oder Menge und Qualität der Ein- und Ausgänge möglich.

Die Be- und Verarbeitung der Signale geschieht in der Server-Software. Eine Medienserver-Applikation braucht nicht zwingend eine dedizierte Hardware, der Markt bietet auch reine Softwarelösungen, die auf entsprechend leistungsstarken Rechnern ausgeführt werden können.

4.2. Einsatz

Medienserver kommen immer dort zum Einsatz, wo eine Brücke zwischen mehreren Quellen und Senken von Medien geschlagen werden muss, die über den Einsatzbereich zweckgebundener Geräte, wie zum Beispiel eines Bildmischers hinausgeht. Diese Vielfältigkeit sorgt dafür, dass der Medienserver in so gut wie jedem Anwendungsbereich der Medientechnik, in dem es um mediale Installationen geht, zu finden ist.

Mediale Installationen gehören seit Jahrzehnten zum Portfolio der Veranstaltungstechnik und haben sich von einfachen Anzeigetafeln in Stadien zu multimedialen, interaktiven Großprojekten entwickelt. 1980 stellte Mitsubishi mit dem *Diamond Vision* das erste Großformat Display vor und im Laufe der achtziger Jahre hielt diese Technologie Einzug in die Sportarenen.¹ (Abbildung 2)



Abbildung 2: Diamond Vision Anzeigetafel im Moda Center in Portland²

Video-Großprojektionen entwickelten sich Mitte der Neunzigerjahre mit Erfindung der blauen LED und der daraus resultierenden Möglichkeit, RGB-Inhalte wiederzugeben, erneut weiter.³

So wurde 1995 die *Fremont Street Experience* und die dazu gehörige LED-Installation *Viva Vision* in Las Vegas eröffnet. Sie ist bis heute die größte zusammenhängende LED-Wand der Welt. (Abbildung 3)

¹ Nelson 2013, 653

² Wikipedia Commons (Another Believer): *Blazers 2016-02-21 11*

³ nobelprize.org: *The Noble Prize in Physics 2014*



Abbildung 3: LED-Installation Viva Vision über der Fremont Street in Las Vegas⁴

Heutzutage ist die einfache Darstellung von Inhalten auf Bildschirmen, LED-Wänden oder als Projektion die grundlegendste Form der medialen Installation. Erst durch die Verwendung mehrerer Geräte die im Verbund bespielt werden, oder von gängigen Formaten abweichenden Formen erreichen diese Installationen eine Komplexität, die den Einsatz von Medienservern erfordert. Hierbei ermöglicht der Medienserver nicht nur die Ausgabe mehrerer, unterschiedlicher Videosignale. Er macht auch durch den Zusammenschluss mehrerer Geräte zu einem zusammenhängenden Bild Großinstallationen mit höherer Auflösung erst möglich. Denn je größer zum Beispiel eine LED-Wand ist, umso höher muss abhängig vom Abstand der Pixel zueinander, dem Pixel-Pitch, die Auflösung des zusammenhängend präsentierten Bildes sein. Dies kann durch Zusammensetzen mehrerer Videoquellen realisiert werden. Ebenso können für große Projektionsflächen mehrere Projektoren zu einem Bild zusammengeführt werden. Diese Technik wird besonders eindrucksvoll beim sogenannten Projection Mapping eingesetzt. Auf die spezielle Installationsform des Projection Mappings wird in dieser Arbeit in Kapitel 5 noch im Detail eingegangen.

⁴ Wikipedia Commons (ABK): *Fremont Street Experience with signs*

Auch werden bei der Arbeit mit verschiedenen Komponenten der unterschiedlichen Gewerke der Medientechnik Medienserver zum Einsatz gebracht. Hervorzuheben sei hier das Verfahren des Pixelmappings. Beim Pixelmapping wird eine Anordnung von Scheinwerfern nicht mehr als einzelne Geräte betrachtet, sondern als eine Ansammlung von Pixeln. Jeder Scheinwerfer stellt einen Bildpunkt dar. Ist der Scheinwerfer selbst in Segmente unterteilt kann er auch mehrere Bildpunkte verkörpern. (Abbildung 4) Ähnlich wie bei einer LED-Wand, bei der jeder Pixel einen Bildpunkt repräsentiert. Im Anschluss können Videoinhalte über diese Pixel-Matrix abgespielt werden. Hierbei muss die Matrix keineswegs einem gängigen Videoformat entsprechen. Sie kann auch in abstrakten Formen angeordnet werden und mithilfe des Medienservers wird festgelegt, wie viele und welche Pixel von einem bestimmten Scheinwerfer dargestellt werden.



Abbildung 4: Pixelmapping auf GLP X4 Bars vom Lichtdesigner Ed Warren, Foto: Luke Dyson⁵

Bei diesen gewerkeübergreifenden Installationen kann der Medienserver auch als zentrales Steuerelement der Installation fungieren, von dem aus alle anderen Abteilungen

⁵ mothergrid.de: *Ed Warren nutzt GLP-Scheinwerfer auf UK-Tour der Idles*

wie zum Beispiel Ton oder Licht ihre Signale oder Abspielbefehle für die jeweiligen Pulte bekommen. So wird der Medienserver zum Herzstück der medialen Installation.

Medienserver können auch interaktive Installationen möglich machen. Ereignisse innerhalb einer Ausstellung können in Echtzeit durch den Zuschauer ausgelöst werden. So können zum Beispiel die Betätigung eines Knopfs oder das Auslösen einer Lichtschranke im Server mit dem zugehörigen Befehl zum Abspielen einer Sequenz verknüpft werden.

Außerdem können die von extern erhaltenen Informationen nicht nur als auslösendes Moment verarbeitet werden, sondern auch selbst zur Datenquelle für die Einstellung innerhalb des Servers werden. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Verarbeitung von Positionsdaten zum Beispiel aus einer Tracking-Software. Sie nimmt die Positionsdaten eines Objekts oder einer Person auf und koppelt zum Beispiel Inhalte oder Effekte an diese Information. Auf diese Weise können immersive Erlebnisse für den Zuschauer geschaffen werden. So zu sehen in Abbildung X. Hier wird eine animierte Robbe durch die Gesten des Zuschauers beeinflusst. Die Animation folgt den Händen oder es werden durch vorher festgelegte Gesten Sequenzen ausgelöst, in denen die Robbe einen Trick ausführt. (Abbildung 5)



Abbildung 5: National Geographic Encounter: Ocean Odyssey⁶

⁶ lightswitch.net: NATIONAL GEOGRAPHIC ENCOUNTER: OCEAN ODYSSEY

4.2.1. Einsatzorte

Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten des Medienservers sorgen dafür, dass Server nicht nur ein umfangreiches technisches Werkzeug sind, sondern auch neue kreative Einsatzmöglichkeiten bieten. Diese Kombination ermöglicht die Realisierung kreativer Großprojekte und findet Anwendung in allen Veranstaltungsstätten und darüber hinaus. In der Bühneninszenierung ermöglicht der Medienserver in Theatern eine neue Form des Bühnenbaus. Hintergründe können dynamisch an das Gezeigte angepasst werden und so klassische gemalte Hintergründe ersetzen. Auch das Bühnenbild im Fernsehen hat sich durch den Einzug von Medienservern in diese Branche verändert.

Großflächige Projektionen oder LED-Wände werden integraler Part der Gestaltung des Studios oder über das dekorative Element hinaus selbst Teil der Inszenierung, wie zum Beispiel der 216 Quadratmeter große LED-Boden in der Sendung *Joko und Klaas gegen Pro7*. Hier ist die Fläche nicht nur Bühne, sondern bildet auch Elemente der Spiele, die in der Sendung gespielt werden müssen ab. (Abbildung 6)



Abbildung 6: LED Boden Joko & Klaas gegen Pro7⁷

Die Möglichkeit der Echtzeitverarbeitung von Daten machte im Bereich der Spielshows neue Formate wie zum Beispiel *5 Gold Rings* möglich. Hierbei legen die Kandidaten als

⁷ asbglasfloor.com: *Joko & Klaas gegen ProSieben*

Antwort einen Ring auf einem LED-Boden ab, die Position des Rings wird aus dem Kamerabild ausgelesen und an den Server weitergegeben. (Abbildung 7)



Abbildung 7: LED Boden 5 Gold Rings ⁸

Im virtuellen Studio hingegen ersetzen Medienserver das Bühnenbild fast komplett. Die Hintergründe können digital erstellt und in Echtzeit verändert werden. Durch den Einsatz von Tracking-Hardware kann die Kameraposition miteinbezogen werden und macht so das Arbeiten mit *Augmented Reality* möglich. So können digitale Objekte im Studio platziert werden, deren virtuelle Position sich so an die Kameraposition anpasst, dass sie den Eindruck eines fixierten Objekts erwecken. Wie in Abbildung 8 & 9 zu sehen, können so zum Beispiel zugeschaltete Gäste im Studio platziert werden und der Eindruck eines schwebenden Bildschirms erzeugt werden.

Um Lösungen dieser Art zu realisieren reicht ein Medienserver allein oft nicht aus. In Kapitel 4.3 wird hierauf genauer eingegangen.

⁸ potionpictures.co.uk: 5 Gold Rings Series 2

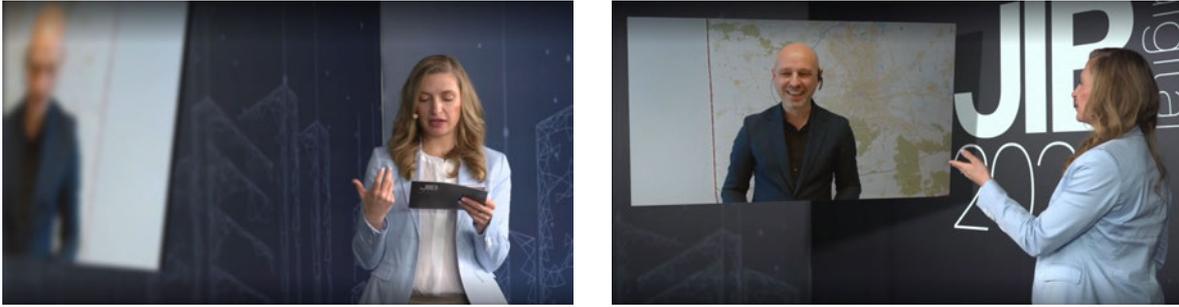


Abbildung 8 & 9: Beispiel Studio mit virtuellen Elementen, Bilder: Triolution GmbH

Die dynamische Anpassung von Hintergründen an das Kamerabild kann auch im Bereich Film wiedergefunden werden. Hier ersetzen sie in Kombination mit LED-Wänden teils die Arbeit mit dem Greenscreen. Da sich die Hintergründe auf der Wand an die Kameraposition anpassen, entsteht der Eindruck eines realen Sets. Reflexionen der Umgebung können so direkt in der Kamera eingefangen werden und müssen nicht in der Postproduktion eingefügt werden.

Aber auch abseits der Bühne können Medienserver zum Einsatz kommen. In Messebau und Gewerbe ermöglichen sie neue Präsentationsformen. In Museen und Ausstellungen können sie das Gezeigte durch Interaktion erfahrbarer machen und den Besucher zum Teil der Ausstellung werden lassen. Einige Ausstellungen wie zum Beispiel *National Geographic Encounter: Ocean Odyssey* in New York wären ohne Medienserver nicht möglich. Der Besucher wird auf eine Reise in die Tiefsee mitgenommen und lernt dabei etwas über die Meere und ihre Bewohner (vgl.: Abbildung X (Robbe)). Um dieser Erzählung Realismus zu verleihen, müssen Licht, Ton, Video und Interaktionen ideal zusammenspielen.

Einen besonderen Stellenwert nehmen Medienserver in der Realisierung von Medienfassaden ein. Medienfassaden können in ihrer Form entweder eine selbstleuchtende Installation aus Scheinwerfern oder LED-Paneelen sein, oder die Fassade wird mit einem Projection Mapping bespielt. Medienfassaden können als Entwicklungsform der Werbetafel mit informativen Inhalten gefüllt werden oder als reines Kunstobjekt und gestalterisches Element der modernen Architektur fungieren.⁹ Ein gutes Beispiel für eine Mischform dieser beiden Ansätze ist die Medienfassade des Klubhaus St. Pauli in Hamburg. (Abbildung 10) Sie ist sowohl integraler Bestandteil der Architektur des Gebäudes als auch Fläche für klassische Werbung.

⁹ detail.de: *Mediearchitektur und transformative Fassaden*



Abbildung 10: Medienfassade des Klubhaus St. Pauli, Hamburg, Foto: Oliver Fantitsch¹⁰

Diese Art der Darstellung muss abseits des Fassaden-Mappings nicht zwingend auf einem Gebäude stattfinden. Auch Elemente in der Natur können mit Hilfe des Projection Mappings werblich und oder künstlerisch bespielt werden. So entstand das bisher größte permanente Projection Mapping der Welt in Saudi Arabien. Die Tuwaiq Mountains dienen als Projektionsfläche für eine 32.000 Quadratmeter große Projektion mit werblichem Zweck. (Abbildung 11)



Abbildung 11: Weltgrößtes permanentes Projection Mapping auf den Tuwaiq Mountains ¹¹

¹⁰ detail.de: *Mediaarchitektur und transformative Fassaden*

¹¹ mothergrid.de: *VIOSO unterstützt Martin Professional beim weltgrößten Videomapping auf die Tuwaiq Mountains*

4.3. Einbindung in die Produktionsumgebung

Die Vielseitigkeit der Anwendungen von Medienservern spiegelt sich auch bei der Einbindung in die Produktionsumgebung wieder. Der Server kann sowohl Signalsender als auch -empfänger sein. Je nach Arbeitsweise innerhalb einer Produktion ist er das Kernstück der Installation oder fungiert nur als Befehlsempfänger, der vorgefertigte Abläufe ausgibt. Da der Medienserver beide Rollen einnehmen können muss, verfügt er über eine umfassende Palette an Schnittstellen.

Da Medienserver ihren Ursprung im Lichtbereich haben und im Feld des *Digital Lightings* erste große Anwendung fanden, ist bis heute ihre Fernsteuerung über Lichtstellpulte eine gängige Arbeitsweise.¹² Gerade bei kleineren Produktionen oder Konzerten kommt sie auch aufgrund der geringeren Personaldichte häufiger zum Einsatz. Hierbei wird die Struktur des lichtspezifischen Protokolls DMX verwendet. Die meisten Server bieten die Möglichkeit, spezifischen Funktionen eine DMX-Adresse zuzuweisen und über das Lichtstellpult die Parameter der Funktion zu verändern. Über diese Schnittstelle kann wiederum auch der Server Signale an das Lichtstellpult senden. Aufgrund der Datenmengen, die beispielsweise beim Pixelmapping übertragen werden müssen, werden diese Informationen in der Regel über Netzwerkprotokolle wie ArtNet oder sACN versendet.

Bei der Einbindung von Inhalten kommen bereits mehrere Gewerke zusammen. So werden vorgefertigte Inhalte wie zum Beispiel Grafiken, Animationen oder Standbilder vom Content-Design Department geliefert und vom Server-Operator oder einem speziell dafür zuständigen Media-Operator zu einer kohärenten Show zusammengefügt.¹³ Neben der Arbeit mit vorgefertigten Medien kommt es aber auch zur Einbindung von Inhalten, die in Echtzeit generiert werden. Dies umfasst Livekamerabilder, die entweder direkt als Quelle an den Medienserver gesendet werden oder vorher von einem Bildmischer geschnitten werden, sodass am Server nur noch das geschnittene Bild, nicht mehr die Rohdaten der Kamera ankommen.

Echtzeitgenerierter Content kann allerdings auch aus computergenerierten Inhalten bestehen. Die Arbeit mit virtuellen Inhalten in Form von *Augmented Reality* (AR), *Virtual Reality* (VR) und *Extended Reality* (XR) wird in immer mehr Produktionsumgebungen

¹² Greule 2021, 208

¹³ Greule 2021, 213

eingebunden. Hierbei kommen Grafik-Engines aus dem Bereich der Computerspiele wie zum Beispiel *Unity3D* oder *Unreal Engine* zum Einsatz. Diese geben ihre erstellten Inhalte als Videozuspieler an den Medienserver weiter.

Wichtig für die Arbeit mit diesen digital erweiterten Realitäten ist die perspektivisch korrekte Darstellung des Contents. Um diese zu gewährleisten, werden Positionsdaten der Kamera benötigt. Auch für diesen Arbeitsschritt gibt es bereits spezifische Protokolle zur Einbindung von Positionsdaten in die Serverumgebung. Ein Beispiel hierfür ist das Protokoll *FreeD*, das neben der Position der Kamera auch Information über Zoom und Fokus des Objektivs liefert.

Aber auch mit reinen Positionsdaten von Objekten oder Personen können Anwendung in einer Installation finden. Hierauf ist beispielsweise das Protokoll PSN (PosiStageNet) ausgelegt. Ein Protokoll wie PSN erlaubt es auch, die Positionen in den Server einzuspeisen und Abläufe und Effekte an diese Positionsdaten zu koppeln.

Kommt es nach Erhalt, beziehungsweise Erstellung der Inhalte zur Ausgabe von Videoinhalten an Projektoren, LED-Wände oder Bildschirme, bedienen sich die meisten Medienserver einer oder mehrerer der gängigsten Verbindungsstandards. Hierzu gehören DVI, HDMI, DisplayPort und SDI. Aber auch netzwerkbasierte Protokolle wie NDI werden vermehrt genutzt.

All diese Funktionen können direkt vom Server aus gesteuert werden, sodass der Medienserver entweder allein steht oder zur zentralen Schnittstelle der Produktion wird. Liegt diese Aufgabe an anderer Stelle, muss das Gerät seine Steuerungsbefehle aus der Ferne erhalten.

Um den Medienserver fernsteuern zu können müssen innerhalb der Programmierung Befehle, die von extern erhalten werden, einzelnen Funktionen zugewiesen werden. Solche Funktionen können zum Beispiel das Abspielen einer Sequenz oder die Änderung eines Helligkeitswerts sein. Diese Befehle kann der Server über verschiedene Protokolle erhalten. Exemplarisch seien hier Protokolle wie SMPTE-Timecode und MIDI oder Netzwerkprotokolle wie OSC zu nennen.

Diese Protokolle ermöglichen innerhalb einer Produktionsumgebung die zeitsynchrone Ausgabe von Steuerbefehlen von einem zentralen Punkt aus. Bei der Produktion einer Fernsehshow ist dieser zentrale Punkt zum Beispiel die Spieltechnik. Sie kann mit Hilfe dieser Protokolle Spielereignisse wie die Betätigung eines Buzzers zeitgleich an Vi-

deo, Ton und Licht ausgeben und hier die zum Ereignis passenden Sequenzen auslösen.

Andersherum kann der Medienserver selbst zum zentralen Befehlsgeber werden und die einzelnen Gewerke mit Hilfe dieser Protokolle koordinieren.

4.4. Marktübersicht

Ebenso vielfältig wie die Einsatzmöglichkeiten eines Medienservers sind seine Erscheinungsformen. Über die verschiedenen Arten von Medienservern und ihre Vertreter am Markt soll im Folgenden ein Überblick geschaffen werden.

Obwohl alle genannten Geräte zur Familie der Medienserver gehören, lassen sich innerhalb dieser Kategorie einige Unterschiede feststellen. Um im Folgenden die Einsatzgebiete und Arbeitsweisen mit verschiedenen Arten von Servern besser nachvollziehen zu können, werden die Medienserver in dieser Arbeit in drei Unterkategorien zusammengefasst.

4.4.1. Medienserver als reine Softwarelösung

Im Zentrum jedes Medienservers steht die Software. Ihr Umfang und ihre Leistungsfähigkeit, sowie die Handhabung sind ausschlaggebend zur Bewertung des Servers.

Der Erwerb der Software erfolgt meist in einem Lizenzmodell. Je nach gewünschtem Umfang von zum Beispiel Ausspielwegen oder Layern zur Bearbeitung der Medien können ein oder mehrere Lizenzschlüssel erworben werden. Diese Lizenzen werden am Gerät oft durch sogenannte Dongle freigeschaltet. Ein Dongle ist ein USB-Stick, der den Besitz der Lizenz verifiziert und so die Nutzung der gesamten Software ermöglicht. Damit ist eine Lizenz nicht an eine einzige Hardware gebunden. Da die Geräte im Netzwerk zusammenarbeiten können, ist die Hardware einfach zu skalieren und kann an Größe und Anforderung des Projekts angepasst werden. Nicht ein Rechner muss alle Ausspielwege verwalten.

Bekannte Medienserver am Markt, die auf die Produktion eigener Serverhardware verzichten, sind zum Beispiel *Vertex* vom Hersteller *iversal* oder die *Resolume Arena 7* Software von *resolume*.

4.4.2. Medienserver mit eigener Hardware

Zu den gängigsten Systemen zählen Medienserver, die inklusive einer auf den Server angepassten Hardware vertrieben werden. Die Hardware kann je nach Anforderungen des Projekts in verschieden umfangreicher Ausstattung erworben werden und ist im Regelfall bereits mit der Software in passender Ausführung bespielt. Auch diese Hardware kann im Netzwerk-Verbund betrieben werden und ist so erweiterbar.

Allerdings können die meisten Server trotz eigener Geräte auf anderer, markenfremder Hardware betrieben werden.

Da Medienserver mit eigenen Hardwareangeboten zu den verbreitetsten gehören sind hier auch die meisten bekannten Vertreter zu finden. Exemplarisch sind hier die Server von *Arkaos*, der *Watchout* Server der Firma *Dataton* oder die in den letzten Jahren stark am Markt vertretenen Medienserver von *Green Hippo* zu nennen.

Ein Beispiel für einen weit verbreiteten Medienserver der es nicht zulässt, dass seine Software auf markenfremder Hardware genutzt wird ist *disguise*.

Ebenfalls zu den Marktführern in diesem Segment gehören *Pixera* des Herstellers *AV Stumpfl* und *Pandoras Box* von *Christie*. Diese beiden Server werden im Verlauf dieser Arbeit noch im Detail betrachtet.

4.4.3. Node-basierte Software

Diese Art von Software ist kein Medienserver im eigentlichen Sinne, soll in dieser Arbeit aber trotzdem kurz Erwähnung finden, da sie oft in den gleichen Situationen Anwendung findet wie ein Medienserver.

Hierbei handelt es sich um grafische Entwicklungsumgebungen, in denen der Nutzer selbst einzelne Funktionen zu komplexeren Handlungsoperationen zusammenführt. Eine *Node* beschreibt eine einzige Operation innerhalb dieser größeren Programmierung. (Abbildung 12)

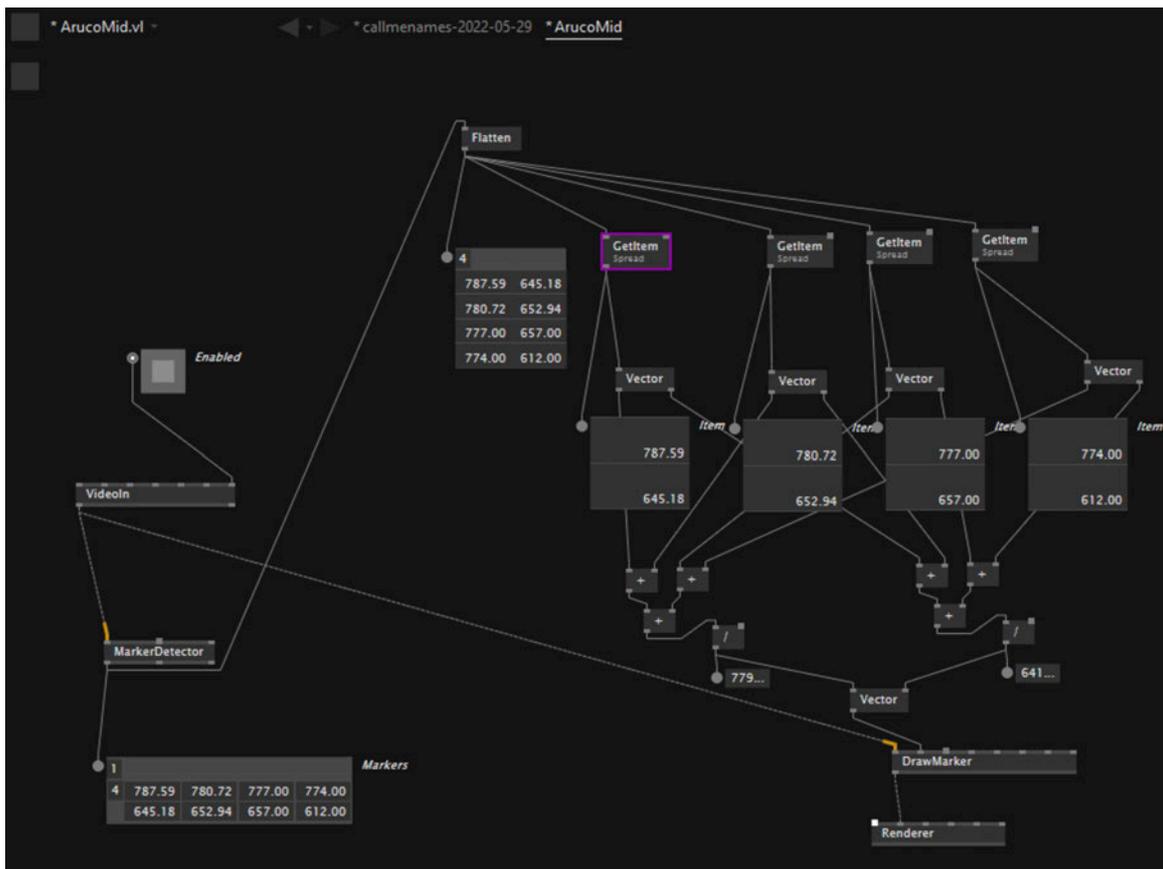


Abbildung 12: Beispiel einer Node basierten Anwendung in VVVV

Legen klassische Medienserver den Fokus auf das Ausspielen der Inhalte an mehrere Ausgabegeräte und können im Compositing die Inhalte in festgelegtem Umfang bearbeiten, bieten *node*-basierte Anwendungen eine größere Menge an Bearbeitungsmöglichkeiten. Durch die Vielzahl an *Nodes* können komplexe Inhalte direkt in der Software erstellt und bearbeitet werden. Auf diese Weise können alle Funktionen eines Medienservers nachgebaut und an das Projekt angepasst werden. Außerdem kann in alle Prozesse eingegriffen werden und Werte können in Echtzeit beeinflusst werden. So müssen Inhalte nicht nach einer Änderung neu gerendert werden. Durch diese kleinteilige Arbeitsweise können insbesondere im Bereich der Interaktion Lösungen geschaffen werden, die mit vorkonfigurierten Medienserver-Softwares nicht möglich wären. Diese Vielfalt macht *node*-basierte Softwares allerdings im Erlernen und Anwenden komplexer.

Die beiden bekanntesten *node*-basierten Softwares, die im klassischen Arbeitsfeld eines Medienservers eingesetzt werden, sind TouchDesigner und VVVV.

5. Beispielprojekt

Um die Fähigkeiten der Server gegenüberstellen und vergleichen zu können, wird mit beiden Softwares dasselbe Beispielprojekt realisiert. Bei der Konzeptionierung des Beispiels wurde darauf geachtet, möglichst viele Funktionen der Medienserver zu fordern, um im Folgenden beurteilen zu können, welche Prozesse sich für eine Hardwarelösung eignen.

Das Ziel des Aufbaus ist es, ein dreidimensionales Objekt vollflächig mit einem an die Form des Objekts angepassten Bildes zu bespielen. Es soll der Eindruck eines homogenen, perspektivisch korrekten Bildes auf der Figur entstehen. Um dieses Ergebnis zu erreichen, sollen mehrere Projektoren eingesetzt werden, die das Objekt von verschiedenen Seiten bestrahlen. (Abbildung 13) Es wird bei einer solchen Installation von dreidimensionalem Projection Mapping bzw. 3D-Mapping gesprochen.

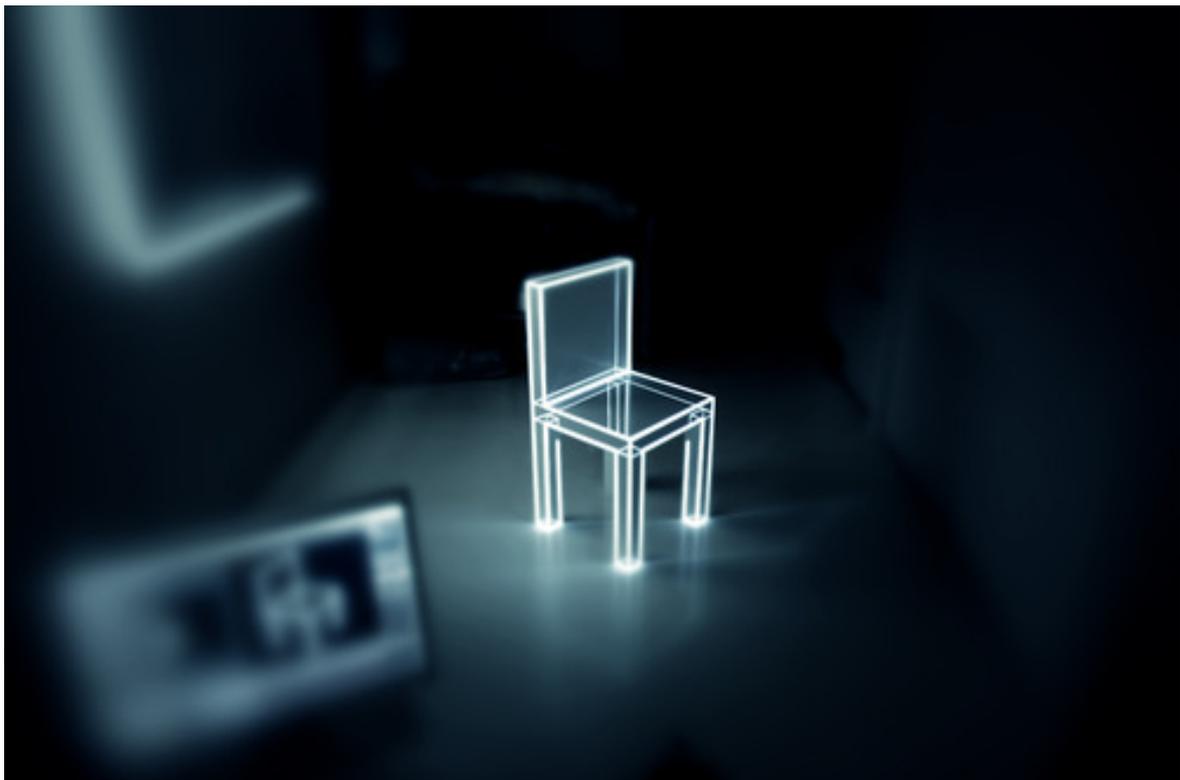


Abbildung 13: Beispiel 360 Grad gemapptes Objekt Vanishing Chair von Masaru Ozaki¹⁴

¹⁴ motiondesignmagic.com: *Vanishing Chair*

Im Verlauf der Einrichtung sollen die verschiedenen Anforderungen an die Installation eines 3D-Mappings betrachtet und ihre Handhabung in den Medienservern verglichen werden. Das Hauptaugenmerk soll auf die Einrichtung der Projektoren im realen Raum gelegt werden.

5.1. Projection Mapping

Der Begriff Projection Mapping beschreibt zunächst nur, dass mithilfe von Videoprojektionen ein Objekt als Projektionsfläche bespielt wird. Dieses Objekt kann dreidimensional sein oder eine Fläche, bei der Besonderheiten in Oberfläche oder Textur hervorgehoben beziehungsweise inhaltlich genutzt werden. Die charakteristischen Merkmale der Fläche werden gemappt.

Das erste Mal wurde diese Technik 1969 von der Walt Disney Company im Disneyland in Anaheim, Kalifornien angewendet. In der Attraktion *Haunted Mansion* wurden dreidimensionale Büsten mit vorher gefilmten Aufnahmen von Köpfen bespielt.¹⁵ (Abbildung 14) Hierdurch wird der Eindruck erweckt, die Mimik der abgefilmten Schauspieler gehörten zur Büste selbst.



Abbildung 14: Büsten in der Haunted Mansion¹⁶

¹⁵ Mine, Mark & Baar, Jeroen & Grundhöfer, Anselm & Rose, David & Yang, Bei. (2012). *Projection-Based Augmented Reality in Disney Theme Parks*

¹⁶ hauntedmansion.com: *The Phantom Five*

In diesen frühen Anwendungen der Technik wurde noch nicht mit perspektivischer Entzerrung gearbeitet. Diese fand ihre erste größere Anwendung auf der Theaterbühne in der Inszenierung von Stephen Sondheims Musical *Sunday in the Park with George* aus dem Jahr 1984. In dieser Installation wurde eine Kugel als Projektionsfläche genutzt. Die gezeigten Videoaufnahmen wurden im Vorhinein bearbeitet und in einer Weise verzerrt, dass sie auf der Kugel ein perspektivisch korrektes Bild abbilden. Auf diese Weise ist bei der Aufführung nur noch, wie bei einer klassischen Projektion, das Bild auf das Objekt zu spielen.¹⁷

Unterschieden wird zwischen zwei- und dreidimensionalem Projection Mapping. Bei zweidimensionalem Mapping werden die Eigenschaften der Oberfläche als Grundlage für den Inhalt genutzt. So können zum Beispiel auf Spielfeldern bei Sportereignissen die Spielfeldlinien mit Effekten nachgezeichnet werden, wie in Abbildung 15 das Basketballfeld der Florida Gators.

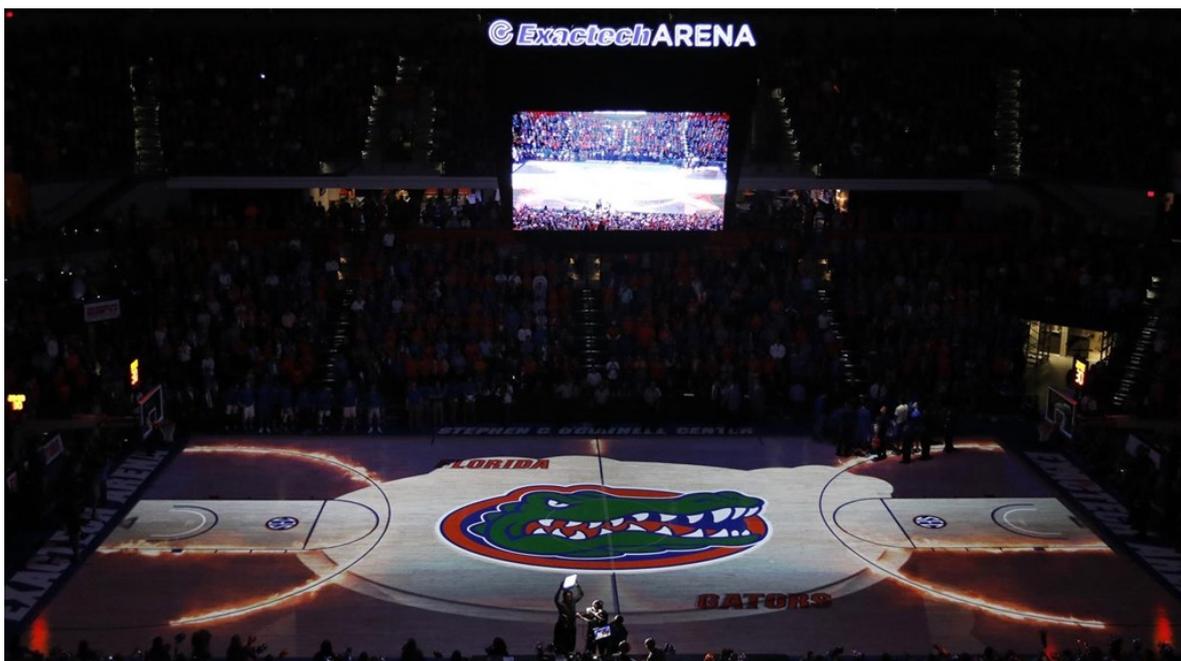


Abbildung 15: Projection Mapping auf dem Basketballfeld der Florida Gators, Foto: Courtney Culbreath ¹⁸

¹⁷ Soares, Simão 2020, 123

¹⁸ floridagators.com: *Gators Partner with Quince Imaging for Court Projection*

Beim Tape Mapping wird eine an sich plane, einheitliche Fläche mit Formen aus Klebeband (englisch: Tape) beklebt. Die hierdurch entstandenen Figuren werden durch eine Projektion mit Farben, Bewegungen und Effekten gefüllt. (Abbildung 16)

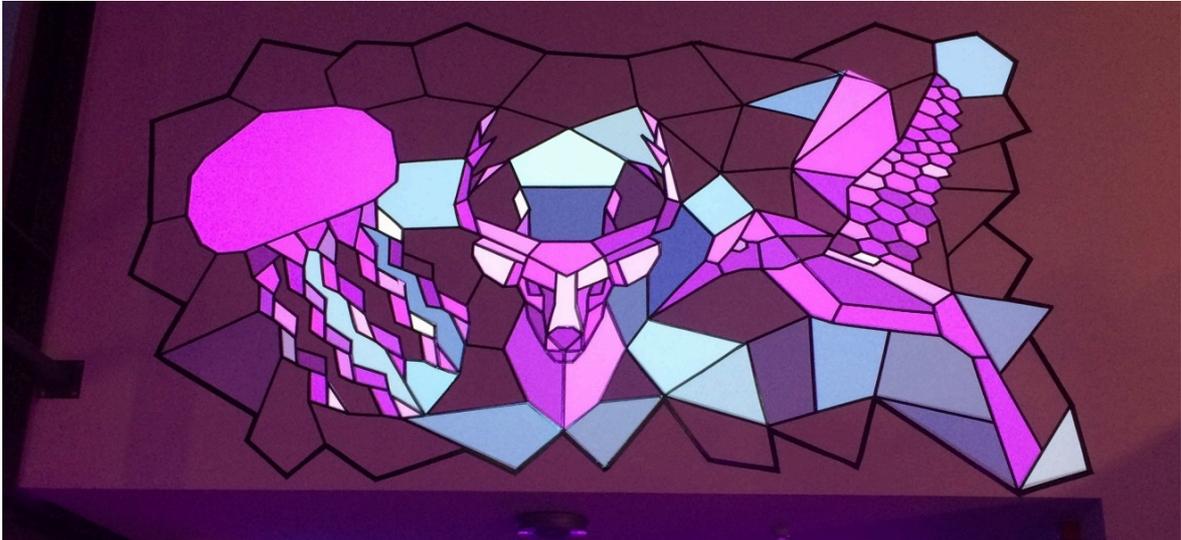


Abbildung 16: Tape Mapping am Campus Finkenau, Foto: Kevin Schweikert

Auch bei einem 2D-Mapping kann mit Tiefeneffekten gearbeitet werden. Hierbei muss beachtet werden, dass diese Effekte nur einen idealen Betrachtungswinkel haben und bei zu großer Abweichung von diesem ihren räumlichen Eindruck verlieren. Dies gilt auch für Tiefeneffekte beim dreidimensionalen Projection Mapping. (Abbildung 17)

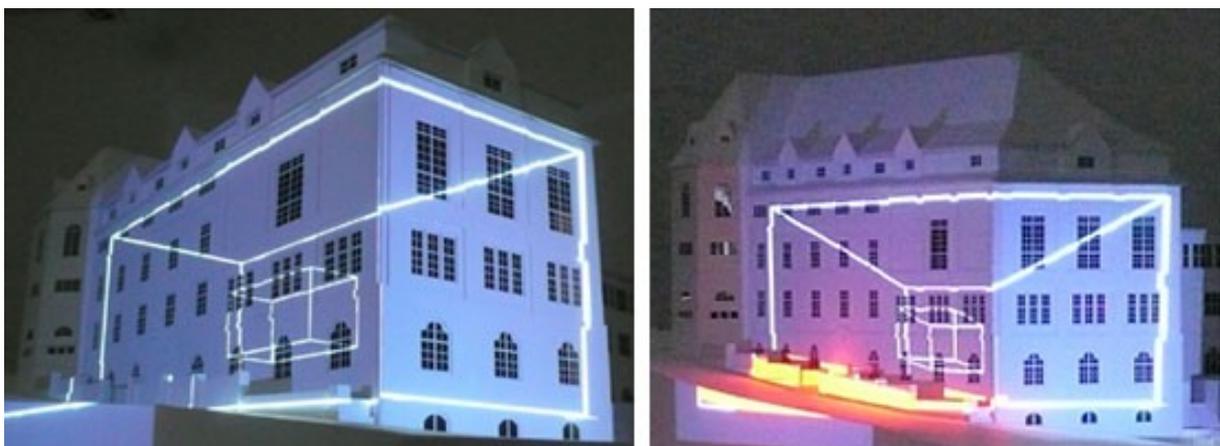


Abbildung 17: Projection Mapping mit Tiefeneffekt, links: idealer Betrachtungswinkel, rechts: Abweichung vom idealen Betrachtungswinkel¹⁹

¹⁹ www.org: How To Project On 3D Geometry

Eine Art des Projection Mappings, die sowohl zwei- wie auch dreidimensionale Form annehmen kann, ist das Fassaden-Mapping. Hierbei wird entweder nur die Fassade eines Gebäudes als Projektionsfläche genutzt oder es wird inhaltlich auf Eigenschaften und Details der Fassade eingegangen. Bei ersterem werden von der Architektur unabhängige Inhalte gezeigt, die aber auf die Form und Größe der Fassade angepasst werden. (Abbildung 18)

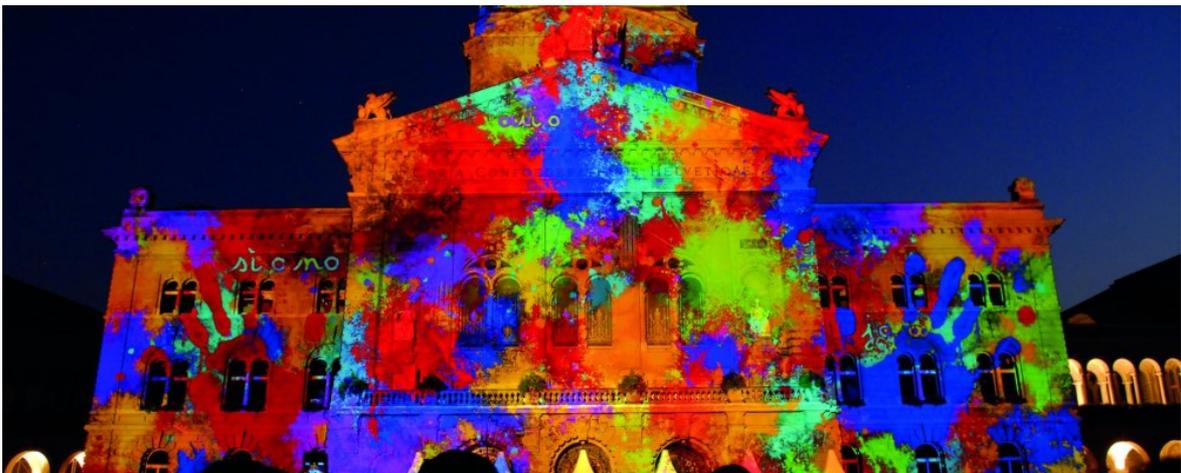


Abbildung 18: Fassaden Mapping ohne Bezug auf die Architektur²⁰

Wird auf die Architektur des Gebäudes eingegangen, kann dies wie bereits beim zweidimensionalen Mapping beschrieben zum Beispiel durch das Nachziehen markanter Details der Fassade passieren. (Abbildung 19) Ein oft verwendetes Motiv ist das der zerfallenden Fassade. Hierbei wird zunächst der Anschein erweckt, das Gebäude sei nicht bespielt, wobei jedoch ein digitaler Nachbau der Fassade auf selbige projiziert wird. Im Anschluss wird dieses digitale Modell aufgelöst, sodass es wirkt, als würde die reale Gebäudefront zerfallen. Oft wird in diesem Kontext ebenfalls mit perspektivischen Tiefeneffekten gearbeitet. (Abbildung 20)

²⁰ barco.com: e-book projection mapping: "Challenges when dealing with millions of pixels"



Abbildung 19: Fassaden Mapping mit Bezug auf die Architektur²¹



Abbildung 20: Fassaden Mapping mit zerfallender Fassade²²

Wird ein Objekt von allen sichtbaren Seiten projiziert entsteht der Anschein eines selbstleuchtenden Körpers. Hierbei verliert sich der Eindruck einer Projektionsfläche und entwickelt sich hin zu einem eigenständigen Objekt (vgl.: Vanishing Chair). Dreidimensionales Projection Mapping dieser Art findet besonders häufig Anwendung in der Präsentation und Bewerbung von Automobilen. Da die Fahrzeuge auf Messen oder bei Präsentationen auf Bühnen statisch gezeigt werden müssen, können Videoprojektionen ein Bindeglied zwischen dem Objekt Auto und der eigentlich damit assoziierten Dynamik des Fahrens darstellen. Durch eine Animation von sich drehenden Reifen oder Linien, die die aerodynamische Form des Wagens nachziehen, entsteht ein Bewegungseindruck. Durch simulierten Lichteinfall oder Witterungsbedingungen wie Regentropfen kann das Objekt aus der Präsentationsumgebung optisch in die reale Welt versetzt werden. Außerdem können besondere Funktionen des Autos dem Betrachter näher gebracht werden. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Installation der Firma *La Scope* eines transparent anmutenden Jaguars für ein Jaguar Tour Event in China im Jahr 2012. So kann das Getriebe des Wagens mitpräsentiert werden. (Abbildung 21)

²¹ eventprojection.co.uk: *Services Projection Mapping*

²² mymodernmet.com: *Dancing House: Interactive Projection Mapping Crumbles House to Movement*



Abbildung 21: Projection Mapping Jaguar Tour Event in China im Jahr 2012²³

Außerdem kann bei Präsentationen von Neuwagen die durch computergenerierten Inhalt futuristische Anmutung eines 3D Mappings einen Eindruck von Innovation beim Betrachter erzeugen.

Ein weiterer besonderer Anwendungsfall des Projection Mappings ist die *Domeprojection*. Hierbei handelt es sich um die Bespielung der Innenseite einer Halbkugel. Diese aus Planetarien bekannte Perspektive sorgt durch eine 360° Rundumprojektion und einen realen Tiefeneindruck für eine größere Immersion des Zuschauers als eine einfache Rundumprojektion. (Abbildung 22)

In Planetarien werden immer häufiger *Domeprojections* eingesetzt um alternativ zu den klassischen Sternenprojektoren auch andere Videoinhalte zeigen zu können.

²³ vimeo.com: JAGUAR MY13 - MAPPING ON A TRANSPARENT JAGUAR-HD



Abbildung 22: Beispiel einer Domeprojection²⁴

Die *Domeprojection* stellt einen der komplexesten Anwendungsfälle für dreidimensionales Mapping dar. Durch die konkave Form der Projektionsfläche ergeben sich innerhalb eines Projektorbilds unterschiedlich große Projektionsabstände. Dies führt zu signifikanten Helligkeitsunterschieden. Außerdem muss mehr noch als bei einem klassischen 3D-Mapping mit *Warping* gearbeitet werden, was zu Verzerrungen und Verlusten im Schärfeeindruck führen kann. Deshalb wird empfohlen, mit mehreren und dafür kleineren Projektionsflächen zu arbeiten.²⁵ Dadurch werden die Unterschiede im Strahlengang des projizierten Bildes geringer und es müssen weniger perspektivische Korrekturen vorgenommen werden.

Aus diesen Gründen kommt es bei der *Domeprojection* vermehrt zum Einsatz von sich selbst einmessenden Systemen und speziell auf diese Art der Projektion ausgelegter Software.

5.1.1. Technische Anforderungen des 3D Projection Mappings

Um ein dreidimensionales Objekt vollflächig und einheitlich zu bespielen, müssen im Regelfall mehrere Projektoren zum Einsatz kommen. Je nach Größe und Komplexität

²⁴ newsandviews.dataton.com: *TECH CHECK: PROJECTION IN DOMES*

²⁵ help.avstumpfl.com: *Dome Projection*

des Objekts steigt die Anzahl der benötigten Geräte. Um ein homogenes Bild auf der gesamten Projektionsfläche zu erzeugen ist es wichtig, dass alle Projektoren dieselben Farben, Weißpunkte und Helligkeiten aufweisen. Die projizierten Flächen der einzelnen Geräte müssen nahtlos ineinander übergehen und der Content darf am Rand nicht über das bespielte Objekt hinausragen. (Abbildung 23) Außerdem ist es wichtig, dass die Inhalte über alle Ausspielwege zeitsynchron wiedergegeben werden.



Abbildung 23: Sich nicht exakt überlagernde Projektorbilder, die zu Unschärfen führen

Bevor der Inhalt für das 3D Projection Mapping erstellt werden kann, wird ein dreidimensionales Modell des zu bespielenden Objekts benötigt. Wird die Projektionsfläche speziell für das Projection Mapping angefertigt kann das digitale Modell auch zuerst modelliert werden und als Grundlage für den Bau dienen. (Abbildung 24 & 25)



Abbildung 24: 3D Modell eines Elefantenkopfs



Abbildung 25: Nach Vorlage des 3D Modells gebaute Figur

Ist dies nicht der Fall müssen die realen Objekte nachgebaut werden. Körper die einfachen geometrischen Formen entsprechen, wie zum Beispiel ein Würfel, können mit Hilfe eines 3D-Grafikprogramms nachgebaut werden.

Bei komplexeren Projektionsflächen, wie zum Beispiel einer Hausfassade mit vielen Details, wird das Modell meist nicht händisch erstellt. Zwei Methoden die hierbei häufig zum Einsatz kommen sind der *3D-Scan* und die *Photogrammetrie*. Beim *3D-Scan* wird mit Hilfe eines Laserscanners zum Beispiel eine Fassade abgetastet und aus den gesammelten Daten eine Punktwolke erstellt. Aus dieser Punktwolke kann im Anschluss ein solides 3D-Modell erstellt werden. (Abbildung 26)



Abbildung 26: Aus vielen 3D Scans resultierende Punktwolke des Notre Dame ²⁶

Die *Photogrammetrie* erstellt ihr 3D-Modell aus einer Reihe von Fotos. Hierbei wird darauf geachtet, dass die Bilder jeden Teil der Fassade aus verschiedenen Winkeln abdecken und dass die Bilder sich zu einem gewissen Anteil überlagern. Dies hilft im Anschluss in einer *Photogrammetrie* Software wie zum Beispiel *ReCap* der Firma Autodesk die Bilder anhand der gleichen Bildanteile räumlich zu ordnen. So fertigt die Software aus den einzelnen Fotos ein zusammenhängendes 3D-Modell an. (Abbildung 27) Ein Vorteil dieses Verfahrens ist, dass das Referenzmodell neben der Form auch detailliertere Informationen über das Aussehen des Objektes, wie Farbe oder Oberfläche beinhaltet. Außerdem wird anders als beim *Fassaden-Scan* keine kostspieliger Laser-scanner benötigt. Dem gegenüber steht, dass die *Photogrammetrie* erheblich zeitaufwändiger ist als ein Scan.

²⁶ 3dscan.it: *RESTORING BY SCANNING: laser scanner technology and 3D images could be the key to the reconstruction of Notre-Dame.*



Abbildung 27: Photogrammetrie Modell einer Hausfassade²⁷

Ist das digitale dreidimensionale Objekt erstellt, kann es als Grundlage für die Herstellung des Contents genutzt werden. Die Datei kann entweder in einem Grafikprogramm wie zum Beispiel *After Effects* der Firma Adobe oder einem speziell auf Projection Mapping ausgelegten Programm wie zum Beispiel *Mad Mapper* der Firma GarageCube weiterverwendet werden. Innerhalb dieser Programme werden Masken für die Objekte erstellt, mit denen im Anschluss die Inhalte auf dem Objekt verteilt werden können. Alternativ wird eine UV-Map des Objekts erstellt. Eine UV-Map ist eine Textur mit Koordinaten, die einem definierten Punkt auf dem Körper zugehörig sind. Dargestellt wird sie als zweidimensionales Körpernetz, das den dreidimensionalen Körper repräsentiert. Die UV-Map wird als Bestandteil des 3D-Objekts abgespeichert und gibt dem Medienserver Auskunft darüber, wie ein zweidimensionaler Inhalt auf dem Objekt verteilt werden soll. Diese UV-Map wird dann als Schablone zur Erstellung des Contents benutzt. Sie kann entweder automatisch aus einer 3D-Modeling Software erstellt werden oder vom Nutzer angepasst und in die für das Mapping relevanten Bereiche aufgeteilt werden. Hierbei wird das Objekt zur besseren Orientierung in Spielflächen aufgeteilt. Entlang seiner Kanten (englisch: edges) werden die Grenzen der einzelnen Spielflächen gesetzt. Insbesondere bei komplexeren Objekten mit vielen Abstufungen hilft dieses Verfahren dabei eine UV Map zu erstellen, in der sich die korrespondierenden Flächen leichter erkennen und bearbeiten lassen. (Abbildung 28 & 29)

²⁷ enicbmed.eu: *What is the “digital photogrammetry” of a building? Discover it with the BEEP project*

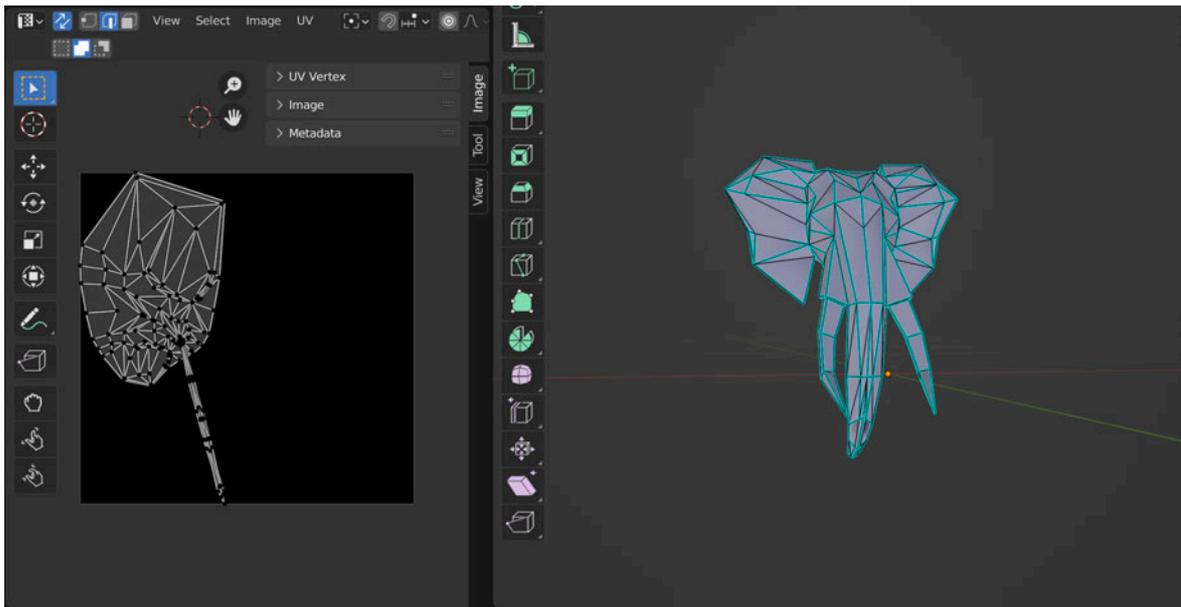


Abbildung 28: Automatisch erstellte UV-Map in Blender

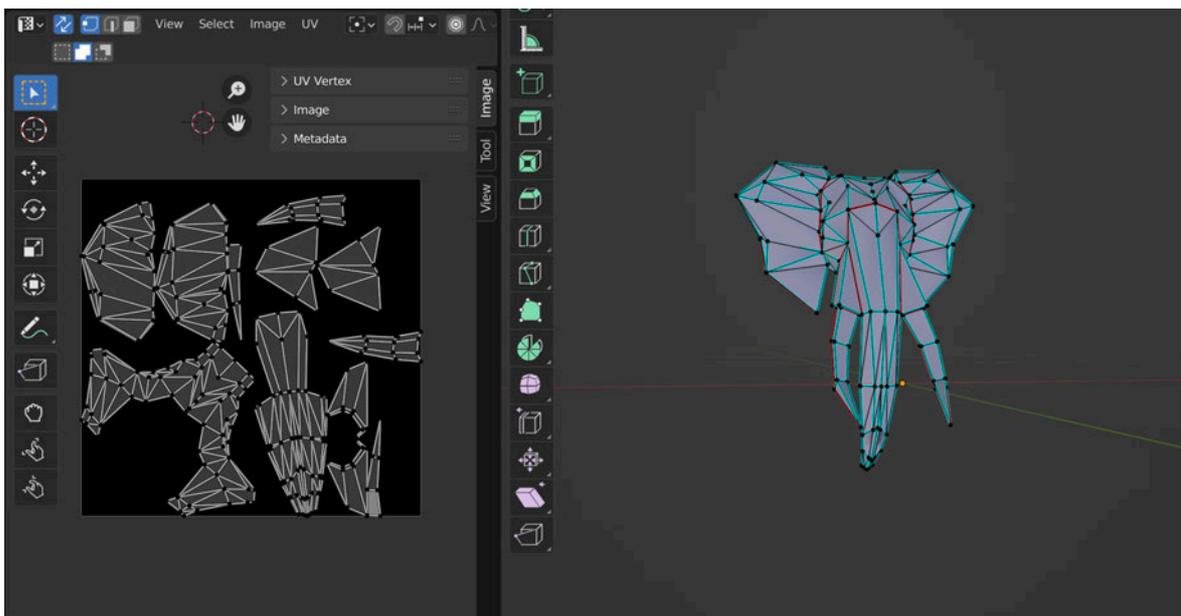


Abbildung 29: Nach Spielflächen aufgeteilte UV-Map in Blender

5.2. Relevante Werkzeuge für das Projection Mapping

Um die Herangehensweise an ein 3D Projection Mapping besser zu verstehen, werden im Folgenden hierfür relevante Arbeitsschritte und Werkzeuge innerhalb eines Servers erklärt.

5.2.1. Compositing

Der Begriff Compositing beschreibt die Verarbeitung mehrerer Bildquellen zu einem einheitlichen Gesamtbild. Der Überbegriff Compositing in einem Medienserver umfasst allerdings sowohl Bild- als auch Audioquellen.

Diese werden in den meisten Servern, ähnlich zum Videoschnitt, in Layern angelegt. Ein Layer beschreibt eine einzelne, unabhängige Spur, auf der die Inhalte angeordnet werden. Die Quellen können hintereinander abgespielt oder mit Hilfe mehrerer Layer durch Übergänge verbunden oder übereinander dargestellt werden. Alle Layer befinden sich innerhalb einer Timeline auf einer gemeinsamen Zeitachse. (Abbildung 30)

Außerdem können beim Compositing die Sequenzen mit Effekten bearbeitet werden. In welchem Umfang diese Bearbeitung möglich ist, hängt vom Medienserver ab.

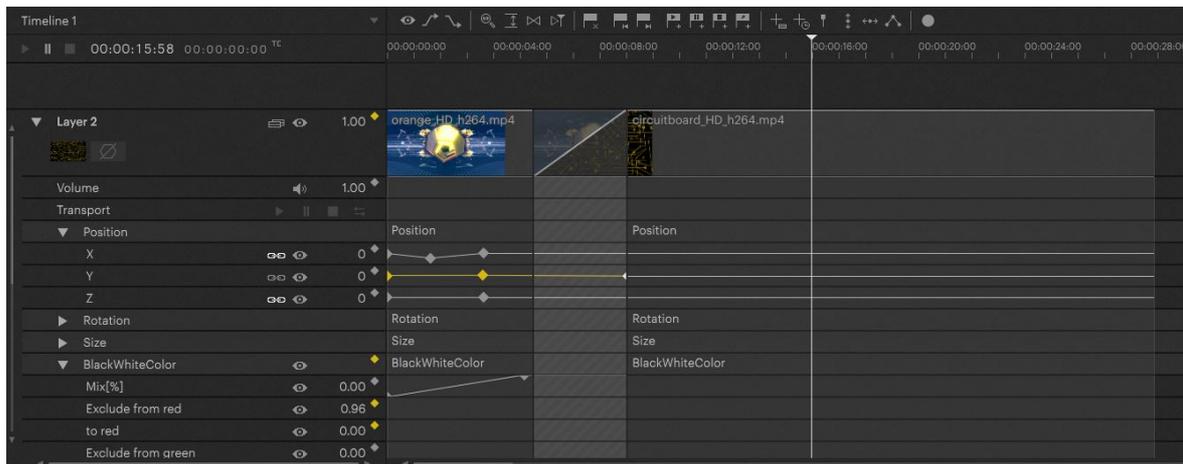


Abbildung 30: Beispiel einer Timeline in Pixera

5.2.2. Mapping

Ein weiterer Teilbereich in der Arbeit mit einem Medienserver ist das Mapping. Der Begriff beschreibt die Verteilung und Anpassung der einzelnen Signale auf die Abspielgeräte.

Bei der Verwendung von Displays oder LED-Wänden wird ausgewählt, ob das gesamte Bild gezeigt wird oder nur ein Teilausschnitt. Es können auch mehrere Displays mit beliebigen Ausschnitten eines Ausgangssignals bespielt werden. (Abbildung 31)

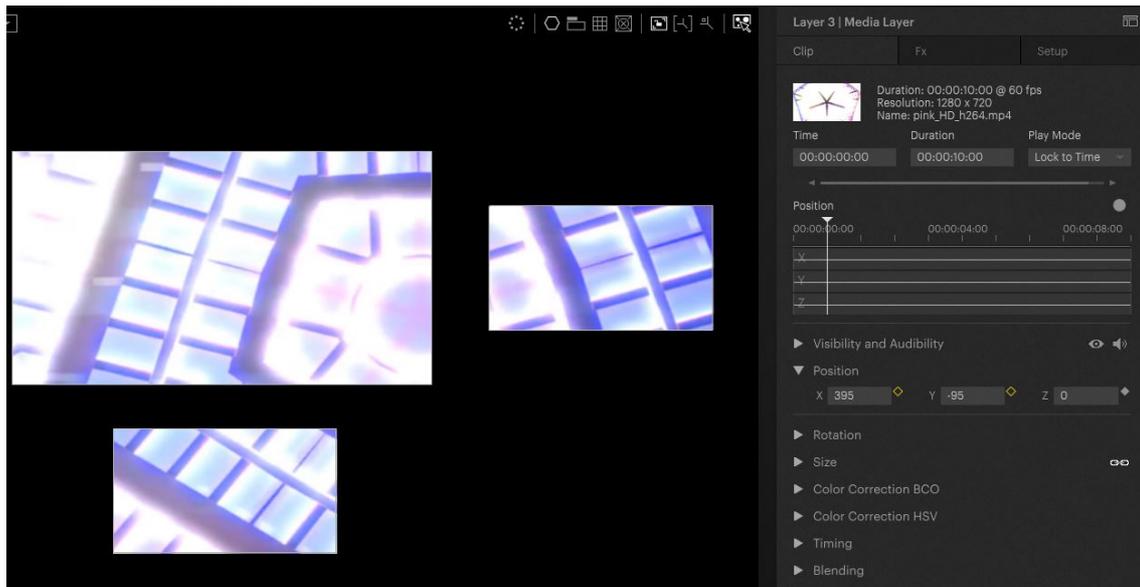


Abbildung 31: Drei Displays zeigen unterschiedliche Anteile eines einzelnen Layers (Pixera)

Bei der Projektorplanung werden Projektoren in Relation zur zu projizierenden Fläche, auch Screen genannt, positioniert. Projektor und Screen werden im dreidimensionalen Raum angeordnet und gemäß ihren realen Maßen in einem Koordinatensystem angeordnet. Da hierdurch bekannt ist, wie Fläche und Projektor zueinander orientiert sind und welcher Inhalt auf dem Objekt zu sehen sein soll, können die benötigten Bildausschnitte und möglicherweise benötigte Verzerrungen zum Ausgleich realer geometrischer Versätze vom Server für den Output berechnet werden. Wie in Abbildung 32 zu sehen ist, zeigt der Projektor nur den Anteil des Screens, den er aus seiner Position projizieren kann.

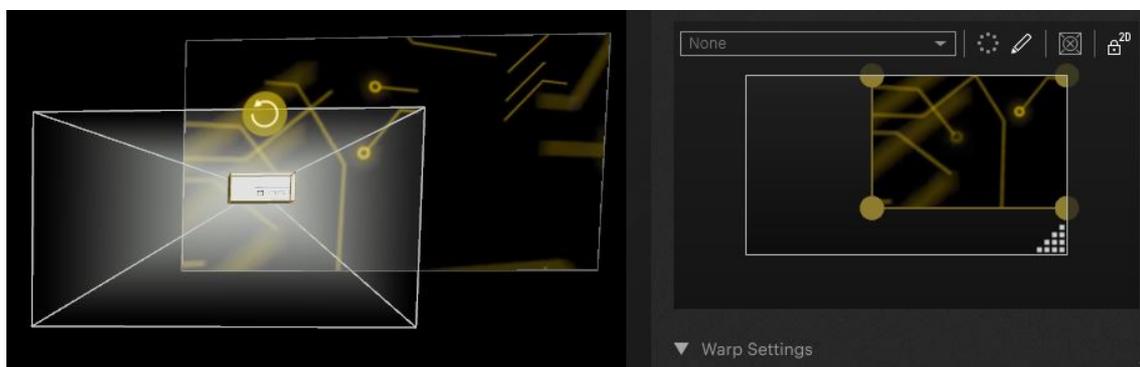


Abbildung 32: Output des Projektors (rechts) zeigt Anteil des Screens (Pixera)

Hierzu benötigt der Server neben der Orientierung auch Informationen über die Eigenschaften von Projektor und Objektiv. Drei wichtige Einstellungen in diesem Zusammenhang sind Lens Shift, Projektionsverhältnis der Linse (auch als Throw Ratio bezeichnet) und das Bild-Seitenverhältnis. (Abbildung 34)

Lens Shift ist eine Funktion, bei der das Objektiv innerhalb des Projektorgehäuses so zur Lichtquelle verschoben wird, dass das gesamte Bild in X- und Y-Achse verschoben werden kann. In welchem Maß dies möglich ist, hängt vom Projektormodell ab. (Abbildung 33)

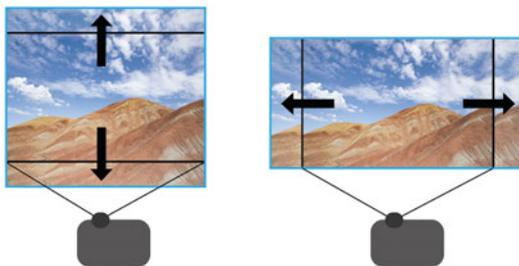


Abbildung 33: Lens Shift vertikal und horizontal²⁸

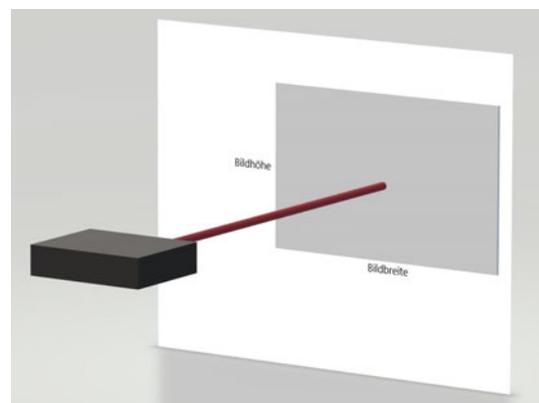


Abbildung 34: Projektionsabstand (rot)

Das Projektionsverhältnis beschreibt, wie sich Projektionsabstand und ausgegebene Bildbreite zueinander verhalten. Bei einem Objektiv mit einer Throw Ratio von 1,4:1 wird in einem Abstand von 140cm ein Bild mit einer Breite von 100cm projiziert. Bei Objektiven mit Zoom lässt sich die Throw Ratio stufenlos verstellen. Die Throw Ratio wird dann als Bereich angegeben, zum Beispiel 1,8 - 2,4:1.

Hieraus und aus dem Seitenverhältnis zwischen Bildhöhe und Bildbreite des Projektors ergibt sich die Größe des Gesamtbilds. Die gängigsten Bild-Seitenverhältnisse bei Projektoren sind 4:3, 16:9 und 16:10. Diese Daten können selbst eingepflegt werden oder über eine Datenbank bereits im Medienserver vorhanden sein.

Zwar können alle Schritte der Einrichtung eines Mappings in der Einrichtungsphase (englisch: preprogramming) des Servers vorgeplant werden, aber trotz genauer Planung muss eine Installation den Gegebenheiten der Spielstätte angepasst werden. Mögliche Probleme können zum Beispiel nicht korrekt angebrachte Projektoren oder

²⁸ beamerexpert.nl: *Wat is lens shift bij een beamer?*

eine Projektionsfläche, die nicht genau dem 3D-Modell entspricht, darstellen. Außerdem verhalten Projektoren sich nicht immer wie ihr idealisiertes Äquivalent in der Software des Medienservers. Hier kommt das Mapping in Echtzeit zum Einsatz. Das vorgeplante Bild wird auf die Projektionsfläche gegeben und mit Hilfe verschiedener Werkzeuge auf die Fläche angepasst. Diese Werkzeuge werden im weiteren Verlauf dieses Kapitels noch genauer beschrieben. Da die Anpassung direkt auf dem Objekt vorgenommen wird, müssen Veränderungen in Echtzeit vom Server verarbeitet und ausgegeben werden.

5.2.3. Keystone-Korrektur

Die Keystone-Korrektur, die auch Trapezkorrektur genannt wird, kommt zum Einsatz wenn sich ein Projektor nicht orthogonal zur Projektionsfläche befindet. Eine Abweichung vom rechten Winkel sorgt dafür, dass sich die projizierten Bildkanten nicht mehr im gleichen Abstand zum Objektiv befinden. Dadurch wirkt die weiter entfernte Bildkante gestreckt, die sich näher befindende gestaucht. Um dieser trapezförmigen Verzerrung entgegenzuwirken, müssen die Ecken des projizierten Bildes in einer Art verschoben werden, dass die Bildkanten wieder parallel zueinander verlaufen. (Abbildung 35) Die weiter vom Objektiv entfernte Kante wird gestaucht. Dieser Vorgang sorgt für einen Verlust von Auflösung, da Pixel, die über die Bildhöhe der näheren Bildkante hinausgehen, ungenutzt bleiben müssen. Außerdem kann hierdurch der Helligkeitseindruck des Bildes verringert werden, da weniger Fläche des Sensors genutzt wird.

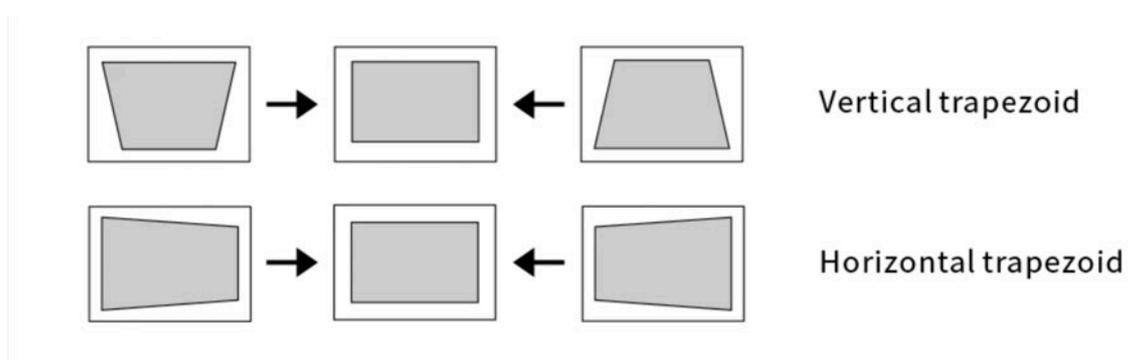


Abbildung 35: Beispiel vertikale und horizontale Trapezkorrektur²⁹

²⁹ mall.dangbei.com: *Analysis of Two Types of Smart Projector Keystone Correction*

Die Keystone-Korrektur kann in den Projektoren direkt vorgenommen werden oder das Bild wird bereits im Medienserver angepasst und inklusive der Keystone-Korrektur an das Abspielgerät übergeben. Sie kommt vorwiegend bei der Projektion auf plane, rechteckige Flächen zum Einsatz.

Aufgrund der beschriebenen Verluste in Auflösung und Helligkeit sollte die Trapezkorrektur im Idealfall durch korrekte Projektorpositionierung vermieden werden.

5.2.4. Warping

Reicht eine Trapezkorrektur nicht aus kommt eine weitere Form der Bildverzerrung ins Spiel. Beim Warping wird das Bild in Segmente aufgeteilt, deren Eckpunkte einzeln verschoben werden können. Meist kann nur die Menge der Segmente in X- und Y-Achse ausgewählt werden, diese werden dann gleichmäßig auf dem Bild angeordnet. Es gibt allerdings auch Medienserver, in denen die Linien zur Aufteilung der Segmente frei platziert werden können.

Bei diesem Verfahren wird jedes Pixel des Originalbilds einem neuen Pixel im ausgegebenen Bild zugeordnet. Da hierbei Bildanteile gestreckt bzw. gestaucht werden müssen, können diese entweder wegfallen oder müssen interpoliert werden. Dies kann bei zu starkem Warping zu Unschärfen und anderen Artefakten führen.

Wie die Pixel innerhalb der Segmente verschoben werden hängt von der Art des Warping ab. Hier kann grob zwischen zwei Arten unterschieden werden. Zum einen kann eine lineare Abhängigkeit festgelegt werden. Hierbei wird jeder Pixel, der sich zwischen dem bewegten Eckpunkt und einem Nachbarpunkt befindet, gleichmäßig auf die Distanz zwischen den Punkten verteilt. Wie in Abbildung 36 zu sehen ist, werden die Pixel oberhalb des Punktes gestaucht, darunter gestreckt. Unterhalb des Punktes müssen dem entsprechend neue Pixel interpoliert werden. Da die an den Eckpunkt angrenzenden Segmente nun nicht mehr rechteckig sind, muss diese Neuverteilung der Pixel auf der gesamten Breite jedes Segments geschehen.

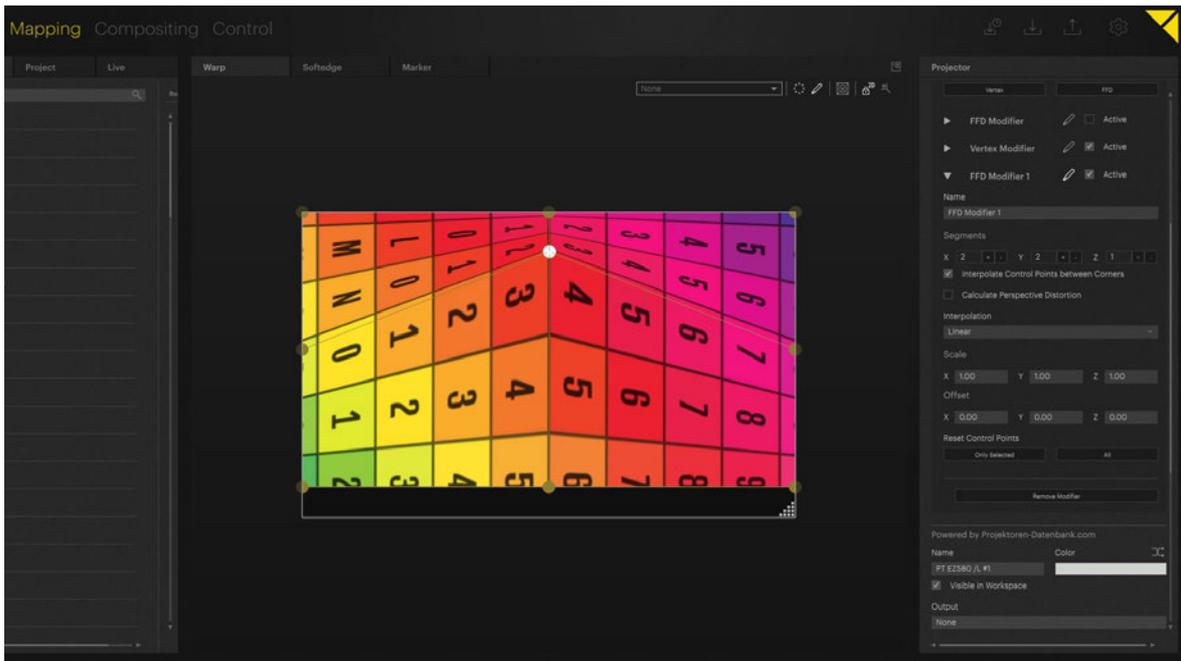


Abbildung 36: Beispiel für lineares Warping in Pixera

Die zweite Art des Warpings funktioniert in einer ähnlichen Weise. Hierbei werden die Pixel allerdings nicht linear zwischen den gesetzten Punkten verteilt, sondern in Form einer Bézierkurve. Bézierkurven sind Freiformkurven, die je nach Grad anhand von zwei bis n Punkten definiert werden.³⁰ (Abbildung 37) In der Arbeit mit Medienservern finden am häufigsten quadratische Bézierkurven mit drei und kubische Bézierkurven mit vier Referenzpunkten Anwendung. Mit Hilfe von Anfasspunkten (Abbildung 38) können Richtung und Neigung der Kurve zwischen den Punkten beeinflusst werden.

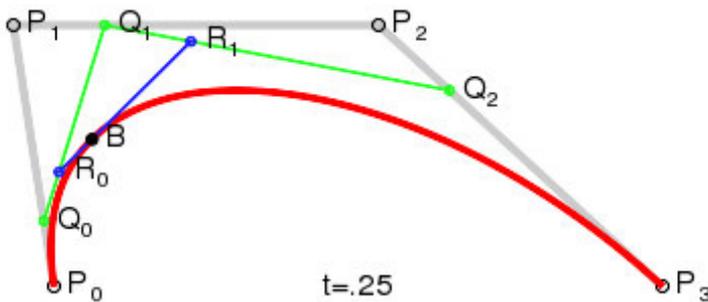


Abbildung 37: Bézierkurve 3. Grades (rot)³¹

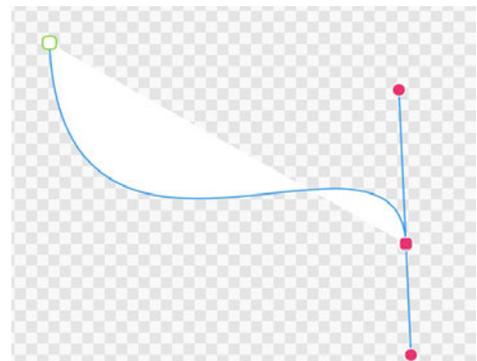


Abbildung 38: Bézierkurve mit Anfasspunkten (magenta)

³⁰ wikipedia.org: Bézierkurve

³¹ Wikipedia Commons (Ag2gaeh): Bezier-cast-3



Abbildung 39: Beispiel für Warping in Form einer Bézierkurve in Pixera

So können wie in Abbildung 39 zu sehen, Wölbungen erzeugt werden wenn mit einer Bézier Kurve gearbeitet wird. Ein gutes Beispiel für die Arbeit mit einem auf Bézier-Kurven basierendem Warping ist eine gebogene Projektionsfläche. (Abbildung 40) Zwar können diese auch als 3D-Modell in den Server eingepflegt werden. Ist dieses Modell jedoch nicht vorhanden oder zu ungenau, lassen sie sich mit dem Warping Werkzeug anpassen.

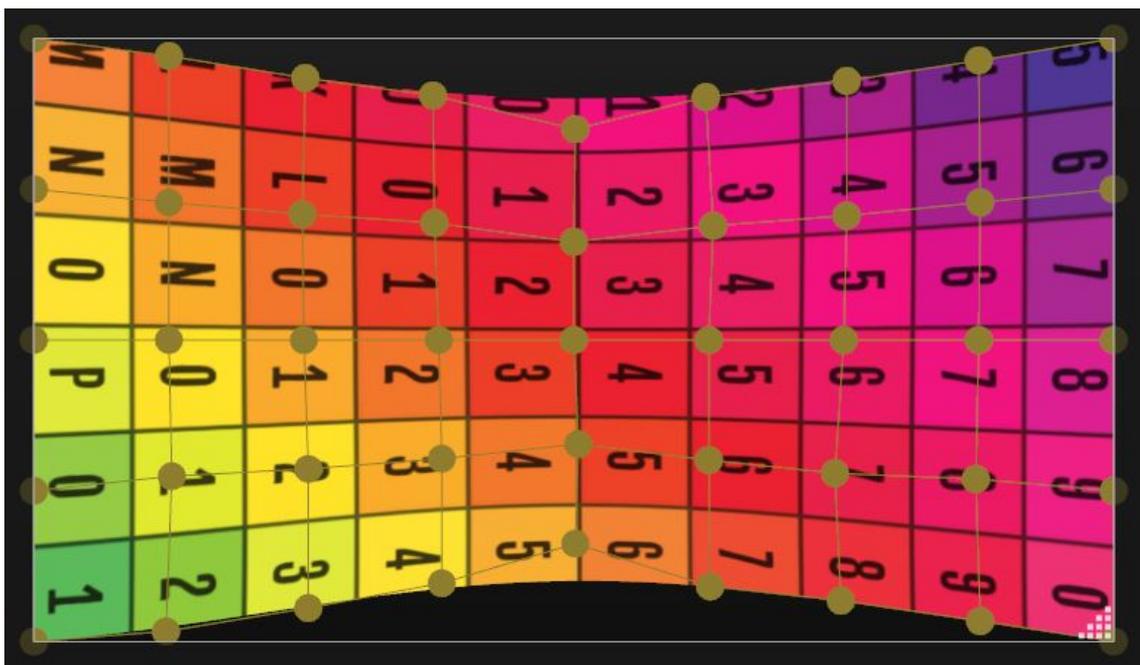


Abbildung 40: Beispiel für Warping einer gebogenen Projektionsfläche in Pixera

Einige Medienserver bieten eine zusätzliche Form des Warpings an. Sie kann als Mesh-Warping bezeichnet werden. Hierbei wird das Bild nicht gleichmäßig in Segmente unterteilt, sondern die Eckpunkte der Segmente orientieren sich am 3D-Modell des Objektes, das die Projektionsfläche darstellt. Diese Eckpunkte sind aus der Gitternetzstruktur des Objekts, dem Mesh, bekannt. Es ermöglicht eine schnelle und leicht zugängliche Arbeit, da das Bild an die Projektionsfläche gekoppelt ist und so nur noch die Eckpunkte des Meshs auf die realen Gegenstände eingerichtet werden müssen.

5.2.5. Softedge

Um mit mehreren Projektoren ein einheitliches Bild schaffen zu können, müssen ihre Anteile am Gesamtbild fließend ineinander übergehen. In den meisten Fällen können die Bilder nicht auf Stoß nebeneinander projiziert werden, sondern müssen sich überlagern. Auch bei gleichem Bildinhalt wäre eine Überlagerung ohne Softedge gut sichtbar, da sich in diesem Punkt die Helligkeiten beider Projektoren addieren. (Abbildung 41) Um einen nahtlos wirkenden Übergang zu erzeugen, wird eine Maske über die sich überlagernden Bildanteile gelegt. Diese Maske bildet einen Helligkeitsverlauf von 100 zu 0 Prozent in Form eines Grauverlaufs ab, der über die Inhalte gelegt wird. Teilweise kann eingestellt werden, ob er die Deckkraft der Maske linear abfällt oder eine Kurve beschreibt. Indem diese Maske auf beiden Bildanteilen gegenläufig eingesetzt wird, addieren sich die Helligkeiten an jedem Punkt zu 100 Prozent. Ein Softedge am Rand einer Projektion kann genutzt werden, um harte Kanten zu vermeiden und die Projektion nach außen hin auszublenden.

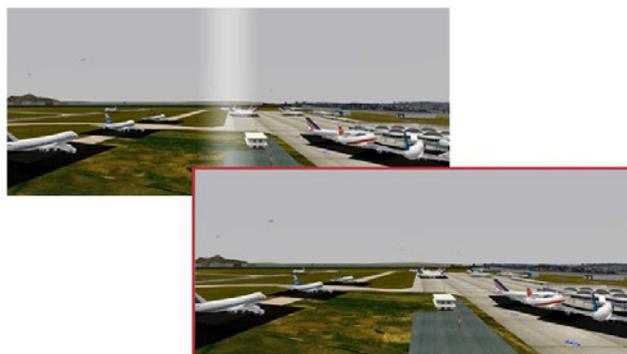


Abbildung 41: Beispiel für eine Projektion mit (roter Rahmen) und ohne Softedge ³²

³² barco.coml: OSEM (Optical Softedge Matching – optischer Abgleich bei der Softedge-Projektion)

5.2.6. Helligkeit

Nicht nur überlagernde Projektionen können einen homogenen Helligkeitseindruck stören, auch verschiedene Projektionsabstände oder Unterschiede in der Hardware bedingen dies.

Bei der Arbeit mit Projektoren unterschiedlichen Typs ist mit unterschiedlichen Helligkeitseindrücken zu rechnen. Bei mehreren Projektoren des gleichen Typs können trotzdem aufgrund des Alters des Leuchtmittels bzw. den bereits getätigten Lampenstunden Helligkeitsunterschiede auftreten. Die Lichtstärke von Projektoren wird in ANSI-Lumen angegeben und beschreibt den Lichtstrom pro Fläche, den der Projektor auszugeben in der Lage ist. Es wird die mittlere Leuchtdichte auf einer Fläche betrachtet, um mögliche Unregelmäßigkeiten in der Leuchtdichteverteilung miteinzubeziehen.³³ ANSI steht hierbei für das American National Standards Institute, das das Verfahren zur Bestimmung der Helligkeit normiert hat.³⁴

Bei geringen Helligkeitsunterschieden kann die Korrektur entweder im Projektor oder im Medienserver vorgenommen werden. Da nur nach unten, also dunkler korrigiert werden kann, muss bei zu ausgeprägten Abweichungen eine andere Lösung gewählt werden. Es können zum Beispiel zwei Projektoren das gleiche Bild wiedergeben und so ihre Leuchtkraft addieren.

Auch das zu bespielende Objekt hat einen Einfluss darauf, wie hell das Bild wahrgenommen wird. Farbe und Oberflächenstruktur des Objekts beeinflussen, wie gut das einfallende Licht des Projektors reflektiert wird. Diese Eigenschaft wird als Reflexionsgrad oder Gain-Faktor bezeichnet. Ist das Objekt nicht einheitlich gefärbt oder muss gegen Schatten angearbeitet werden, betrifft dies nicht die gesamte Projektionsfläche. Die Korrektur findet in diesem Fall im Inhalt statt.

5.2.7. Farbkalibrierung

Ebenfalls auf die Unterschiede in der Hardware zurückzuführen ist ein uneinheitlicher Farbeindruck. Dieser kann das gesamte Bild betreffen oder nur Teilbereiche. Letzteres ist besonders bei Flächen, die wie z.B. LED-Wände aus mehreren Bauteilen zusammengesetzt werden möglich. Ist die Farbdarstellung nicht im Ausgabegerät selbst zu

³³ Schmidt 2021, 368

³⁴ Greule 2021, 197/198

korrigieren, kann mit dem Medienserver Abhilfe geschaffen werden. Eine einfache Farbkorrektur des gesamten Bilds bietet jeder gängige Medienserver. Um nur Teilbereiche zu korrigieren, bedarf es bestimmter Effekte, die nicht jedes Gerät bietet.

Um die Farbkalibrierung durchzuführen, werden genormte Testbilder auf das Ausgabegerät gespielt. Es wird darauf geachtet, dass Farben realitätsnah abgebildet und zueinander abgestimmt werden, also keine Farbe verblasst oder überbetont wird. Außerdem wird der Weißpunkt abgeglichen, sodass eine einheitliche Farbtemperatur dargestellt wird. Die Geräte müssen sich zum einen zueinander gleich verhalten und dieselben Farben gleich darstellen, zum anderen muss die gesamte Installation auch auf den Zuschauenden abgestimmt werden. Wird die Installation nur vom Publikum vor Ort betrachtet, wird eine Anpassung an das reale Seherlebnis vorgenommen. Wird die Installation abgefilmt, muss ebenfalls eine Anpassung an die eingesetzten Kameras erfolgen. Diese können andere Anforderungen haben als der reine Seheindruck.

6. Vergleich der Einrichtung zweier Server in einem Versuchsaufbau

6.1. Auswahl

Zum Vergleich in dieser Arbeit wurden die Medienserver Softwares der Firmen Christie und AV Stumpfl ausgewählt. Beide gehören zu den Marktführern im Bereich Medienserver und bewerben ihre Software mit Beispielen aus dem Bereich *Projection Mapping*.

Was den Vergleich spannend macht, sind die Historien der Server. Pandoras Box vom Hersteller Christie ist schon lange am Markt vertreten und galt gerade in ihrer Anfangszeit als besonders innovativ.³⁵ Mit der neuen Version 8 wurden Funktionen, die bei anderen Herstellern lange schon Standard sind nun neu implementiert. Der Fokus liegt nicht mehr so stark wie bisher auf der Arbeit im zweidimensionalen Raum.³⁶ Außerdem ist die Version 8 die erste Version von Pandoras Box, die ein Arbeiten mit allen Funktionen der Software ohne zwingenden Kauf der Hardware ermöglicht.³⁷

Dem gegenüber steht die Pixera Software der Firma AV Stumpfl. Obwohl es die Firma schon seit 1975 gibt, ist der Medienserver Pixera erst im Frühjahr 2019 als Nachfolger zum Wings RX Medienserver vorgestellt worden und damit einer der jüngsten Vertreter auf dem Markt. Innerhalb dieser kurzen Zeit konnte er sich aber dennoch schon in der Branche etablieren und wurde auch in größeren Kontexten häufig genutzt. Die Software wurde mit dem Ziel entwickelt einen „radikal neuen Ansatz“ im Bereich Nutzerfreundlichkeit zu schaffen.³⁸

So stellt sich in diesem Vergleich die Frage, ob sich ein neuer Ansatz mit Fokus auf schnelle Prozesse und dem Ziel einer besonders benutzerfreundlichen Bedienphilosophie trotz wenigen Jahren am Markt gegen einen fest im Markt etablierten Server durchsetzen kann, der aber unter Umständen den Innovationssprung in den letzten Jahren verpasst hat.

³⁵ livedesignonline.com: *Pandoras Box From coolux Media Systems To Receive Engineering Honors At 2008 Primetime Emmy Award Ceremony*

³⁶ production-partner.de: *Mehr Funktionen, vereinfachter Workflow: Pandoras Box Version 6.0*

³⁷ production-partner.de: *Test: Christie Pandoras Box V8*

³⁸ etnow.com: *AV Stumpfl to Present New PIXERA Version and Innovative Projection Screen Systems at ISE 2019*

6.1.1. Pandoras Box

Zwar läuft die Marke Pandoras Box heute unter dem Firmennamen Christie, gestartet ist das Produkt aber beim Unternehmen coolux. 2003 in Köln gegründet startete die Firma direkt mit der Entwicklung und Produktion des Pandoras Box Medienservers. Hierfür erhielt sie im Jahr 2008 die Engineering Plaque im Rahmen der Technology & Engineering Emmy Awards.³⁹

2015 wurde das Unternehmen von der Firma Christie aufgekauft, unter deren Name die Pandoras Box bis heute vermarktet wird.⁴⁰

Der Hersteller gibt an mit der neuen Version 8 der Pandoras Box sei ihm „ein Quantensprung in Bezug auf Flexibilität und Arbeitsablauf“ gelungen.⁴¹

Bis zur Markteinführung der Version 8 mussten Nutzer der Pandoras Box je nach Anwendungsfall mit bis zu 5 verschiedenen Softwares arbeiten. Dazu gehörten *Server*, *Player*, *Compact Player*, *Software Player* und *Manager*. All diese Funktionen wurden nun in einer einzigen Server-Software zusammen gefasst. Neben der Software für den Medienserver Pandoras Box bietet der Hersteller zusätzlich eine Software zur Gestaltung grafischer Oberflächen für die Fernsteuerung des Servers namens *Widget Designer* an. Hardwareseitig gibt es nur ein Servermodell den *Server R5*. Dieser lässt sich allerdings konfigurieren und ist in drei Ausstattungsstufen, sogenannten *Performance Kits (PK)* erhältlich.⁴² (Abbildung 42)

³⁹ livedesignonline.com: *Pandoras Box From coolux Media Systems To Receive Engineering Honors At 2008 Primetime Emmy Award Ceremony*

⁴⁰ avinteractive.com: *Christie acquires coolux*

⁴¹ mothergrid.de: *Christie veröffentlicht Pandoras Box V8*

⁴² christiedigital.com: *Pandoras Box Server R5 Specs*

	PK1	PK2	PK3
Prozessor	XEON Prozessor	XEON Prozessor	XEON Prozessor
Arbeitsspeicher	24 GB	48 GB	48 GB
Datenspeicher	960 GB SSD	7,5 TB SSD	31 TB SSD
Netzwerk	1x 10 Gbps 1x 1 Gbps	1x 10 Gbps 1x 1 Gbps	1x 10 Gbps 1x 1 Gbps
Physische Video Outputs	Je nach Konfiguration 4 oder 8 Outputs mit SDI, HDMI, DisplayPort oder Glasfaser		
Lizenzierte Video Outputs	Abhängig von der Anzahl an Lizenz-Donglen		
Auflösung (maximal)	Standard 7.680 x 4.320 Pixel (60 Hz) Je nach verwendetem Codec bis zu 30720x17280 Pixel als Image Sequence möglich		
Videoformate	DPX Image Sequences, TIF Image Sequences, BMP Image Sequences, DDS Image Sequences, DDSA Image Sequences, YCoCg Image Sequences, HAP, HAP Alpha, HAP Q, 4K MXL, MPEG-2, MPEG-1		
3D Formate	OBJ, FBX		

Abbildung 42: Tabelle der möglichen Pandoras Box Hardware in den drei Performance Kits

6.1.2. Pixera

Gegründet 1975⁴³ in Österreich entwickelte AV Stumpfl zunächst Leinwandssysteme und Geräte zum Überblenden von Einzelbildern. Bereits in den Neunzigerjahren wird in der Firma an Software gearbeitet, die diese Geräte unterstützt. Diese Entwicklung ging weiter über die *Wings AV Software 2013* und mündet 2015 im Prototypen der Medienserver-Software *Wings RX* mit zugehöriger Hardware.^{44 45}

Mit der Vorstellung des Pixera Medienservers 2018 entwickelte AV Stumpfl nicht einfach die bestehende *Wings RX* Software weiter, sondern schuf einen von Grund auf neu gedachten Server.⁴⁶ Das Ziel sei es laut CEO Tobias Stumpfl gewesen, die Nutzerfreundlichkeit auf eine neues Level zu bringen. Dieser Fokus der Bediensphilosophie auf eine zugängliche Benutzeroberfläche wird firmenseitig wiederholt betont.⁴⁷

Das Produktportfolio umfasst neben der Pixera Software auch Hardware, die mit der Software ausgestattet und auf sie zugeschnitten ist. Zur Zeit stehen sieben verschiede-

⁴³ avstumpfl.com: *ABOUT AV STUMPFL*

⁴⁴ avstumpfl.com: *FOLLOW UP INFOCOMM ORLANDO 2013*

⁴⁵ avstumpfl.com: *AV STUMPFL HISTORY*

⁴⁶ mothergrid.de: *AV Stumpfl PIXERA: Next-Generation Medienserversoftware und Hardware auf der InfoComm 2018*

⁴⁷ etnow.com: *AV Stumpfl to Present New PIXERA Version and Innovative Projection Screen Systems at ISE 2019*

ne Servereinheiten zur Auswahl: *Pixera mini*, *Pixera one*, *Pixera two*, *Pixera two octo*, *Pixera two RT*, *Pixera four* und *Pixera four RS*. Jedes Modell kann über einen umfangreichen Konfigurator auf die Bedürfnisse des Nutzers angepasst werden. Bei allen Modellen außer dem *mini* können Prozessor, Arbeitsspeicher und Datenspeicher erweitert werden. Ebenfalls können Eingänge für Videosignale ergänzt werden. Nur der *Pixera four RS* Server ist bereits in der Basiskonfiguration mit Inputs ausgestattet.^{48 49} (Abbildung 43)

	<i>Pixera mini</i>	<i>Pixera one</i>	<i>Pixera two</i>	<i>Pixera two octo</i>	<i>Pixera two RT</i>	<i>Pixera four</i>	<i>Pixera four RS</i>
Prozessor	Intel Core i5 (6/6 cores, 2,8/2,8GHz)	Xeon 17 (Intel Xeon SP Gen2, 8/16 cores, 2,1/3,2GHz)	Xeon 17 (Intel Xeon SP Gen2, 8/16 cores, 2,1/3,2GHz)	Xeon 27 (Intel Xeon SP Gen2, 12/24 cores, 2,4/3,5GHz)	Xeon 37 (Intel Xeon SP Gen2, 16/32 cores, 2,2/3,9GHz)	AMD EPYC Y68 (24/48 cores, 2,85/4,0GHz)	AMD EPYC Y68 (24/48 cores, 2,85/4,0GHz)
Arbeitsspeicher	8 GB	24 GB	24 GB	32 GB	48 GB	128 GB	48 GB
Datenspeicher	500GB SSD	1 TB SSD	2TB SSD	2 TB SSD	2 TB SSD	3,84 TB SSD	2 TB SSD
Netzwerk	2x 1 Gbps	2x 10 Gbps, 1x IPIM LAN	2x 10 Gbps, 1x IPIM LAN	2x 10 Gbps, 1x IPIM LAN	2x 10 Gbps, 1x IPIM LAN	2x 10 Gbps, 1x IPIM LAN	2x 1 Gbps, 2x 10 Gbps, 2x 25Gbps, 1x IPIM LAN
Physische Video Outputs	4x mDP1.4	4x DP1.4	4x DP1.4	8x DP1.4	4x DP1.4	4x DP1.4	4x DP1.4
Lizensierte Video Outputs	0-4	1-4	1-4	5-8	1-4	1-4	1-4
Auflösung (maximal)	4096 x 2169 (60 Hz)	5120 x 2880 (60 Hz)	5120 x 2880 (60 Hz)	5120 x 2880 (60 Hz)	5120 x 2880 (60 Hz)	5120 x 2880 (60 Hz)	5120 x 2880 (60 Hz)
Videoformate	AVI, H.264, H.265, HAP, HAP Alpha, HAP-Q, NotchLC, MPEG-2, PRORES, VP9						
3D Formate	OBJ, FBX, GLTF						

Abbildung 43: Tabelle der angebotenen Pixera Hardware in der Basiskonfiguration

6.2. Ablauf

6.2.1. Vorbereitung

In Vorbereitung auf den Versuchsaufbau wurde zunächst ein Objekt produziert. Hierfür wurde aus stabiler Pappe ein Dodekaeder gebaut. Die Form wurde gewählt, da ihr ein einfaches Körpernetz zugrunde liegt, wodurch sie leicht und ohne größere Abweichungen gebaut werden kann. Trotzdem bietet sie aufgrund der nicht orthogonal zum Projektor verlaufenden Flächen eine für das Projection Mapping interessante Oberfläche. An den Kanten der fünfeckigen Seiten kann die Präzision der Projektion gut beurteilt werden. Das Körpernetz wurde mit Hilfe eines Beamers auf den Karton projiziert und im Anschluss ausgeschnitten und zum Dodekaeder zusammen gefaltet. (Abbildung 44)

⁴⁸ pixera.one: *CONFIGURATOR*

⁴⁹ pixera.one: *DOWNLOADS*



Abbildung 44: Dodekaeder aus Pappe

Dieses Objekt wurde außerdem als dreidimensionales, digitales Objekt in Blender erstellt. Blender ist eine kostenlose Software mit der sich zwei- wie auch dreidimensionale Körper modellieren lassen. Das fertige Objekt kann auf die Größe des gebauten Körpers skaliert werden und entspricht so seinem realen Pendant. Diese Information kann in der Projektorplanung hilfreich sein, wenn diese innerhalb der Medienserver Software in Metern verarbeitet wird. Dies ist allerdings von Server zu Server unterschiedlich. Ebenfalls in Blender wurde die UV-Map des Objekts erstellt. Das Objekt wurde inklusive der UV-Map als Datei exportiert. Hierbei kann zwischen verschiedenen Dateitypen gewählt werden. Zwei Dateitypen, die sowohl von Pixera als auch Pandoras Box unterstützt werden, sind das *Wavefront Object File .obj* und das *Autodesk Filmbox File .fbx*. Für dieses Projekt wurde der Dodekaeder als *.fbx* Datei exportiert. Die UV-Map des Objekts wurde zusätzlich als *.png* Datei exportiert. (Abbildung 45)

Diese Datei bildet die Grundlage für den Inhalt, der auf das Objekt projiziert werden soll. Der Inhalt soll einige Voraussetzungen zur Beurteilung des Projection Mappings erfüllen. Die Flächen sollen eindeutig voneinander unterschieden werden können und die Außenkanten des Dodekaeders deutlich erkennbar sein, außerdem soll eine mögliche Verzerrung der Bildinhalte auf der Fläche sichtbar gemacht werden. Um diese Anforderungen zu erfüllen, wurde die exportierte UV-Map mithilfe eines gängigen Bildbearbeitungsprogramms nachgezeichnet. Jede Fläche hat eine andere Farbe erhalten, die Außenkanten wurden in einer hellen, gesättigten Farbe abgebildet. Zur Beurteilung der Flächenverzerrung wurden auf den einzelnen Flächen je zwei Linien in V-Form platziert,

die in drei Ecken des Fünfecks enden. (Abbildung 46)

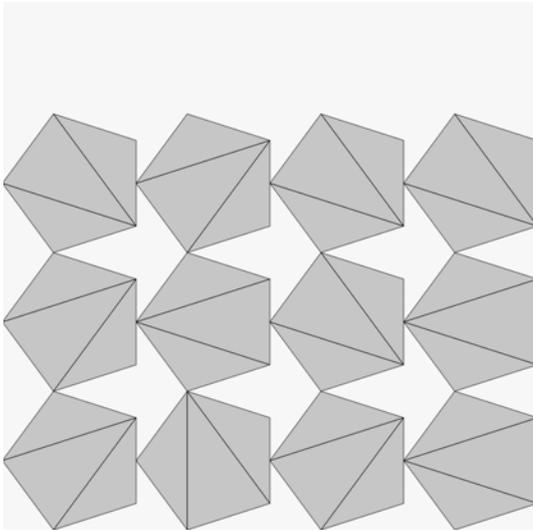


Abbildung 45: UV-Map exportiert aus Blender

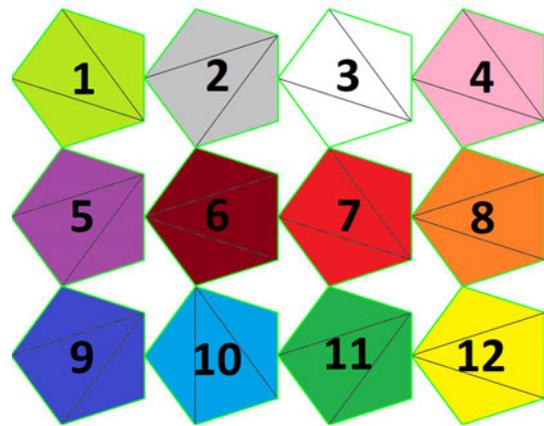


Abbildung 46: UV-Map bearbeitet

Die bearbeitete UV-Map und die Objekt Datei wurden im Anschluss in den Medienserver eingepflegt. Das Objekt wird von hier an als projizierbare Oberfläche betrachtet. Die bearbeitete Bilddatei der UV-Map wird in einem Layer angelegt, um später als Inhalt auf das Objekt gelegt zu werden. Auf die unterschiedliche Herangehensweise der verschiedenen Medienservern hieran wird im Abschnitt 6.3.1. noch näher eingegangen.

Im Anschluss werden die Projektoren im Projekt angelegt und zusammen mit dem Screen im dreidimensionalen Raum positioniert. Hierbei wird darauf geachtet, dass alle Abstände und Orientierungen dem geplanten realen Aufbau entsprechen und dass die Kenngrößen des Projektors korrekt sind.

6.2.2. Aufbau

Der Testaufbau wurde am 27.05.2022 im Produktionslabor der HAW Hamburg am Campus Finkenau durchgeführt.

Für den Aufbau wurde ein Rechner der Firma ZOTAC als Hardware für die beiden Medienserver-Softwares verwendet. Dieses Gerät verfügt über einen Intel Core i7-770 CPU mit 3.6 GHz Taktfrequenz, 32 GB Ram und eine NVIDIA GeForce GTX 1080 Grafikkarte. Die Softwares werden mit Hilfe von mehreren Lizenz-Dongles auf dem Gerät

freigeschaltet. Der ZOTAC gibt das von den Medienserver-Softwares generierte Bild über HDMI an die Projektoren weiter.

Der Dodekaeder wird von zwei Seiten von je einem Panasonic PT EZ580 bespielt. Dieser LCD-Projektor gibt ein Bild von 1920x1200 Pixeln wieder, was einem Seitenverhältnis von 16:10 entspricht. Die verwendete Linse bietet mit Zoom eine Throw Ratio von 1,4 - 2,8:1. Die Helligkeit wird vom Hersteller mit 5.400 ANSI-Lumen angegeben.

Um den Dodekaeder auf allen Flächen vollflächig, mit möglichst wenigen Verzerrungen bespielen zu können, wobei eine Fläche als Standfläche fungiert und nicht projiziert wird, wäre ein Minimum von vier Projektoren notwendig. (Abbildung 47)

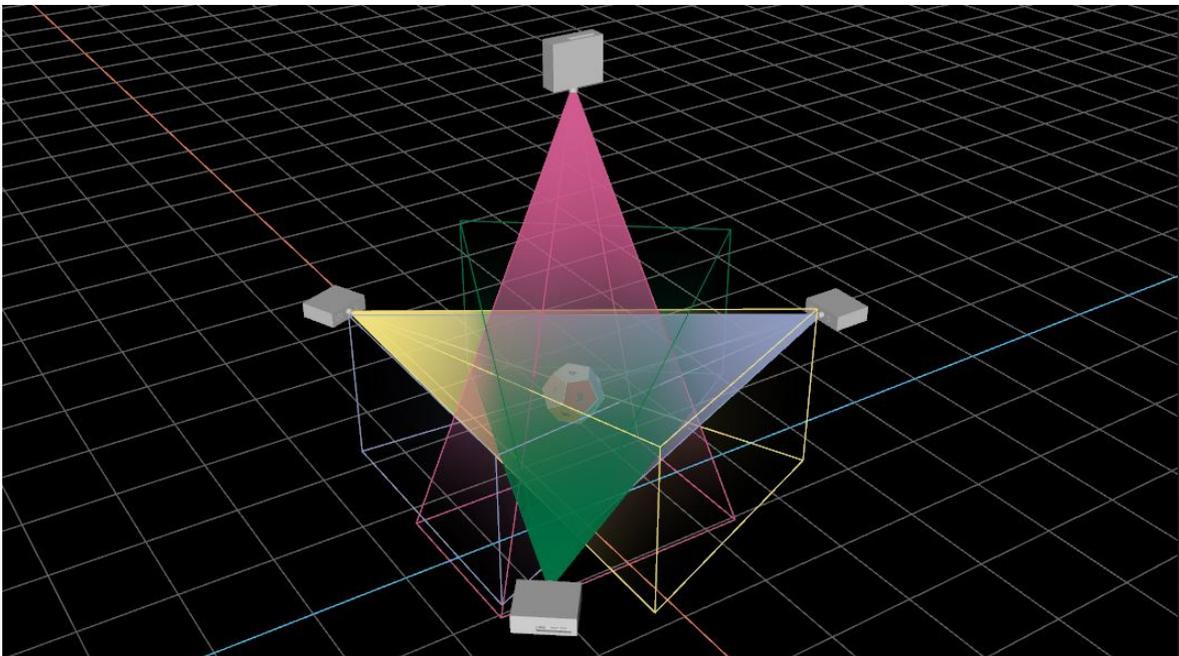


Abbildung 47: Dodekaeder projiziert mit 4 Projektoren

Da für die Beurteilung der Handhabung der Medienserver und der Funktionen zur Einrichtung eines Projection Mappings zwei Projektoren ausreichend sind, wird für diesen Test auf Aufbau und Einrichtung der restlichen zwei Projektoren verzichtet.

Der Dodekaeder wurde auf einem Podest platziert und die beiden Projektoren im Abstand von ca. 2,50m vor dem Objekt aufgebaut. Die Projektoren stehen zueinander in einem Winkel von ca. 90°. (Abbildung 48, 49 & 50)



Abbildung 48: Testaufbau im Produktionslabor

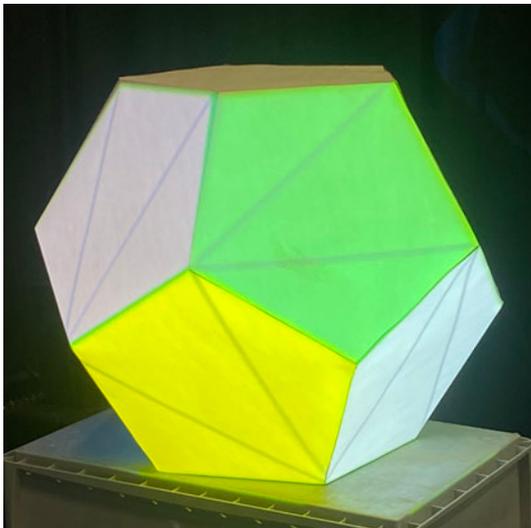


Abbildung 49 & 50: Dodekaeder mit Content projiziert, aus zwei Blickwinkeln

6.3. Vergleich

Der nun angestellte Vergleich zwischen Pandoras Box und Pixera wird in zwei Abschnitte unterteilt. Unter dem Begriff *Projektlauf* soll die allgemeine Herangehensweise der Server an ein neu erstelltes Projekt analysiert werden. Es soll betrachtet werden, wie das Projekt angelegt wird. Also wie Inhalte, Projektoren und Projektionsflächen in das Projekt eingepflegt und angeordnet werden. Auch die Zuordnung von Inhalten zu Auspielwegen soll verglichen werden. Unter der Überschrift *Einrichtung im realen Raum* folgt ein detaillierterer Vergleich dreier Unterpunkte aus dem Bereich des Mappings, in denen sich die Server besonders unterscheiden.

Die hier verglichenen Versionen sind Pandoras Box in der Version 8.5.1 und Pixera in der Version 1.8.71.

6.3.1. Anlegen eines Projektes

6.3.1.1. Benutzeroberfläche

Die Benutzeroberfläche oder englisch graphical user interface (Abk.: GUI) ist die auf dem Bildschirm angezeigte Ansicht innerhalb derer der Nutzer alle Einstellungen in der Software tätigt. Übersichtlich strukturierte GUIs sind ein wichtiges Element im Umgang mit einer Software. Die besten Funktionen einer Software ist nicht anwendbar, wenn die Benutzeroberfläche dem Anwender keinen Zugang dazu eröffnet.

Die beiden Medienserver in diesem Vergleich haben zwei auffallend unterschiedliche Ansätze zur Gestaltung ihrer GUIs. Die Oberfläche in Pandoras Box ist aus mehreren Fenstern zusammengesetzt, die softwareintern *panes* genannt werden. Jedes dieser Fenster stellt eine eigene Funktion oder Funktionsgruppe der Software dar. Die einzelnen Fenster sind teilweise noch einmal in Registerkarten unterteilt. Es können verschiedene Seiten erstellt werden, die eine eigene Sammlung und Anordnung von Fenstern beinhalten. Diese Seiten können so zusammengestellt werden, dass sie für einen bestimmten Anwendungsbereich des Medienservers optimiert sind. Die von Pandoras Box voreingestellten Seiten sind bereits nach häufig wiederkehrenden Themen sortiert, dies ermöglicht einen schnellen Einstieg ohne zuerst eine personalisierte Benutzeroberfläche gestalten zu müssen. Diese Seiten beinhalten die Themenfelder *Essentials*, *Content*, *Sequence*, *FX*, *Preview*, *Show* und *Floating*. (Abbildung 51)

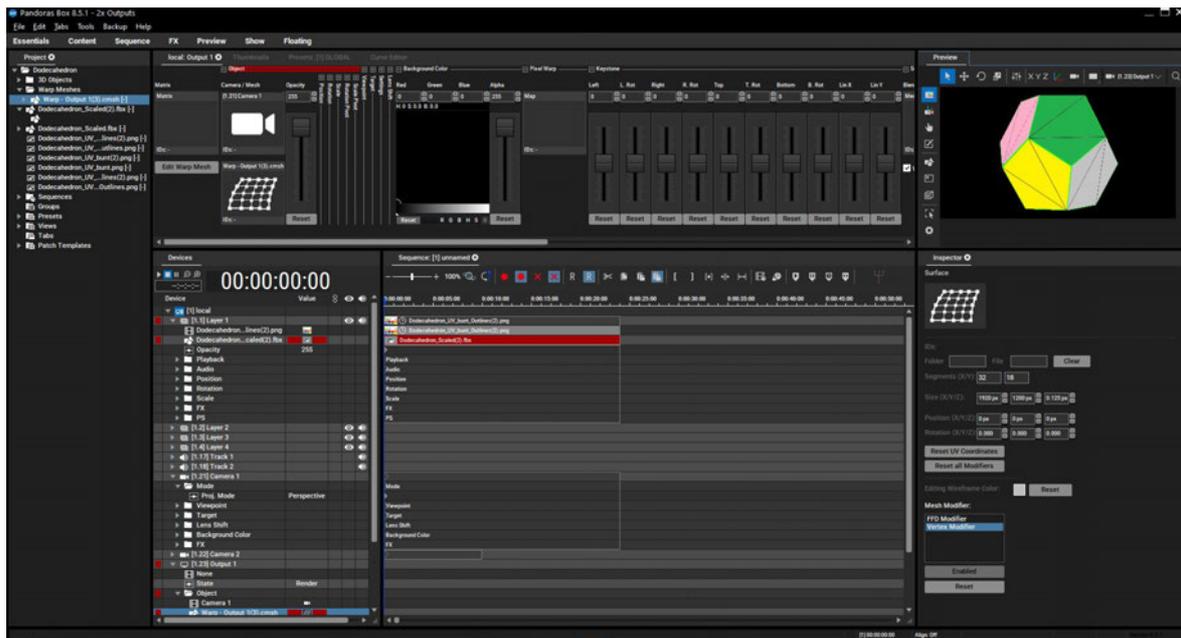


Abbildung 51: Benutzeroberfläche Pandoras Box

Im Gegensatz hierzu ist die Benutzeroberfläche von Pixera nur bedingt veränderbar. Sie besteht ebenfalls aus Fenstern, die auf Seiten mit thematisch unterschiedlichen Funktionen angeordnet sind. Diese kann der Nutzer allerdings nur in Größe und Form anpassen und nicht selbst auswählen und platzieren. Die Seiten sind in die Bereiche *Screens*, *Mapping*, *Compositing* und *Control* aufgeteilt. Im Zentrum der zur Einrichtung des Medienservers relevanten Seiten steht immer die Vorschauansicht. (Abbildung 52) Diese Seiten sind *Screens*, *Mapping* und *Compositing*. Auf der *Mapping* Seite belegt sie mit dem *Output Routing* zusammen ein Fenster und es kann zwischen den Funktionen umgeschaltet werden. Links davon befindet sich eine Ansicht mit den auf der Seite zu bearbeitenden Elementen, die je nach Seite noch in einzelne Registerkarten unterteilt werden. Dem gegenüber steht auf der rechten Seite eine Fläche auf der die Werkzeuge zur Bearbeitung des aktuell angewählten Elements eingeblendet werden. Auf der *Compositing* Seite wird am unteren Bildschirmrand zusätzlich die Timeline mit den Layern angezeigt.

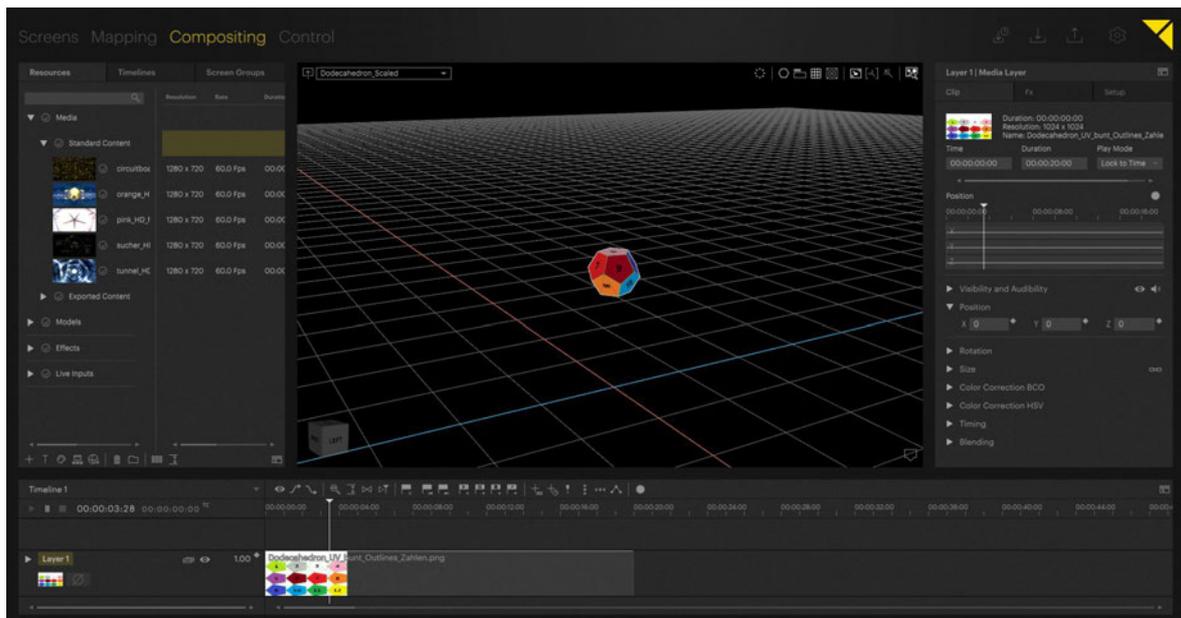


Abbildung 52: Benutzeroberfläche Pixera

Die Benutzeroberfläche von Pixera macht durch diese Unterteilung in die grundlegenden Funktionen eines Medienservers einen aufgeräumteren Eindruck als die vom Pandoras Box. Werkzeuge haben einen festgelegten Ort innerhalb der GUI und sind so schnell zu finden. Dem entgegen steht der Ansatz der Personalisierung der Pandoras Box GUI, die dem Benutzer ermöglicht, sich für sein Projekt und dessen Anforderungen spezialisierte Oberflächen zu gestalten. Die vom Hersteller vorbereiteten Seiten sind gut durchdacht, allerdings doppeln sich Funktionen auf mehreren Seiten. Sucht der Anwender nicht einen Arbeitsablauf sondern ein bestimmtes Werkzeug, könnte dies verwirrend wirken.

6.3.1.2. Compositing

Um einen Inhalt zum Bespielen des Objekts zu erstellen, müssen zunächst Medien auf den Medienserver gespielt werden. Hierzu werden die Dateien, in diesem Beispiel die bearbeitete Bilddatei der UV-Map des Dodekaeders, in den Projektordner geladen. Dies geschieht bei Pixera entweder über die *Add Resource from File* Funktion, die den lokalen Speicher des Rechners öffnet, oder die Dateien können einfach via drag-and-drop in die *Resources* Registerkarte oder direkt in den Layer gegeben werden. Unter diesem Punkt finden sich alle Inhalte, die zur Komposition des Projektes benötigt werden. Sie sind in vier Unterkategorien aufgeteilt. Unter Media finden sich alle einzelnen Audio-,

Video- und Bilddateien. 3D-Modelle werden unter *Models* abgelegt. Außerdem finden sich hier Effekte wieder. Es können sowohl Effekte aus der Bibliothek von Pixera verwendet werden, als auch selbsterstellte hinzugefügt werden. Zuletzt werden hier die *Live Inputs* verwaltet, diese werden bei Pixera wie alle anderen Medien behandelt. Die Inhalte sind alle mit einem Vorschaubild versehen.

Die Medien können entweder in einem bestehenden Layer abgelegt werden oder direkt einem Screen zugeordnet werden, wodurch automatisch ein neuer Layer erzeugt wird. Diesem können dann Effekte zugeordnet werden, die auf dem ganzen Layer und nicht nur auf einzelnen Medien Anwendung finden.

Wo sich der Inhalt bei Pixera am Screen orientiert, wird er bei Pandoras Box zuerst dem Layer zugeordnet und in seinen ursprünglichen Proportionen in der Preview dargestellt. Erst durch das Hinzufügen eines Meshs in denselben Layer wird er einer speziellen Screen-Form zugeordnet. Effekte werden in Pandoras Box anders als in Pixera nicht nur einem Video Layer zugeordnet, sondern auch einem Output Layer. So können einzelne Inhalte aber auch ganze Ausspielwege manipuliert werden. In der Registerkarte *Aeon FX* können aus der Bibliothek Effekte ausgewählt werden, dort sind sie in Ordnern thematisch sortiert. Eine besonders hilfreiche Funktion ist die Dokumentation. Sie bietet zu jedem Effekt eine kurze Beschreibung mit Beispielbildern und einer Erklärung zu den Parametern. (Abbildung 53)

Documentation

Gradient Linear Vertical



Allows turning the layer texture into a linear gradient with the possibility of choosing the colors for the vertical area. Alpha layers for both areas are adjustable.

All Parameter Values

Parameter	Description	Value Range	Default
Mix	Level of effect itself	0-255	0
Red	Color picker / Level of red	0-255	255
Green	Color picker / Level of green	0-255	255
Blue	Color picker / Level of blue	0-255	255
Alpha	Level of transparency	0-255	255
Red C	Red C	0-255	0
Green C	Green C	0-255	0
Blue C	Blue C	0-255	0
Alpha C	Alpha C	0-255	255

Abbildung 53: Effekt Dokumentation mit Beispielbildern, Erklärung und Parametern

Um auf einem Layer mehrere Effekte hintereinander auszuprobieren, ohne sie jedes Mal neu dem Layer zuordnen zu müssen, bietet Pandoras Box die Funktion *FX Explorer*. Hierzu wird ein Layer ausgewählt und der *FX Explorer* geöffnet. Nun können Effekte aus der Datenbank ausgewählt werden und werden dann automatisch auf den Layer angewendet. Dies ermöglicht eine schnelle, flexible Arbeit mit mehreren Effekten, die ebenso leicht hinzugefügt wie verworfen werden können. Auch innerhalb des *FX Explorer* stehen die Dokumentationen der Effekte zur Verfügung. (Abbildung 54)

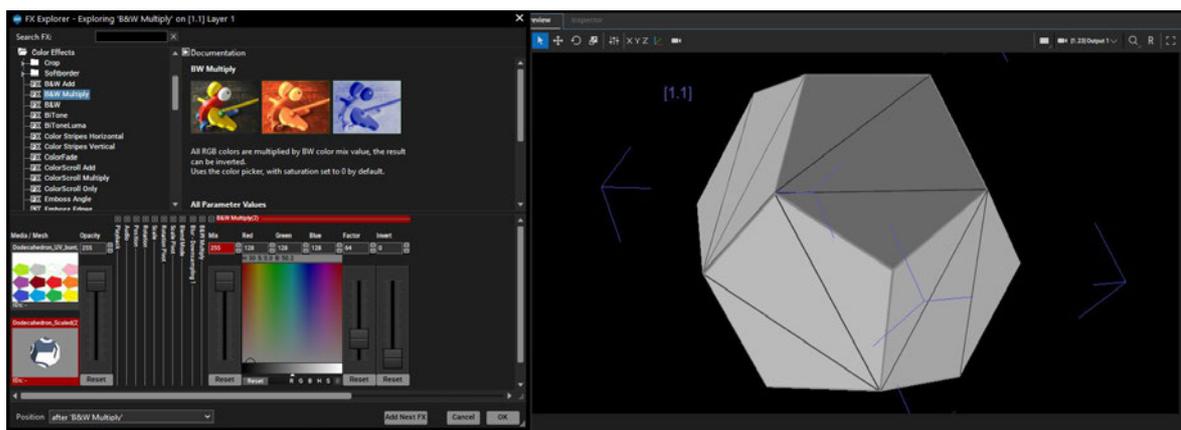


Abbildung 54: FX Explorer mit live Preview

In beiden Medienservern können die Inhalte geschnitten und in einem Layer zu einer zusammenhängenden Spur verbunden werden. Außerdem können Parameter der Layer verändert werden und ihre Werte an unterschiedlichen Punkten der Timeline abgespeichert werden. Diese gesetzten Punkte werden Keyframes genannt. Beim Setzen der Keyframes kann zwar in beiden Fällen bestimmt werden, wie sich die Kurve zwischen den Keyframes verhalten soll, allerdings kann in Pixera die Bézierkurve nicht nur ausgewählt sondern auch angepasst werden. (Abbildung 55)

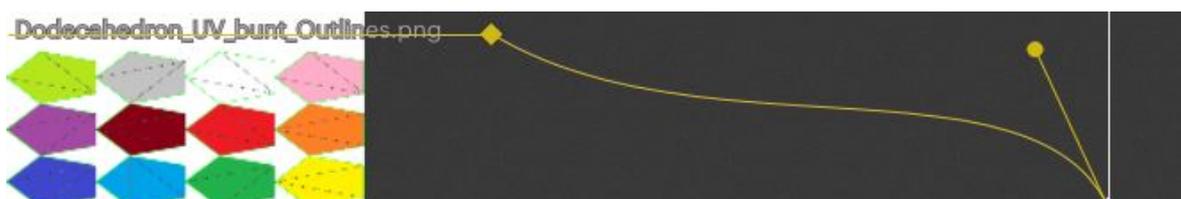


Abbildung 55: Keyframes mit angepasster Bézierkurve

6.3.1.3. Mapping

Um den Content aus dem Compositing auch darstellen zu können, müssen sowohl das digitale Modell des Dodekaeders als auch die Projektoren im dreidimensionalen Raum angeordnet werden.

Pixera verfährt hier in einer an die reale Situation angelehnte Art. Der Dodekaeder wird als Screen zur Bibliothek hinzugefügt und wird mit Koordinaten auf der X-, Y-, und Z-Achse platziert. Die Angabe dieser Koordinaten erfolgt in Metern, ebenso wie die Skalierung des Objektes. So können auch die Projektoren im realen Aufbau in entsprechendem Abstand platziert werden. Die Projektoren können aus einer großen Datenbank ausgewählt werden oder ein generischer Projektor wird mit den bekannten Kenngrößen der benutzten Projektoren eingestellt. Auch bei den Projektoren aus der Datenbank können die Werte noch angepasst werden. So entsteht in der Vorschauansicht bereits ein sehr akkurates Bild der Projektionssituation in der Realität.

Die Positionierung in Pandoras Box ist abstrakter. Es gibt keinen separaten Screen, die Position des Dodekaeder wird im *Layer Device* festgelegt und ist so an den Inhalt gekoppelt. Die Angabe der Positionswerte erfolgt nicht in Metern sondern in Pixeln, die Skalierung wird wiederum in einem Verhältnis angegeben. Das Äquivalent zum Projektor ist bei Pandoras Box die Kamera beziehungsweise das *Camera Device*. Es können innerhalb des *Camera Devices* keine Angaben zum Abspielgerät wie zum Beispiel zur *throw ratio* gemacht werden.

Die Arbeit mit der Kamera als einzelnes *Device* in der Timeline bietet den Vorteil, dass alle Einstellungen der Kamera wie zum Beispiel ihre Position als Keyframe abgespeichert werden können und so als Teil der Inszenierung genutzt werden können. Außerdem kann auf diese Weise eine Ausgabe auf rechteckige Projektionsflächen oder Bildschirme erfolgen, ohne vorher einen passenden Screen oder Bildschirm importieren zu müssen.

Die Kamera wird nicht auf den Achsen des Koordinatensystems angeordnet, sondern ist unterteilt in die Unterkategorien *Target* und *Viewpoint*. Beim *Target* können die Koordinaten des Dodekaeders angegeben werden. So wird sichergestellt, dass die Kamera auch bei veränderter Position im dreidimensionalen Raum immer das Objekt zeigt.

Erst im *Viewpoint* werden Angaben zur Position der Kamera gemacht. Dies ermöglicht zwar eine schnelle Einrichtung der Kamera auf die Projektionsfläche, wirkt aber irritierend, wenn der Nutzer eine reale Gegebenheit nachbauen möchte, in der gegebenen-

falls Ort und Orientierung des Projektors vorgegeben sind. Es ist, anders als in Pixera, nicht sofort ersichtlich ,welche Anteile der Projektionsfläche bespielt werden könnten und ob das Objekt zum Beispiel um einige Meter verschoben werden müsste. Ohne diese Information und Angaben zum Projektor ist eine so akkurate Vorplanung des Aufbaus wie in Pixera im Pandoras Box Server nicht möglich.

Auf die präzise Positionierung der Projektoren wird im Kapitel 6.3.2.1 noch genauer eingegangen.

6.3.1.4. Outputs

Auch in der Konfiguration der Outputs unterscheiden sich die beiden Medienserver grundlegend. Pixera bietet im Abschnitt *Mapping* neben der Vorschauansicht eine weitere Seite mit dem Titel *Output Routing*. Hier werden via Drag&Drop-Funktion die Schnittstellen der Hardware mit den einzelnen Projektoren verbunden. (Abbildung 56) Schnittstellen können sowohl die physischen Ausgänge des Geräts sein, als auch virtuelle Signalempfänger wie zum Beispiel das NDI Protokoll. Zu beachten ist, dass jeder dieser Outputs nach der Zuordnung noch einmal im linksseitigen Menü aktiviert werden muss, damit ein Bild ausgegeben wird. Die Projektoren sind wiederum dem Screen zugeordnet, dessen Inhalte sie darstellen. Zur besseren Übersicht können die Anzeigetafeln der Projektoren farblich kodiert werden. Diese Kodierung wird auch in der Vorschauansicht übernommen.

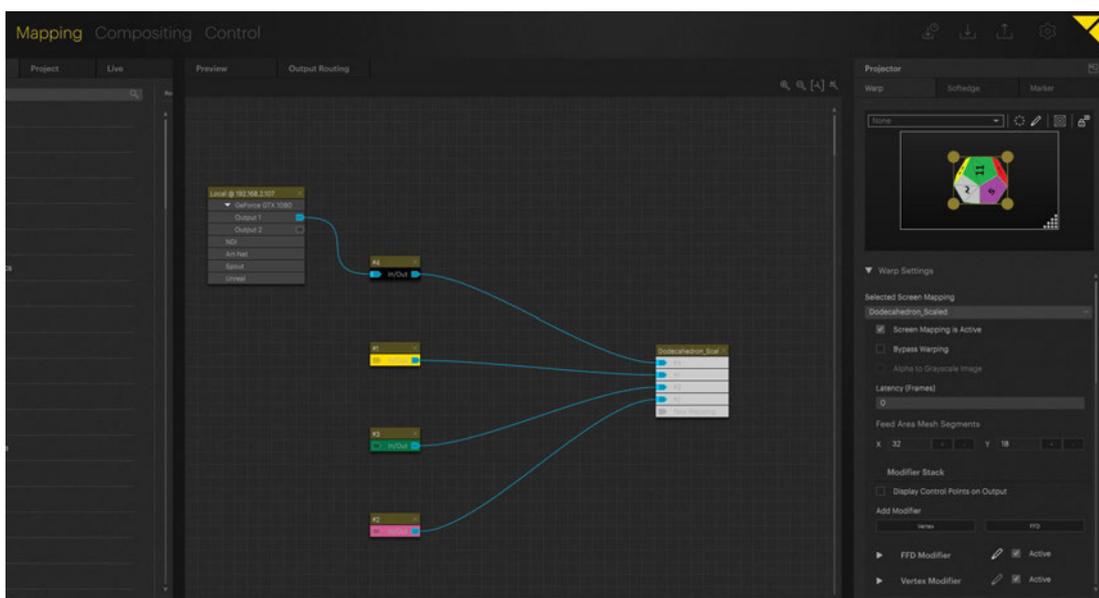


Abbildung 56: Output Konfiguration in Pixera

Bei Pandoras Box fällt auf, dass diese nicht für einen Einsatz wie in diesem Testaufbau mit nur einem alleinstehenden Gerät (englisch: stand alone) konzipiert ist. Angedacht ist ein Aufbau mit mindestens zwei Geräten, einem im *Master Mode*, zum Beispiel einem *Manager* und einem im *Client Mode*, zum Beispiel einem *Player*. Der Manager verwaltet den Einrichtungsprozess. Auf ihm bleibt die Menü-Ansicht bestehen. Der Player gibt im *Fullscreen Mode* das Bild aus. Auch aus einem alleinstehenden Gerät kann ein *Fullscreen Mode* ausgegeben werden, allerdings kann nach Aktivierung dieser Funktion keine Veränderung mehr am Inhalt vorgenommen werden.

Anders verhält sich die *Maximized Preview*, in der der Inhalt vollflächig dargestellt wird und dennoch auf einem zweiten Bildschirm Zugriff auf die Einstellungen möglich ist. Zusätzlich ist innerhalb der *Maximized Preview* eine *Button Bar* mit Werkzeugen vorhanden, aus der heraus sich Einstellungen am gezeigten Bild vornehmen lassen. Für diese Arbeitsweise wird das Fenster mit der Vorschauansicht aus der Hauptansicht ausgelöst und als eigenständiges Fenster auf den entsprechenden Output gezogen. Diese Preview zeigt in ihrer Ausgangsposition dasselbe Bild wie der *Fullscreen Mode*. Es ist aber zu beachten, dass ein Verschieben der Ansicht möglich ist, wodurch keine eins zu eins Übereinstimmung mit dem finalen *Fullscreen Mode* mehr gegeben ist.

Um den Testaufbau trotzdem durchführen zu können wurde mit dieser Variante gearbeitet.

Der *Fullscreen Mode* in Pandoras Box bedient sich der *Mosaic Technology* des Grafikkartenherstellers NVIDIA. Hierbei werden dem Betriebssystem mehrere Outputs als eine große zusammenhängende Bildfläche präsentiert. Das Betriebssystem verarbeitet also nur einen Auspielweg in angepasster Größe und die Grafikkarte verteilt dieses Bild auf die entsprechenden Ausgänge der Hardware.⁵⁰ Sind zum Beispiel zwei Projektoren mit einer Auflösung von 1920 x 1080 Pixeln nebeneinander angeordnet, verarbeitet der Prozessor sie als ein Bild der Größe 3840 x 1080 Pixel.

Die *Mosaic Technology* ist nur mit Grafikkarten aus der Quadro- und NVS-Reihe des Herstellers verfügbar.⁵¹ Da der in diesem Beispiel verwendete ZOTAC nur über eine NVIDIA GeForce GTX 1080 Grafikkarte verfügt, wurde hier nur mit der *Maximized Preview* gearbeitet.

Für die endgültige Konfiguration der Outputs muss zunächst ein Output Layer angelegt

⁵⁰ christiepandorasbox.com: *Helpfile Multiple Displays*

⁵¹ images.nvidia.com: *NVIDIA Mosaic Technology User's Guide*

Bei Pandoras Box kann auch in der räumlichen Verschiebung entschieden werden, ob der Bildausschnitt oder die Kamera selbst bewegt werden soll. Die Bewegung erfolgt über die Maus. Als Hilfe kann ein *Gizmo* eingeschaltet werden, das es ermöglicht die Kamera nur entlang einer Achse zu verschieben. (Abbildung 58) Ebenso können einzelne Achsen für Veränderungen gesperrt werden. Ebenso verhält es sich mit dem zu projizierenden Objekt. Die Arbeit in der Eingabemaske funktioniert auf die gleiche Art wie in Pixera. In der Eingabemaske können aber nur die Einstellungen für *Viewpoint* und *Target* vorgenommen werden, nicht für die einzelnen Achsen.

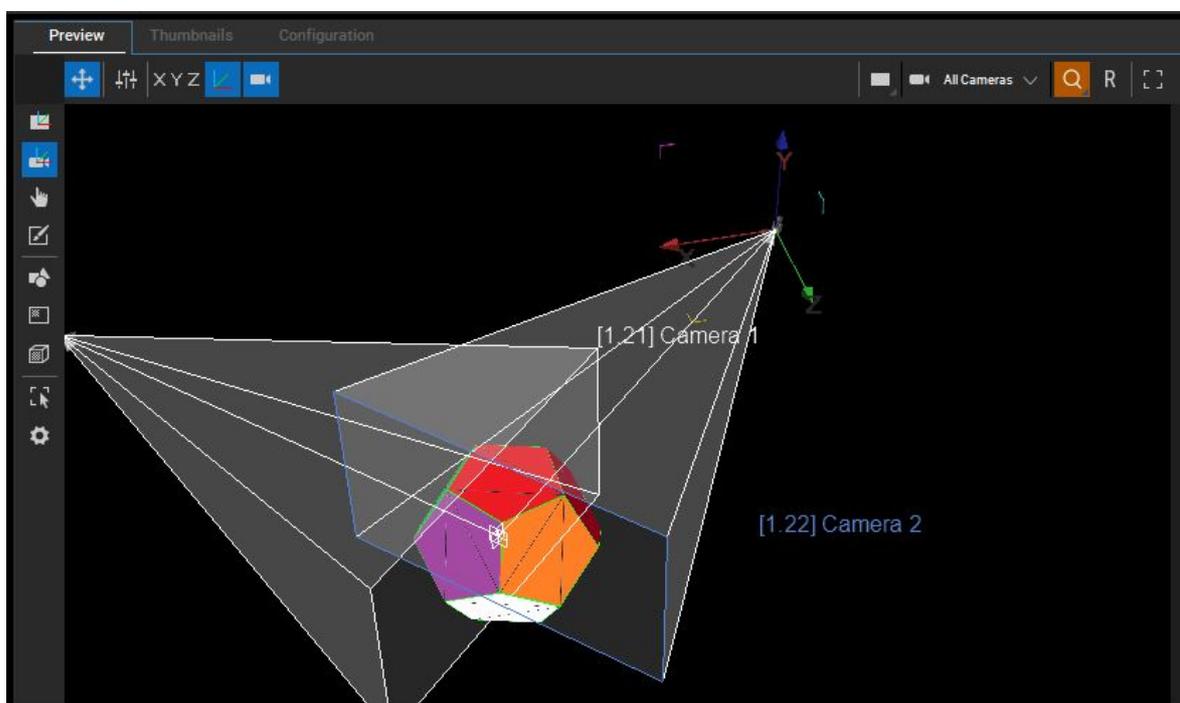


Abbildung 58: Werkzeuge zur Positionierung der Objekte in Pandoras Box

Anders als in Pixera sind die Änderungen nicht sofort aktiv. Die geänderten Werte können in der *Device* Übersicht entweder einzeln, für ganze Funktionen oder Layer abgespeichert werden. Dies geschieht über den Befehl *store active*. Es werden nur aktive Werte gespeichert, diese sind rot hinterlegt. Zusätzlich zum Abspeichern des Wertes wird in der Timeline automatisch ein Keyframe erstellt. Wichtig ist also, dass der User sich am Anfang der Timeline befindet, wenn er allgemein gültige Werte festlegen möchte. Es ist nicht möglich über die *Undo* Funktion, bzw. die bekannte Tastenkombination *strg-z* auf einen vorher definierten Wert zurückzukommen, bevor nicht ein neuer Wert abgespeichert wurde. Es ist nur möglich auf den letzten vorher gespeicherten Werte zu-

rückzukehren. Nach der Betätigung der *Undo* Funktion springt der Wert nicht automatisch zurück, bevor nicht eine zeitliche Veränderung in der Timeline ausgelöst wurde.

Alternativ kann der Wert zuerst via *clear active* aus seinem aktiven Status gelöst werden und danach kann er via *store active* auf den zuletzt gespeicherten Wert zurückgesetzt werden. Da ein gespeicherter und ein inaktiver, nicht gespeicherter Wert farblich nicht unterschieden werden, kann es hierbei zu einer unbeabsichtigten Löschung eines Wertes kommen. Zusätzlich dazu gibt es eine *Reset*-Funktion die den Wert auf 0 zurücksetzt. Diese Arbeitsweise zur Verarbeitung von Änderungen der Werte einer Funktion sind über alle Funktionen gleich.

In diesem Aspekt bedient sich Pixera um einiges intuitiver. Werte können unabhängig von der Eingabeart über die Tastenkombination *strg-z* zurückgenommen werden. Dabei werden nicht die letzten allgemeinen Arbeitsschritte rückgängig gemacht, sondern immer nur die Funktionen des aktuell offenen Fensters. So kann im Mapping-Fenster keine Veränderung aus dem Compositing rückgängig gemacht werden, auch wenn dies der letzte Arbeitsschritt war. Es wird also auch hier immer nur im angewählten Prozess gearbeitet, was der Übersichtlichkeit zuträglich ist und sich innerhalb der Arbeitsweise intuitiver anfühlt. Allerdings kann nur zehn Arbeitsschritte zurückgegangen werden.

6.3.2.2. Keystone und Warping

Pandoras Box bietet für die Einrichtung des Keystone einen eigenen Abschnitt im Output Layer. Über Schieberegler können die Positionen der vier Bildkanten verschoben werden, außerdem kann jeder Kante eine Rotation hinzugefügt werden. (Abbildung 59) Die Ecken des Bildes können nicht einzeln verschoben werden. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit die Bildmitte unabhängig von den Kanten linear auf dem Bild zu verschieben. Neben den Schiebereglern kann die Eingabe auch als Wert über ein Zahlenfeld erfolgen. Dieser Wert lässt sich über das Scrollrad der Maus oder nebenstehende Pfeiltasten in ganzzahligen Schritten präziser verändern als über den Schieberegler. Die Werte sind keiner Einheit zugeordnet und decken den Wertebereich von -32768 bis 32767 ab, wobei 0 den Ausgangspunkt definiert. Dies entspricht einem Datenumfang von 16 Bit.

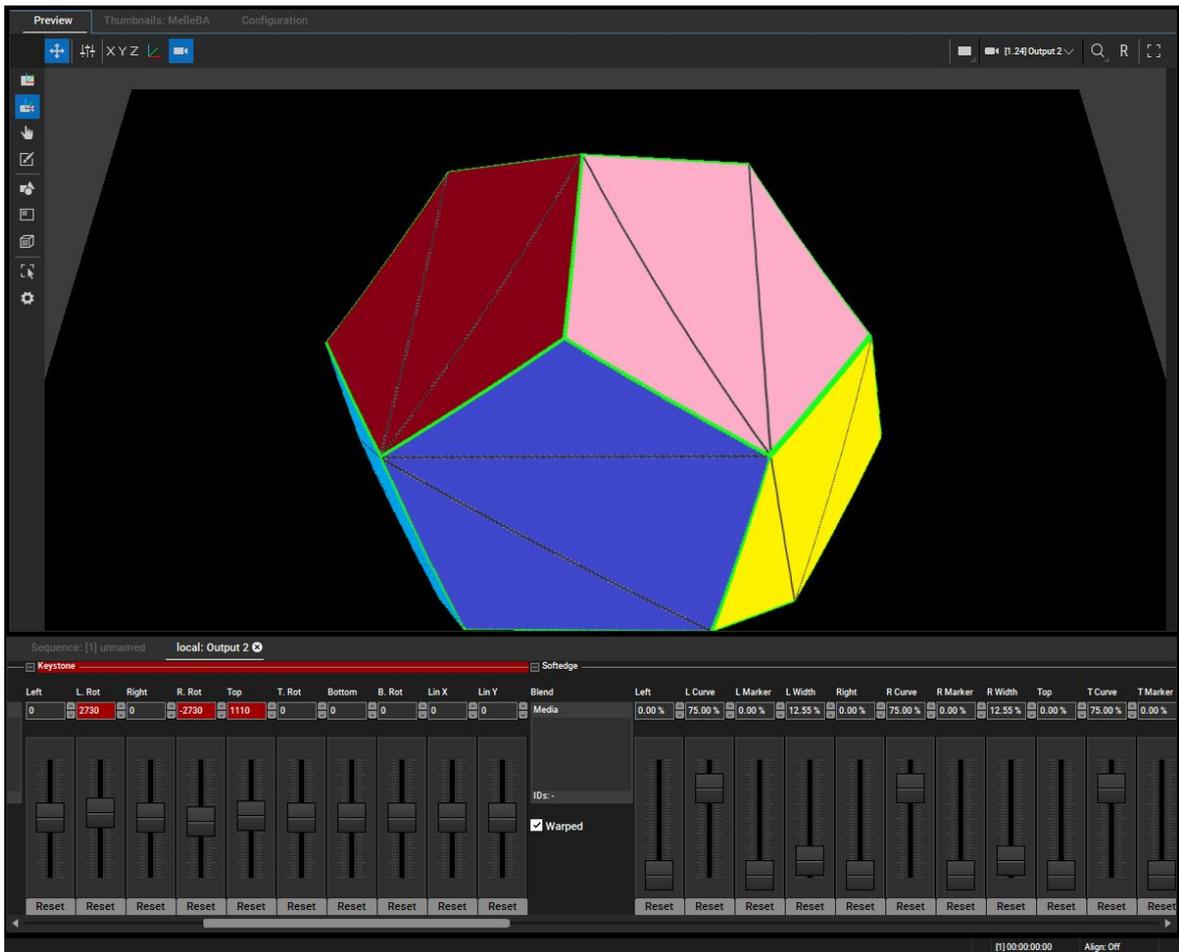


Abbildung 59: Keystone in Pandoras Box

Pixera bietet keine alleinige Keystone-Funktion. Eine Trapezkorrektur würde hier auch über die Warp-Funktion erstellt werden.

Warping bezieht sich in Pixera, anders als bei Pandoras Box nicht auf den gesamten Output oder das gesamte Objekt, sondern nur auf die darin gezeigten Screens. Diese können mit einem oder mehreren Modifikatoren (englisch: modifier) bearbeitet werden. Es gibt zwei Arten von Modifikatoren, den *FFD-Modifier* und den *Vertex-Modifier*. Free-Form Deformation, kurz FFD bezieht sich auf die klassische Warping-Funktion eines Medienservers. Es kann ausgewählt werden, in wie viele Segmente der Screen je Achse unterteilt werden soll und ob zwischen den Punkten linear oder nach Bézier interpoliert werden soll. Es können nur Zweierpotenzen an Segmenten ausgewählt werden.

Der Vertex-Modifier entspricht dem in Kapitel 4.1.2.2 beschriebenen Verfahren, in dem das Mesh des dreidimensionalen Körpers als Grundlage genutzt wird und dessen Eckpunkte verschoben werden. (Abbildung 60) Die Modifikatoren werden als einzelne Elemente in den Warp Settings hinzugefügt. Es können beide Arten zusammen genutzt

und mehrere Elemente auf einem Screen angewendet werden. Die Punkte der Gitternetze können einzeln oder als Gruppe angewählt werden. Eine Gruppe kann nicht nur gemeinsam bewegt werden. Sie kann auch in Breite, Höhe und Rotation verändert werden, ohne dass die Punkte ihre Orientierung zueinander verlieren. Die Gruppen und Punkte können entweder mit der Maus verschoben werden oder, einmal angewählt, mit den Pfeiltasten der Tastatur. Dies ermöglicht eine präzise Einrichtung auf dem Objekt.

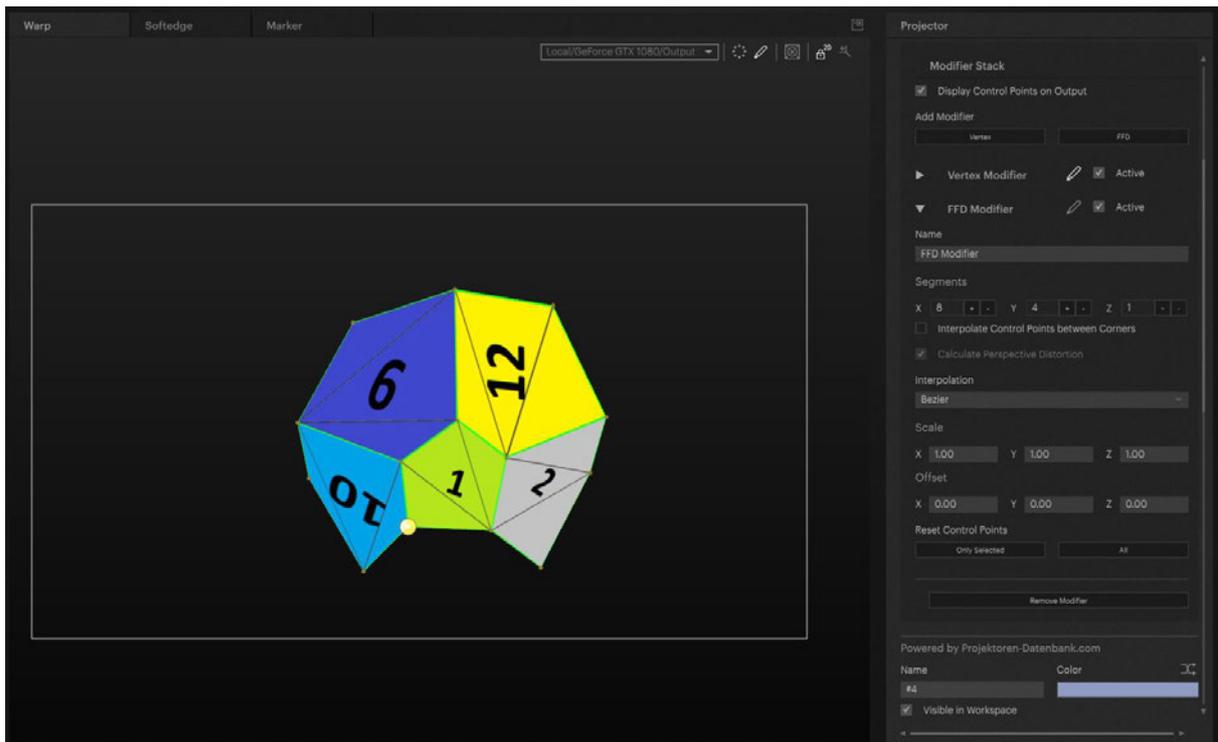


Abbildung 60: Vertex-Modifier in Pixera

Besonders bei der Arbeit mit dem Vertex-Modifier können die Ecken des digitalen Dodekaeders und seines realen Gegenstücks exakt aufeinander gelegt werden. Gerade bei Objekten, die aufgrund der Bauart nicht ihren digitalen Modellen entsprechen, ist diese Funktion sehr hilfreich. Beispielhaft sei hier der Elefantenkopf aus Pappe aus Abbildung X zu nennen, der aufgrund der kleinteiligen Elemente und dem verhältnismäßig instabilen Material keine identische Kopie des digitalen Modells ist.

Die Veränderung findet immer nur im jeweiligen Output statt und beeinflusst die Form des Screens an sich nicht. Dies brachte im Test das genaueste Ergebnis. Alle Veränderungen können bis zu zehn Arbeitsschritte rückgängig gemacht werden. Bei der Arbeit mit dem FFD-Modifier ist hervorzuheben, dass sich auch im laufenden Einrichtungspro-

zess noch die Zahl der Segmente verändern lässt. Es kann durch Hinzufügen von Segmenten eine noch feinmaschigere Aufteilung gewählt werden, falls die ursprünglich gewählte nicht ausreicht. Bereits getätigte Modifizierungen bleiben bestehen, werden aber neu zwischen den bestehenden Punkten interpoliert. (Abbildung 61 & 62)

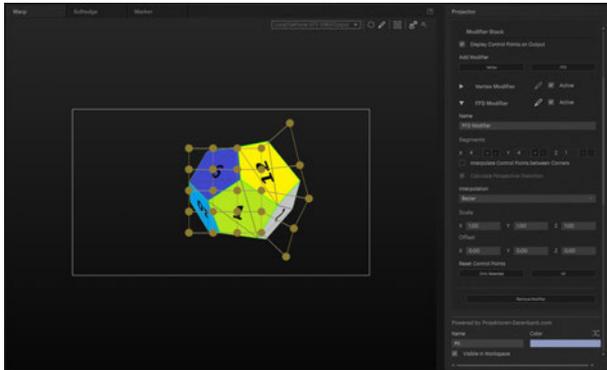


Abbildung 61: FFD-Modifier mit 4x4 Segmenten

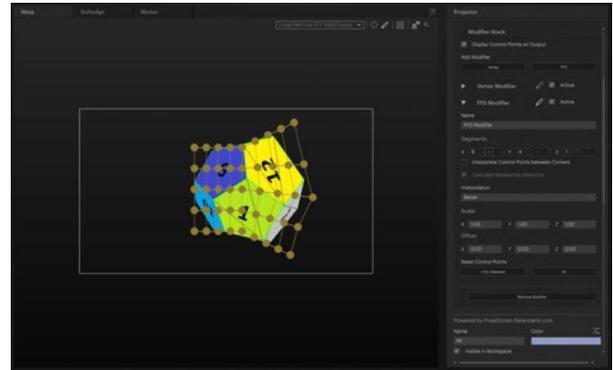


Abbildung 62: FFD-Modifier mit 8x4 Segmenten

In diesem Punkt unterscheidet sich Pixera grundlegend von Pandoras Box. Zwar kann in Pandoras Box ebenfalls ein FFD-Modifier angewendet werden, allerdings muss bei diesem von vornherein festgelegt werden mit wie vielen Knotenpunkten gearbeitet werden soll. Wird im Einrichtungsprozess klar, dass ein zu grobmaschiges Gitternetz gewählt wurde, muss von vorne begonnen werden. Auch ist es nicht direkt möglich mehrere FFD-Modifier auf einem Output zu verwenden. Dafür ist es im Vergleich zu Pixera möglich, mit einer frei wählbaren Anzahl an Punkten zu arbeiten. (Abbildung 63) Es ist nicht möglich, zwischen linear und Bézier zu wählen. Für eine lineare Modifikation wird in Pandoras Box der Vertex-Modifier genutzt.

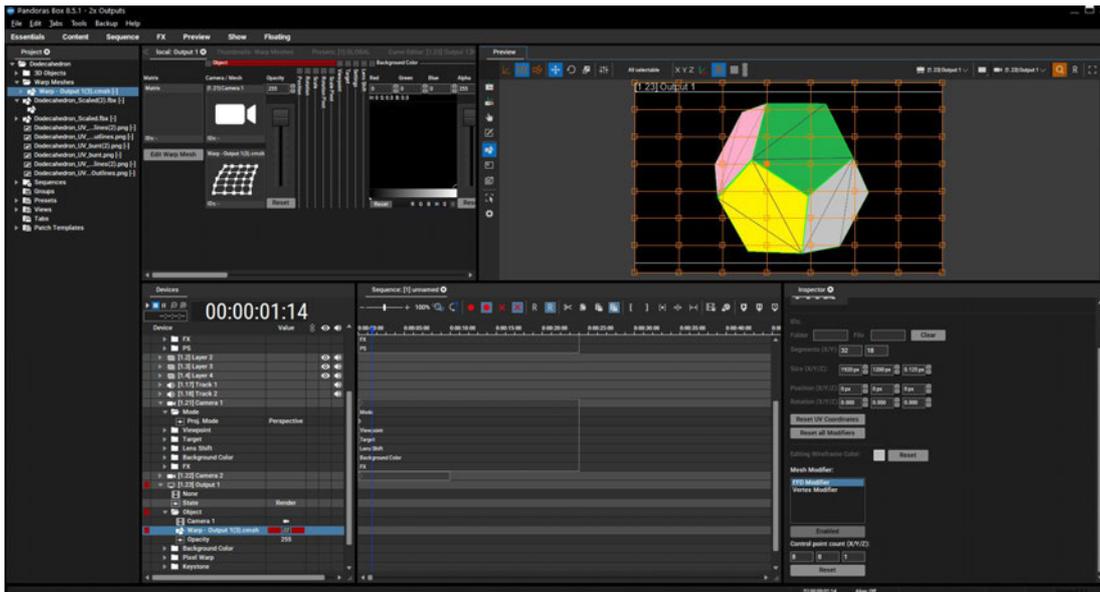


Abbildung 63: FFD-Modifier in Pandoras Box

Beide Modifier können entweder auf eine plane Ebene, die auf der Achse der Kamera liegt, verformt werden oder es kann aus der Datei des 3D-Modells ein *Editible Mesh* in Form einer softwareeigenen *.cmsh* Datei erstellt werden. (Abbildung 64) Bei der Verwendung dieses Meshs werden alle Veränderungen am Objekt selbst vorgenommen und wirken sich so auf alle Kamerablickwinkel aus. Der Vertex-Modifier wird hier, wie bei Pixera auch, an den Eckpunkten des Objekts angesetzt.

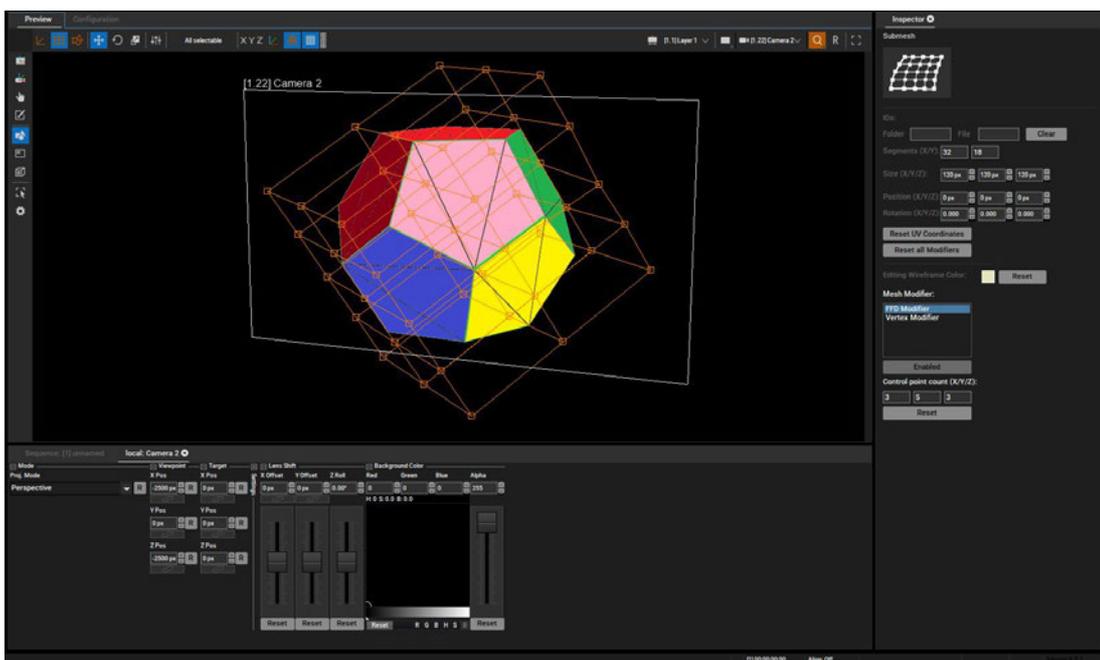


Abbildung 64: FFD-Modifier am Editible Mesh in Pandoras Box

Die Punkte des FFD-Modifiers und des Vertex-Modifiers können mit der Maus und den Pfeiltasten verschoben werden. Zusätzlich können einzelne Achsen gesperrt werden, sodass sich der Punkt nur auf einer Achse bewegen kann.

6.3.2.3. Softedge

In Pixera wird grundlegend zwischen zwei Arten der Softedge unterschieden. Die *Softedge Warped* orientiert sich an der Projektionsoberfläche und passt sich einem vorhergegangenen Warming an. Sie kann nur auf der Projektionsfläche platziert werden und bleibt auch bei einer Neuorientierung des Projektors an derselben Stelle auf dem Screen. Die Softedge ist allerdings trotzdem dem Projektor und nicht dem Screen zugeordnet. Im Gegensatz dazu orientiert sich die *Softedge Screen Aligned* am Output. Sie kann auf der gesamten Fläche des Outputs frei positioniert werden. Im Einrichtungsprozess fällt auf, dass durch Verschieben der Vorschauansicht die Softedge innerhalb der Preview in anderer Relation zum Objekt dargestellt wird als im realen Raum. Somit stimmen Preview und reale Projektion nicht mehr überein. Dies könnte zwar irritieren, beeinflusst den Einrichtungsprozess mit Fokus auf dem echten Objekt aber wenig.

Um eine Softedge hinzuzufügen wird sie als Element dem Output zugeordnet. Es ist möglich auf einem Output sowohl *Softedge Warped* als auch *Softedge Screen Aligned* zu platzieren. Um die Softedges anzuordnen und ihre Form zu bearbeiten, stehen innerhalb eines Elements mehrere Werkzeuge zur Verfügung. Die Position und Rotation werden innerhalb der Preview durch freie Anordnung festgelegt. Soll die Softedge bündig am Rand ausgerichtet werden, kann dies über eine automatische Funktion umgesetzt werden.

Außerdem kann die Breite des Helligkeitsverlaufs (Gradient Size) bestimmt werden und sein Verlauf (Gradient Gamma) mit Hilfe einer Bézier-Kurve verändert werden. (Abbildung 65)

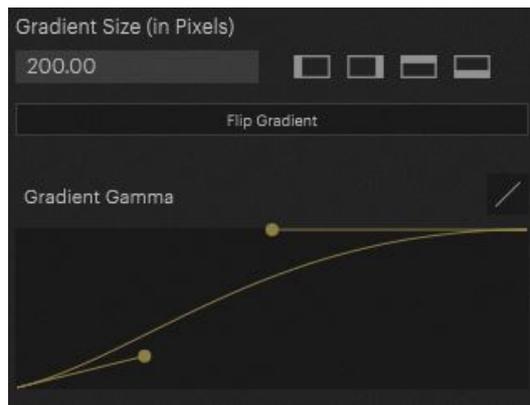


Abbildung 65: Softedge Menü zur Anpassung einer Softedge in Pixera

Die Form der Softedge ist nur in geringem Maße anpassbar. Sie kann an zwei Punkten in ihrer Höhe und Rotation zueinander manipuliert werden. Größere Flexibilität bietet die *Mask-Funktion*. Sie wird im Grundprinzip wie die Softedge verwendet, ist aber in ihrer Form freier. Sie kann an allen Seiten sowohl linear als auch mit Hilfe von Bézier-Kurven geformt werden und durch eine harte Kante, als auch durch einen Helligkeitsverlauf begrenzt werden.

Für das Testprojekt eignet sich die *Softedge Warped-Funktion* nicht. Da sie nicht auf das dreidimensionale Objekt angewendet wird sondern auf seine UV-Map, bezieht sie sich nicht auf das gesamte Objekt, sondern kann nur auf den einzelnen fünfeckigen Flächen Anwendung finden. So können keine Übergänge zwischen den Projektoren geschaffen werden, da diese immer mehrere Flächen zeitgleich bespielen. (Abbildung 66)

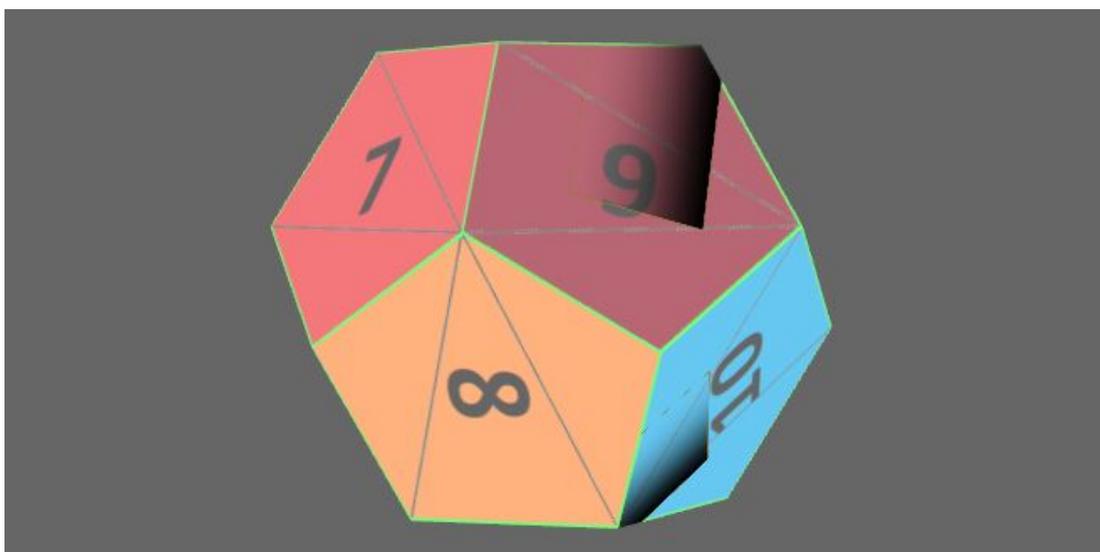


Abbildung 66: Softedge Warped in Pixera

Die Softedge Funktion in Pandoras Box ist weniger flexibel. Sie kann nur von den Bildkanten her eingesetzt werden und nicht frei positioniert werden. Wie auch beim Keystone werden die Werte über Schieberegler bearbeitet. Die Angaben sind in Prozent. Es kann zum einen eingestellt werden, wie weit die Softedge in das Bild hinein ragt, und zum anderen wie stark die Kurve des Helligkeitsverlaufs abfällt. (Abbildung 67)

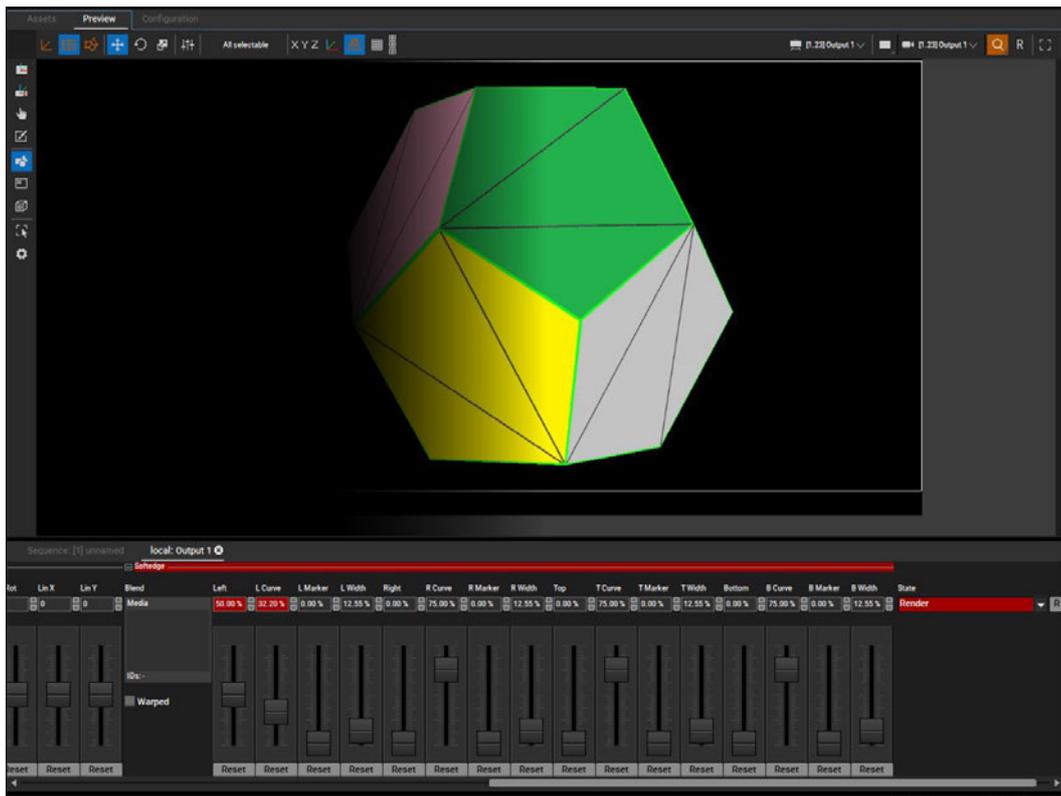


Abbildung 67: Softedge in Pandoras Box

Auch in Pandoras Box gibt es die Option einer *Softedge Warped*. Sie orientiert sich am FFD-Modifier. Zur besseren Orientierung hat der User die Möglichkeit sich einen Marker anzeigen zu lassen, der verdeutlicht wie das Warming die Kante des Softedge beeinflusst. (Abbildung 68)

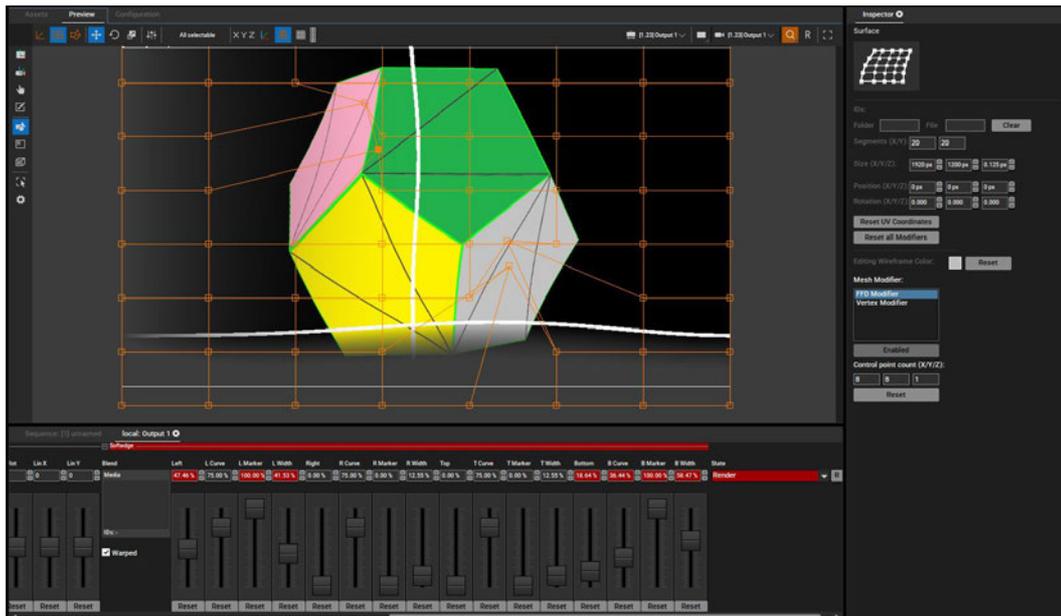


Abbildung 68: Softedge Warped in Pandoras Box

6.4. Ergebnis

Beide Medienserver konnten das geforderte Beispielprojekt umsetzen und haben dabei im Grunde dieselben Werkzeuge zur Umsetzung geboten.

Umso mehr kommt es für den Nutzer darauf an wie er mit diesen Werkzeugen arbeiten kann. Pixera bietet hier durch eine aufgeräumte und im Vergleich zur Pandoras Box fast minimalistische Benutzeroberfläche von Beginn an einen leichten Einstieg. Da in der Vorschauansicht genau der gewünschte Aufbau nachmodelliert werden kann, findet sich der Nutzer schnell zurecht. Der Weg, zunächst einen Screen aufzubauen und dann einen Projektor auf diesen Screen zu richten, ist intuitiv. Damit steht die Projektionsfläche im Mittelpunkt. Dieser Eindruck entsteht ebenfalls durch die Modifikatoren im Warping, die sich innerhalb eines Outputs nur auf die Projektionsfläche beziehen und schwarz bleibende Bildanteile außen vor lassen.

Anders ist dies bei Pandoras Box. Hier wird die Form der Projektionsfläche nur als Bestandteil eines Content Layers betrachtet. In der Bearbeitung dieses Contents liegt auch die Stärke dieses Medienservers. Pandoras Box verfügt über eine große, gut strukturierte Effekt-Bibliothek. Die Möglichkeit dass durch die Arbeit mit den *Devices* jegliche Veränderungen, zum Beispiel an Kamerapositionen, als Keyframe gespeichert werden können, bietet einen größeren Spielraum zur Inszenierung der Installation.

Allerdings leidet diese umfangreiche Werkzeugpalette unter der verschachtelten GUI und der unintuitiven Interaktion mit den Funktionen. Der häufig fehlende oder nicht sauber implementierte Befehl zum Rückgängigmachen einer Aktion und der ungewöhnliche Ansatz zum Abspeichern eines Werts hindern den User an einem schnellen Einstieg in die Software. Insgesamt wirken die Werkzeuge in Pandoras Box restriktiver. Beispiele dafür sind die fehlende Möglichkeit nach Beginn der Einrichtung eines Warpings noch zusätzliche Punkte hinzu zu fügen, sowie die nicht frei bewegbare Softedge. Letztere vermittelt den Eindruck, Pandoras Box setze in erster Linie auf die Einrichtung von rechteckigen Projektionsflächen. Dieser Eindruck wird dadurch verstärkt, dass zum Beispiel die Warming-Funktionen zu allererst auf den planen Output angewendet werden und erst nach Hinzufügen des Meshes der Projektionsfläche ein Warming an selbiger möglich ist. Dass die Position der Projektionsfläche an einen Content Layer gekoppelt sind und für jeden neuen Layer eine neue Projektionsfläche erstellt wird stört den Eindruck, es handle sich hier um eine eigenständige Projektionsfläche und nicht nur um eine Form die den Inhalt verändert.

6.4.1. Fazit

Für ein Projekt wie in diesem Testaufbau ist Pixera die zugänglichere Software. Es ist möglich, schnell und unkompliziert den Dodekaeder als Screen zu importieren und die Bilder auf ihm zu platzieren. Auch im Einrichtungsprozess überzeugte der Medienserver mit der nachvollziehbaren Navigation im dreidimensionalen Raum und seinem Arbeitsablauf im Bereich Warming. Hier ist besonders der Vertex-Modifier hervorzuheben, der eine deutliche Zeitersparnis einbrachte, da jeder Output einzeln mit ihm bearbeitet werden konnte. Der Testaufbau konnte einfach nachmodelliert werden, was im Endergebnis dazu führte dass der Inhalt schon vor der Einrichtung im realen Raum gut auf der Projektionsfläche saß und nur wenig nachgerichtet werden musste. Auch hier wurde Zeit gespart.

Allerdings ist dieses Beispielprojekt darauf ausgelegt die Werkzeuge zum Einrichten eines Projection Mappings zu analysieren. Er bildet nicht zwingend das alltägliche Szenario eines 3D-Mappings ab. Der Content in diesem Testaufbau ist statisch und nicht mit Effekten bearbeitet. Hier liegen allerdings die Stärken von Pandoras Box. Es entsteht der Eindruck dieser Medienserver würde den Fokus mehr auf den Inhalt legen, wohingegen die Aufteilung der Funktionen und der Fokus auf den dreidimensionalen Raum in

Pixera eher am realen Szenario orientiert zu sein scheint. Es wirkt als sei der älteren, schon bestehenden Software Pandoras Box das Arbeiten im dreidimensionalen Raum nur aufgesetzt worden, die Werkzeuge aber nur wenig daran angepasst.

Ein deutlicher, funktionsübergreifender Unterschied liegt aber in der Handhabung der beiden Server. Hier liegt Pixera deutlich vorne und bietet dem Nutzer von Anfang an einen intuitiven Umgang mit seinen Werkzeugen, wohingegen sich die Vorteile der Pandoras Box erst nach längerer Eingewöhnungszeit ohne große Anstrengung nutzen lassen. Als Anwender, der zuvor mit keiner der Softwares gearbeitet hat, war eine deutliche Zeitersparnis bei der Benutzung von Pixera auszumachen.

Diese Erkenntnis lässt im Hinblick auf das nachfolgende Kapitel 7 *Einbindung von Kontrollelementen* die Frage aufkommen, ob eine gut designte Benutzeroberfläche und leicht zu erlernende Eingabebefehle schon der ausschlaggebende Punkt sind.

7. Einbindung von Kontrollelementen

7.1. Mögliche Szenarien

7.1.1. Ablaufsteuerung

Unter den Begriff Ablaufsteuerung fallen Funktionen und Befehle, die sich auf den final ausgespielten Content beziehen. Das Abspielen, Pausieren und Stoppen von Sequenzen und Timelines oder die Navigation zu bestimmten Cues innerhalb einer Show sind insbesondere während des Ablaufs der Produktion entscheidend. Da der Operator an diesem Punkt nicht mehr tiefgehend in die Programmierung eingreifen muss, sondern nur noch die vorbereiteten Szenen abfährt, empfiehlt sich eine Steuerung mit externer Hardware. So kann die Steuerung auf die wichtigen Befehle reduziert werden.

Im Bereich der Ablaufsteuerung sind bereits häufig Hardwarelösungen anzutreffen. Ein besonders verbreitetes Beispiel für eine externe Bedienhardware sind die *Stream Decks* der Firma Elgato.⁵² Hierbei handelt es sich um Geräte bestehend aus einer Matrix an Druckknöpfen, die frei mit Funktionen belegt werden können. (Abbildung 69) Die Ausführungen reichen von 6 bis 32 Tasten und können so Größe und Umfang eines Projektes angepasst werden. Aufgrund der Beliebtheit des Produktes wird die Steuerung bereits von mehreren Herstellern nativ implementiert.^{53 54}



Abbildung 69: Stream Deck XL von Elgato ⁵⁵

⁵² production-partner.de: *Bitfocus Companion: Clevere Software*

⁵³ eventelevators.de: *ArKaos veröffentlicht MediaMaster 6*

⁵⁴ <https://www.promedianews.de/produkte/modulo-pi-veroeffentlicht-neue-version-des-modulo-player-medienservers/>

⁵⁵ elgato.com: *Stream Deck XL*

Vereinzelt bieten Hersteller auch eigene Lösungen zur Ablaufsteuerung an. Beispielhaft sei hier das *Jog-Shuttle* von Christie aufgeführt. (Abbildung 70)⁵⁶ Es verfügt, anders als das Stream Deck, nicht nur über Druckknöpfe sondern erleichtert mit zwei Schieberegler und einem Drehregler auch die Arbeit im Wertebereich. Es können bis zu zwei Sequenzen gleichzeitig bedient werden. Neben den oben genannten Befehlen zum Abspielen einer Show kann auch die Transparenz der Sequenzen über das *Jog-Shuttle* bearbeitet werden.



Abbildung 70: *Jog-Shuttle* von Christie

Eine weitere Möglichkeit die Ablaufsteuerung nicht aus dem Server heraus vorzunehmen ist eine oberflächenbasierte Steuerung. Hierbei werden auf einer Touch-Oberfläche Steuerelemente angeordnet und mit Funktionen des Servers verknüpft. Einige Medienserver-Hersteller bieten diese Funktion von sich aus an, beispielsweise der *Widget Designer* von Christie oder *Pixera Control* von AV Stumpfl. Auf diese Lösung wird in Kapitel 7.2. noch genauer eingegangen.

7.1.2. Einrichtungsprozess

Im Bereich der Einrichtung einer Installation sind externe Bedienhardware-Elemente noch nicht so weit verbreitet, wie in der Ablaufsteuerung.

⁵⁶ christiepandorasbox.com: *Accessories*

Bei der Einrichtung des Testaufbaus aus Kapitel 6 zeigte sich allerdings ein Aspekt des Einrichtungsprozess, der stark von der Arbeit mit Bedienhardware profitieren würde. Wird ein Objekt nicht nur aus einem einzigen Blickwinkel projiziert, sondern aus mehreren die nicht von einem Ort aus voll einsehbar sind, wird die Einrichtung am statischen Medienserver mit fixer Position zum Problem.

Abhilfe könnte hier drahtlose Bedienhardware schaffen, die es dem Operator ermöglicht, das Objekt aus allen Blickwinkeln zu betrachten. Insbesondere die Positionierung des Contents und die Bearbeitung durch Warping sind aufgrund der Feinheit der Einstellungen interessant.

Mit einer oberflächenbasierten Steuerung auf einem Tablet wäre dieses Problem bereits zu lösen. Allerdings haben Testaufbau und Vergleich gezeigt, dass die Haptik einer Pfeiltaste der Tastatur ein wesentlich genaueres Einrichten ermöglicht, als die Arbeit mit der Maus. Um diese Haptik zu schaffen, braucht es Hardware mit Bedienelementen, die über einen Touch-Sensor hinaus gehen. Außerdem kann Hardware mit Eingabeelementen bedient werden, ohne regelmäßig auf das Gerät zu schauen. So kann beim Einrichten Blickkontakt zur Projektionsfläche gehalten werden.

Frei konfigurierbare Steuerelemente sind bereits am Markt erhältlich. Neben den bereits erwähnten Stream Decks, werden auch Elemente angeboten die über einfache Druckknöpfe hinausgehen. Exemplarisch sein hier die Komponenten der Firma Skaarhoj zu nennen, die mit Joysticks, Schiebe- und Drehreglern auch Lösungen für komplexere Steuervorgänge bieten. Neben dieser professionellen Hardware können aber auch Konsumergeräte, beispielsweise Controller von Spielekonsolen, zum Einsatz kommen.

7.2. Testszenario

Ziel des Tests soll es nun sein Position, Rotation und Warping eines Projektors mithilfe drahtloser Hardware zu verändern.

Es soll möglich sein den Projektor entlang der drei Achsen x , y und z des dreidimensionalen Raums zu verschieben. Die Rotation soll ebenfalls in drei Achsen erfolgen. Diese werden im folgenden als tilt (vertikal), pan (horizontal) und roll (seitwärts) beschrieben.

Beim Warping soll es möglich sein einen Knotenpunkt auszuwählen und ihn räumlich entlang der x - und y -Achse zu verschieben.

Zunächst soll dies innerhalb der *Control* Funktion von Pixera als Oberflächensteuerung realisiert werden, die im Anschluss mit einem drahtlosen Gerät, wie zum Beispiel einem

iPad bedient wird.

Am Ende sollen alle Funktionen mit dem Controller einer Spielekonsole, einem sogenannten Gamepad bedient werden. In diesem Fall wurde der Controller der Xbox One von Microsoft verwendet. Um die drahtlose Verbindung herzustellen, wird der Controller mit einem herstellereigenen Bluetooth auf USB Adapter mit dem Rechner verbunden.

7.2.1. Pixera Control

7.2.1.1. Oberflächensteuerung

Pixera Control ist eine Funktion in Pixera, die es dem Nutzer ermöglicht Steuerbefehle einzelnen Funktionen des Medienservers zuzuordnen. Mit Hilfe von vorgefertigten Nodes oder über eine eigene Programmierung werden Schnittstellen zwischen eingehenden Befehlen und vorausgewählten Funktionen hergestellt. (Abbildung 71)

Außerdem kann innerhalb von Control eine auf Touch-Steuerung ausgelegte Oberfläche angelegt werden. (Abbildung 75)

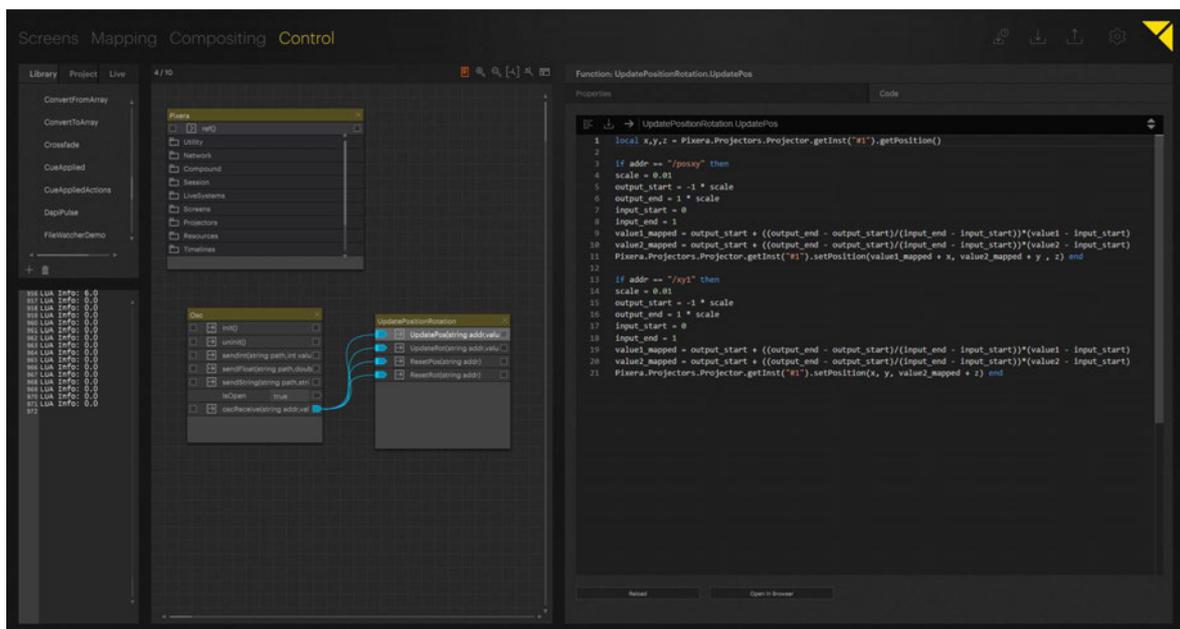


Abbildung 71: GUI der Control Funktion

Um die Position und Rotation eines Projektors mithilfe eines iPads zu steuern, wird zunächst ein Modul angelegt in dem die Funktionen der später folgenden Eingabeoberfläche erstellt werden. Hierzu werden einzelne Actions erstellt. Es kann in einer Baum-

struktur ausgewählt werden auf welche Funktion zurückgegriffen werden soll. (Abbildung 72)

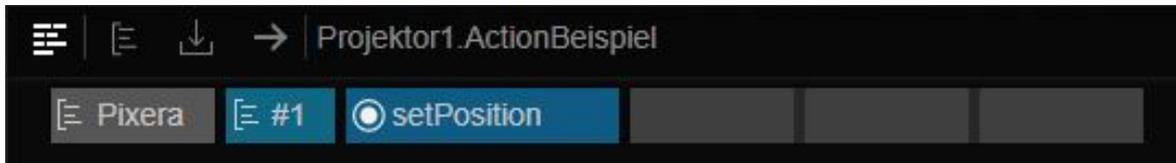


Abbildung 72: Fertige Zuweisung einer Action

Alternativ kann auch in der Skript Sprache LUA selbst eine Programmierung geschrieben werden.

Da der von Pixera vorgefertigte Befehl zum Festsetzen der Projektorposition nur einen fixen Wert festlegt, nicht aber die aktuelle Position in Betracht zieht, wird eine eigene Programmierung angelegt. Sie besteht aus dem Befehl zum erhalten der aktuellen Projektorposition (vgl.: Abbildung 73, Zeile 1) und einem Befehl zum Setzen der neuen aktualisierten Position (vgl.: Abbildung 73, Zeile 2). Hierbei steht myX für den neu erhaltenen Wert aus der Eingabeoberfläche. Auf diese Weise werden Actions für alle 6 zu verändernden Parameter erstellt. (Abbildung 74)

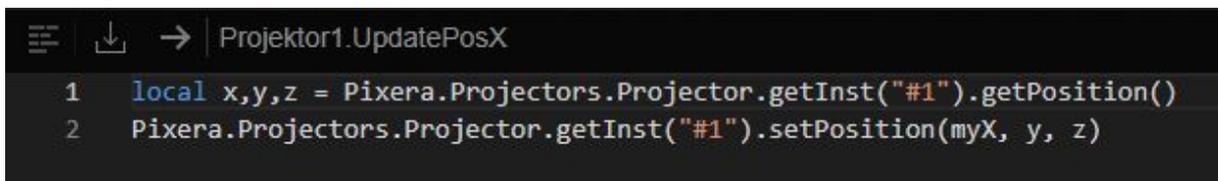


Abbildung 73: LUA Code für die Aktualisierung der x-Achsen Position des Projektors #1

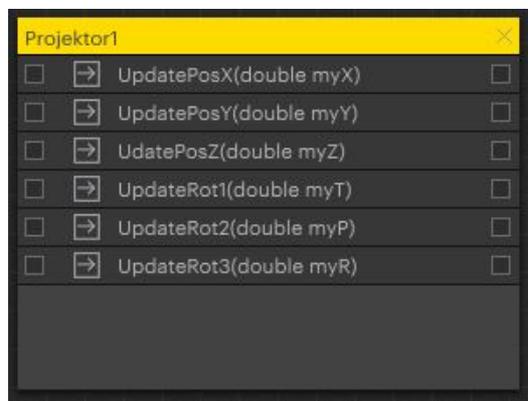


Abbildung 74: Modul Projektor1 mit 6 Actions zum Aktualisieren der Parameter

Anschließend wird eine Eingabeoberfläche angelegt. Es kann aus verschiedenen gängigen Eingabeformen wie Knöpfen (englisch: Buttons) oder Schiebereglern (englisch: Slider) in verschiedenen Ausführungen ausgewählt werden. Wie in Abbildung 72 zu sehen ist, wurde für die Veränderung der Position je ein vertikaler Slider für jede Achse angelegt. Die Parameter der Rotation werden über drei *Circular Slider* gesteuert. Auf dem beigelegten Datenträger zu dieser Arbeit befindet sich ein Video der Anwendung der Funktion.



Abbildung 75: Fertige Touch-Oberfläche zur Steuerung der Position und Rotation

Diese Oberfläche kann nun von Pixera als lokaler Webserver zur Verfügung gestellt werden. So kann von jedem Browser im lokalen Netzwerk darauf zugegriffen werden. So kann ein Gerät das sich im selben Netzwerk befindet auf die erstellte Oberfläche zugreifen.

Aufgrund des eingeschränkten Zugriffs auf die Funktionen des Servers, durch die Vorauswahl der in den Actions verwendbaren LUA Befehle, ist es in Pixeras *Control* nicht möglich eine Steuerung für die Warping Funktion zu erstellen. Eine alternative Lösung hierfür wird in Kapitel 7.2.2 genauer erläutert.

7.2.1.2. Einbindung Gamepad

Um das Gamepad in die Ansteuerung von Position und Rotation einzubinden muss zunächst eine Verbindung zwischen Controller und Pixera hergestellt werden.

Diese Verbindung geschieht über das OSC-Protokoll. Open Sound Control (OSC) ist ein Netzwerkprotokoll, das aus drei Informationsteilen besteht. *OSC Address*

Pattern, *OSC Type Tag String* und gegebenenfalls *OSC Arguments*. Das *Adress Pattern* enthält einen String mit einer einzigartigen Adresse innerhalb einer OSC-Verbindung. Der *Type Tag String* enthält Informationen darüber welche Art die folgenden Arguments haben. Die *Arguments* enthalten dann die reine Information die übertragen werden soll, z.B. eine Fließkommazahl. ⁵⁷

Pixera Control beinhaltet bereits Nodes zur Verarbeitung von OSC-Befehlen. Zur Initiierung einer Verbindung müssen nur die passende IP- und Port-Adresse des Senders des OSC-Befehls eingegeben werden.

Um das Gamepad mit dieser Node zu verbinden, braucht es ein Programm das die Befehle des Controllers in OSC-Befehle wandelt. Hierfür wird in dieser Arbeit TouchOSC verwendet. TouchOSC ist ein Programm, das es dem Nutzer ermöglicht eine Oberfläche mit Eingabewerkzeugen zu gestalten und diesen OSC-Befehle zu zuweisen. (Abbildung 76)

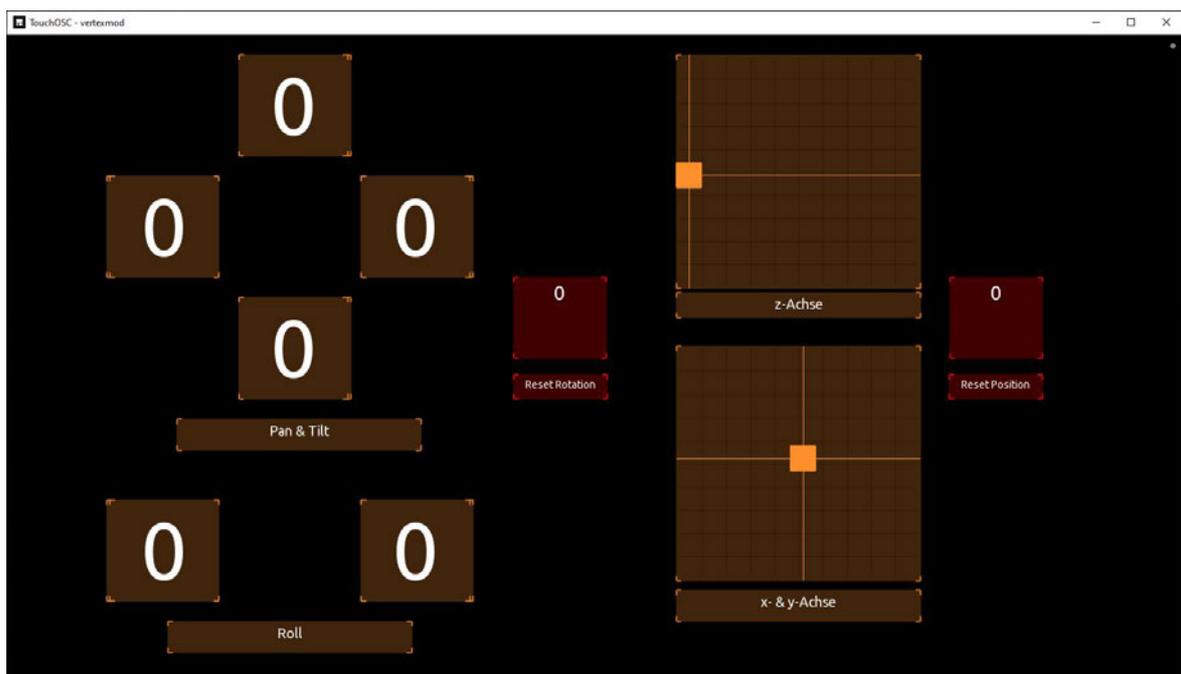


Abbildung 76: TouchOSC Oberfläche zur Steuerung der Position und Rotation

⁵⁷ opensoundcontrol.stanford.edu: *OpenSoundControl Specification 1.0*

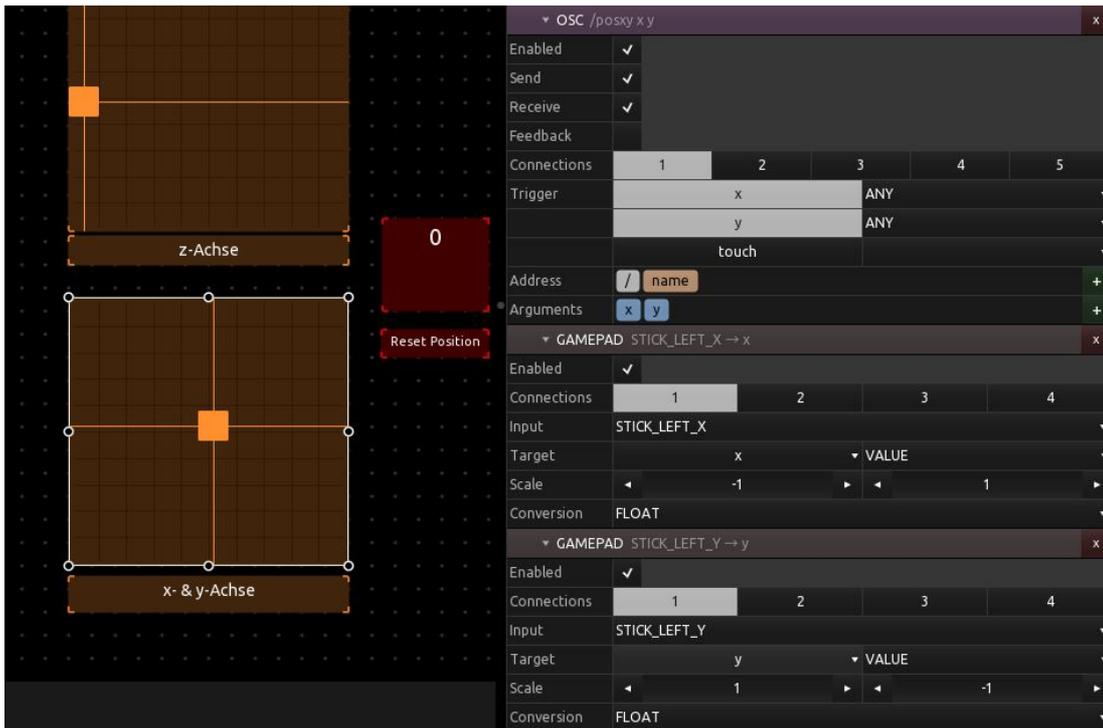


Abbildung 77: Zuweisung der Gamepad Eingaben zur Oberflächensteuerung

Im Untermenü *Messages* können Einstellungen zur OSC-Verbindung vorgenommen werden und das Gamepad als Eingabegerät ausgewählt werden. (Abbildung 77) Die Zuweisung der Funktionen erfolgt über die Buttons und X-Y-Koordinatenfelder in der Oberfläche, sie werden den Eingabeelementen des Controllers zugeordnet. (Abbildung 78)

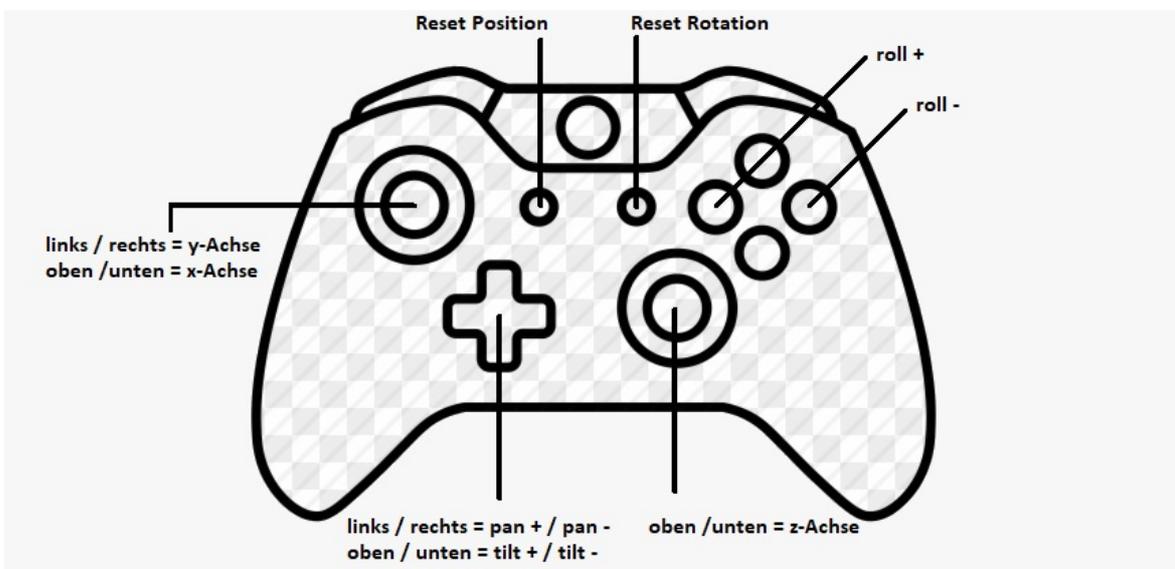


Abbildung 78: Belegung der Taster des Gamepads mit Funktionen zur Positions- und Rotationsänderung

Da die erhaltenen Daten nun die Form eines OSC-Befehls haben, wird in Pixera ein neues Modul mit einer anderen Programmierung benötigt als für die mit der eigenen Oberflächensteuerung.

```
UpdatePositionRotation.UpdatePos
1 local x,y,z = Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").getPosition()
2
3 if addr == "/posxy" then
4   scale = 0.01
5   output_start = -1 * scale
6   output_end = 1 * scale
7   input_start = 0
8   input_end = 1
9   value1_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end - input_start))*(value1 - input_start)
10  value2_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end - input_start))*(value2 - input_start)
11  Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setPosition(value1_mapped + x, value2_mapped + y, z) end
12
13 if addr == "/xy1" then
14   scale = 0.01
15   output_start = -1 * scale
16   output_end = 1 * scale
17   input_start = 0
18   input_end = 1
19   value1_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end - input_start))*(value1 - input_start)
20   value2_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end - input_start))*(value2 - input_start)
21   Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setPosition(x, y, value2_mapped + z) end
```

Abbildung 79: Code zur Aktualisierung der Position mit dem Gamepad

Es wird ebenfalls zuerst die aktuelle Position des Projektors abgefragt. Im Anschluss werden durch ein *if*-Bedingung die einzelnen Änderungen der Parameter einem bestimmten *OSC Address Pattern* zugeordnet. Im Code der in Abbildung 79 zu sehen ist werden die Kommandos der Zeile 3 bis 11 also nur ausgeführt, wenn ein OSC-Befehl mit dem *Address Pattern* */posxy* ankommt. Ist das der Fall werden im Anschluss die Werte zur Ermittlung der Veränderung bestimmt. Unter *scale* kann der Nutzer einstellen wie fein oder grob die Steuerung umgesetzt werden soll. Da die Eingabe der Joysticks von sich aus Werte zwischen 0 bis 1 wiedergibt, die x- und y-Achsen in Pixera aber im Ursprung des Koordinatensystems ihren Nullpunkt haben und deshalb auch in den negativen Zahlenbereich gehen, muss der Eingabewert zunächst auf den richtigen Wertebereich angepasst werden. Hierfür werden in Zeile 9 und 10 die entsprechenden neuen Werte mithilfe einer Funktion ermittelt.⁵⁸

In Zeile 11 werden diese Werte der Veränderung zu den in Zeile 1 festgestellten aktuellen Koordinaten addiert und die neue Position des Projektors festgelegt.

⁵⁸ <https://stackoverflow.com/questions/5731863/mapping-a-numeric-range-onto-another>

```

UpdatePositionRotation.UpdateRot
1  local t,p,r = Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").getRotation()
2
3  if addr == "/text12" then
4  scale = 1
5  output_start = 0 * scale
6  output_end = 1 * scale
7  input_start = 0
8  input_end = 1
9  value1_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end - input_start))*(value1 - input_start)
10 Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setRotation(value1_mapped + t, p, r) end
11
12 if addr == "/text11" then
13 scale = 1
14 output_start = 0 * scale
15 output_end = 1 * scale
16 input_start = 0
17 input_end = 1
18 value1_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end - input_start))*(value1 - input_start)
19 Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setRotation(t, value1_mapped + p, r) end
20
21 if addr == "/text3" then
22 scale = 1
23 output_start = 0 * scale
24 output_end = 1 * scale
25 input_start = 0
26 input_end = 1
27 value1_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end - input_start))*(value1 - input_start)
28 Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setRotation(t, p, value1_mapped + r) end
29
30 if addr == "/text5" then
31 scale = 1
32 output_start = 0 * scale
33 output_end = 1 * scale
34 input_start = 0
35 input_end = 1
36 value1_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end - input_start))*(value1 - input_start)
37 Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setRotation(-value1_mapped + t, p, r) end

```

Abbildung 80: Code zur Aktualisierung der Rotation mit dem Gamepad, Teil 1

```

UpdatePositionRotation.UpdateRot
39  input_end = 1
40  value1_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end - input_start))*(value1 - input_start)
41  Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setRotation(-value1_mapped + t, p, r) end
42
43  if addr == "/text10" then
44  scale = 1
45  output_start = 0 * scale
46  output_end = 1 * scale
47  input_start = 0
48  input_end = 1
49  value1_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end - input_start))*(value1 - input_start)
50  Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setRotation(t, -value1_mapped + p, r) end
51
52  if addr == "/text1" then
53  scale = 1
54  output_start = 0 * scale
55  output_end = 1 * scale
56  input_start = 0
57  input_end = 1
58  value1_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end - input_start))*(value1 - input_start)
59  Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setRotation(t, p, -value1_mapped + r) end

```

Abbildung 81: Code zur Aktualisierung der Rotation mit dem Gamepad, Teil 2

Der Code für die Änderung der Rotation funktioniert in ähnlicher Weise. Er ist in sechs *if*-Bedingungen unterteilt, da die Änderung der Rotation über die Tasten vorgenommen werden, die je einen eigenen *OSC Address Pattern* besitzen. Je eine Taste für die Änderung ins Positive und eine ins Negative. (Abbildung 80 & 81)

Zusätzlich zur Änderung von Position und Rotation wurden zwei Knöpfe zum Zurücksetzen der Änderungen angelegt. Auf welche Werte zurückgesetzt wird kann in der Programmierung festgelegt werden. In diesem Fall werden sie auf ihren Ursprung (0, 0, 0) zurück gesetzt. (Abbildung 82 & 83)

```
UpdatePositionRotation.ResetPos
1 if addr == "/text18" then
2 Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setPosition(0, 0, 0) end
```

Abbildung 82: Code zum Zurücksetzen der Position

```
UpdatePositionRotation.ResetRot
1 if addr == "/text17" then
2 Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setRotation(0, 0, 0) end
```

Abbildung 83: Code zum Zurücksetzen der Rotation

Um die OSC-Befehle an die Programmierung zu senden, wird die OSC-Node in Pixera mit den Actions die die Programmierung enthalten verbunden. (Abbildung 84)

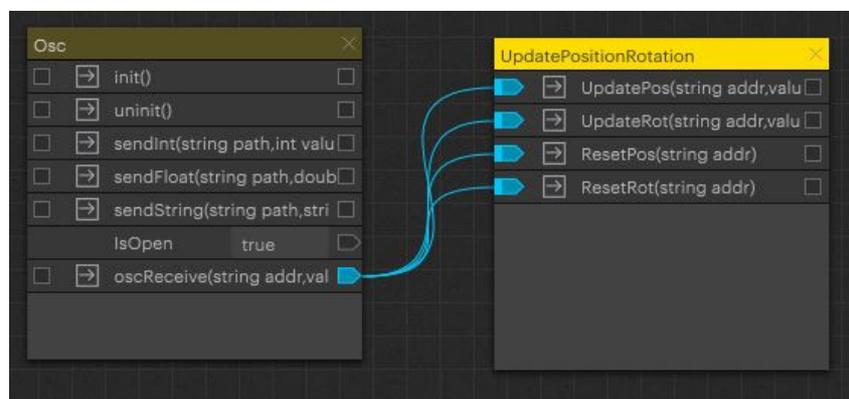


Abbildung 84: OSC-Node und UpdatePositionRotation Modul verbunden

Auf dem beigelegten Datenträger zu dieser Arbeit befinden sich Videos der Anwendung der Funktionen.

7.2.2. Gamepad mit Tastaturfunktionen

Als besonders interessant für die Einbindung von drahtloser Hardware hat sich die Funktion Warming herausgestellt. Die Arbeit in x- und y-Achse könnte durch den Einsatz eines Joysticks erleichtert werden.

Leider bietet Pixera *Control* keine Möglichkeit über die ein selbst geschriebenes Skript auf die Warming-Funktion zuzugreifen. Ein Befehl analog zu den *getPosition*- oder *setPosition*-Befehlen wird nicht freigegeben.

Allerdings ist es möglich die Funktion über Tastenkürzel (englisch: shortcuts) zu bedienen. (Abbildung 85) Diese bieten innerhalb der Warming-Funktion eine gute Menge an Befehlen.

ENGINE (MAIN/WARP)	D	Dive into content compositing or softedge / leave content compositing or softedge	Ctrl + ↑ ↓	Increase/decrease control point soft selection radius
	U	Camera: reset up	Ctrl + O	Set soft selection radius to 0 (disable soft selection)
	R	Reset camera	W	Render wireframe overlay
	Ctrl + R (compositing)	Adopt selected camera orientation in compositing	Shift + O	Reset selected control points (Shift: Reset all control points) of current modifier
	G	Show ground grid	P	Toggle softedge placing
	B	Toggle bounding box orientation for current selection	Ctrl + Alt + A	Align projectors
	E	Toggle mesh modifier editing	Ctrl + 9	On screen statistics
	DEL	Delete selected content	F5	Activates all outputs
	ESC	Clear selection	Shift + ESC	Deactivates all outputs
	Shift (while mouse dragging)	Enter/Toggle axis constraints and snapping	X (while camera/projector transformation)	Position or look-at point is locked
	Shift + ← ↑ → ↓	Move selected element	Shift + Tab	Toggle selection mode
	Shift + Alt + □ □ □ □ □ □	Change selected control points		

Abbildung 85: Shortcuts in Pixera zur Steuerung der Engine⁵⁹

Zum Einrichten der Modifier sind besonders die Shortcuts für die Auswahl der Knotenpunkte (*Change selected control points*), das Verschieben der Knotenpunkte (*move*

⁵⁹ pixera.one: *SHORTCUTS*

selected elements) und das Umschalten zwischen den Modifiern (*Toggle mesh modifier editing*) interessant.

Um diese Tastenkürzel mit dem Gamepad ansteuern zu können, wird eine Software benötigt, die die Eingabebefehle des Controllers den jeweiligen Tasten der Tastatur zuordnet. Hierfür wurde das frei erhältliche Programm *antimicro* verwendet. (Abbildung 86)

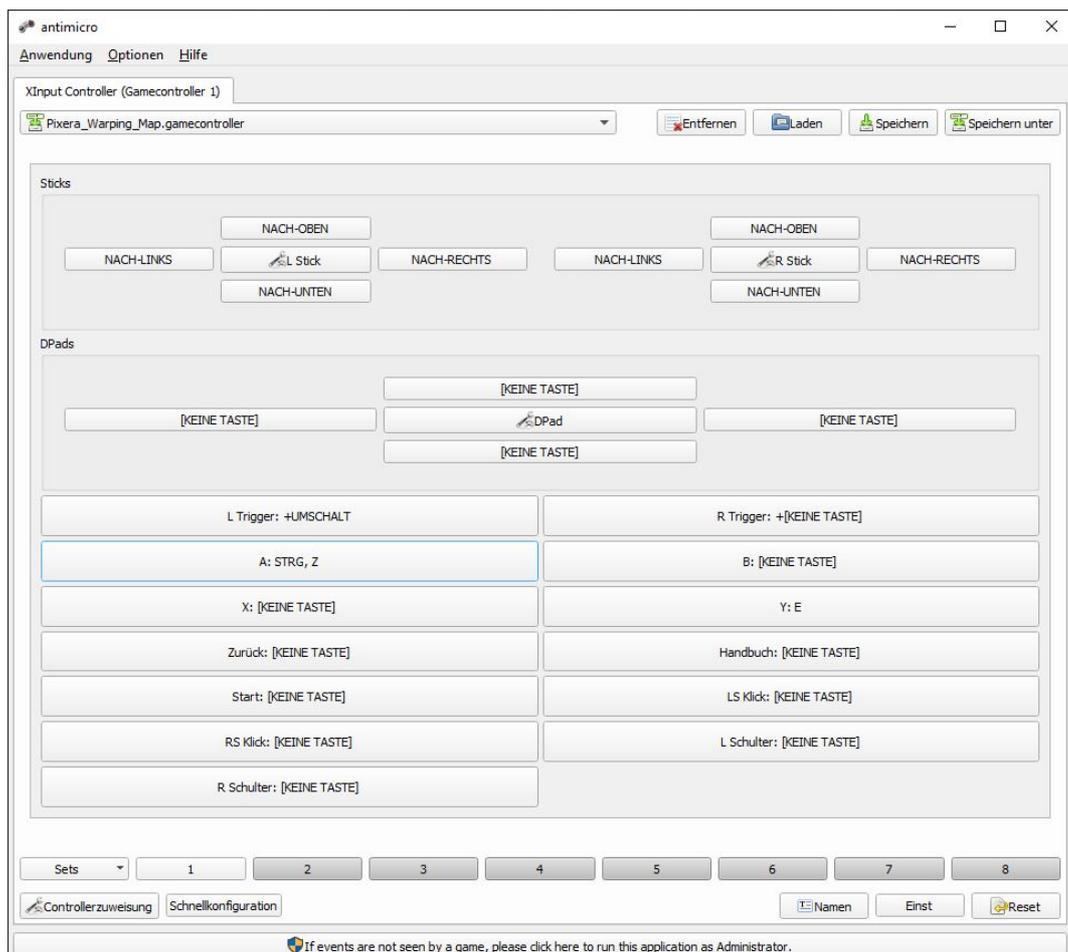


Abbildung 86: Benutzeroberfläche antimicro mit Tastenbelegung des Gamepads

Nachdem in *antimicro* die Shortcuts zugewiesen wurden, kann sofort begonnen werden. Für Pixera verhält sich der Controller nun wie eine Tastatur.

Bei der Verteilung der Funktionen auf dem Gamepad wurden die Auswahl und die Verschiebung der Knotenpunkte auf die Joysticks gelegt, um das Arbeiten auf der x- und y-Achse zu erleichtern. Durch Gedrückthalten des linken Schulter-Trigger, der der Umschalttaste (englisch: shift) entspricht, kann das Tempo der Verschiebung der Knoten-

punkte beschleunigt werden. Ebenfalls können durch Gedrückthalten dieses Triggers bei der Auswahl mehrere Knotenpunkte zusammen ausgewählt werden.

Das Umschalten zwischen den einzelnen Modifiern und eine Rückgängig-Funktion befinden sich auf den Tasten A und Y des Controllers. (Abbildung 87)



Abbildung 87: Belegung der Taster des Gamepads mit Funktionen zur Einrichtung des Warpings

Zur Zeit ist diese Steuerung nur für den FFD-Modifizier anwendbar. Leider ist es nicht möglich die Knotenpunkte des Vertex-Modifiern mit Hilfe der Pfeiltasten auszuwählen.

7.2.3. Fazit

Die in Kapitel 6 herausgearbeiteten signifikanten Unterschiede in der benötigten Einrichtungszeit der Installation zeigten, dass eine gut durchdachte Benutzeroberfläche den Einrichtungsprozess bereits erheblich erleichtert.

Dass besonders die Arbeit mit Tastenkürzeln positiv aufgefallen ist weist darauf hin, dass eine Arbeit mit dedizierter Bedienhardware von Vorteil ist. Dies wird auch durch die weite Verbreitung von Hardware-Kontrollelementen im Bereich der Ablaufsteuerung unterstrichen.

Bei der Installation des Beispielprojektes wurde ein weiterer Vorteil externer Hardware erkennbar. Im Einrichtungsprozess bestehen potentielle Vorteile in der Anwendung drahtloser Hardware für größere Bewegungsfreiheit, insbesondere bei schwer einseh-

baren Projektionsabschnitten.

Die entwickelte Lösung zur Steuerung der Position und Rotation eines Projektors, sowie zur Einrichtung des Warpings mit einem Gamepad erwies sich als intuitive Eingabeform.

Die Änderung der Position eines Projektors ist durch die Verwendung der Joysticks natürlicher geworden, da die Haptik die Bewegung im dreidimensionalen Raum widerspiegelt. Zusätzlich ist der Prozess schneller geworden, da nicht zuerst ausgewählt werden muss in welchen zwei Achsen der Projektor verschoben werden soll (vgl.: Kapitel 6.3.2.1. und Abbildung 57). Dies gilt ebenfalls für die Rotation. Diese war außerdem nicht mit der Tastatur veränderbar und profitiert so umso mehr von der intuitiveren Steuerung durch Druckknöpfe.

Beim Warming liegt der Vorteil weniger in der reinen Anwendung der Hardware, da sie nur die Pfeiltasten beziehungsweise Tastenkürzel aufgreift, als in der individualisierten Anordnung. Dass Auswahl und Verschiebung der Knotenpunkte getrennt auf zwei Joysticks gelegt werden können und keine Tastenkombination mehr benötigen erleichtert das Hineinversetzen in die Steuerung. Auch die Reduzierung einer ganzen Tastatur auf die wichtigsten Funktionen, verteilt auf die wenigen Knöpfe des Gamepads, macht einen übersichtlicheren Eindruck.

Selbstgeplante Lösungen wie diese bieten ein breites Feld an flexiblen Individualisierungsmöglichkeiten. Unter Eindruck dieses hohen Potentials ist es umso bedauerlicher, dass der Server keinen vollständigen Zugriff auf alle seine Funktionen zulässt. Ließe sich dieser Zugang schaffen, könnten auch mit anderen Steuerelementen, abseits der bereits erschlossenen Funktionen im Bereich Ablaufsteuerung, neue kreative Wege zur Ansteuerung der Funktionen eines Medienservers entwickelt werden.

8. Fazit

In dieser Arbeit wurde der Frage nachgegangen, wie sich Medienserver und ihre Bedienphilosophien unterscheiden und ob sie von spezialisierten Kontrollelementen profitieren könnten.

Hierfür wurde zunächst eine Definition des Begriffs Medienserver in der medientechnischen Umgebung gegeben.

Um zu verdeutlichen was Medienserver leisten können wurde ein Überblick über die Einsatzmöglichkeiten gegeben. Es wurde deutlich, dass Medienserver ein breites Spektrum an Funktionen bieten, die für verschiedenste Produktionsumgebungen von Nutzen sind. Es wurden verschiedene Arten von Medienservern definiert und in diesem Zug beispielhaft auf bekannte Marken am Markt hingewiesen.

Um den Rahmen für den Vergleich zweier Medienserver zu setzen, wurde ein Beispielprojekt erarbeitet. Die Art der Installation, das Projection Mapping, wurde erklärt und auf technische Herausforderungen hingewiesen. Um den Einsatzzweck eines Medienservers in dieser Produktionsumgebung zu veranschaulichen, wurden einige Arbeitsweisen, die für das Projection Mapping von Bedeutung sind, erklärt.

Nach der Definition der Rahmenbedingungen für das Beispielprojekt, wurden zwei Kandidaten für den Vergleich ausgewählt. Die Wahl fiel auf Pixera und Pandoras Box. Ein Vergleich mit einer höheren Anzahl an Medienservern wäre repräsentativer und aufschlussreicher gewesen. Da aber jeder dieser Server zur Durchführung des Vergleichs erst erlernt werden muss, war eine größere Kandidatenmenge zeitlich nicht umsetzbar. Deshalb wurde bei der Auswahl darauf geachtet, zwei Medienserver mit unterschiedlichen Historien auszuwählen.

Um für den Vergleich reale Erfahrungswerte zu sammeln, wurde das Beispielprojekt mit zwei Projektoren aufgebaut. Der Vergleich ergab, dass sich Pixera für das konstruierte Beispielprojekt wesentlich besser eignet. Dies kann aber auch darauf zurückzuführen sein, dass es sich um ein verhältnismäßig simplen Versuchsaufbau handelt. Die Stärken der Pandoras Box, insbesondere im Bereich der Contentbearbeitung fanden keine Anwendung. Allgemein lässt sich allerdings ein deutlicher Unterschied in den Bedienphilosophien ausmachen, welcher zur Folge hat, dass der Umgang mit Pixera als deutlich zugänglicher wahrgenommen wurde, wohingegen sich die Arbeit mit Pandoras Box als umständlicher und weniger intuitiv darstellte.

Im Anschluss wurden Szenarien betrachtet in denen zusätzliche Bedienhardware einen Mehrwert bieten könnte. Insbesondere eine drahtlose Lösung versprach hier für die Einrichtung von Projektionen mit unterschiedlichen Blickwinkeln einen Vorteil. Um eine mögliche Umsetzung dieser Lösung zu demonstrieren, wurde die Steuerung zweier Funktionen mit Hilfe eines drahtlosen Controllers realisiert. Die Anwendung wurde für den Pixera Medienserver umgesetzt, da er sich im vorangegangenen Vergleich als zugänglicher erwies. Ähnliche Lösungen, basierend auf den gleichen Prinzipien, sind aber auch mit anderen Servern möglich, da industrieübliche Schnittstellen verwendet wurden.

Für die Einrichtung der Orientierung eines Projektors wurde zuerst eine browser-basierte Lösung programmiert, die auf drahtlosen Geräten aufgerufen werden kann, um einen Vergleich von oberflächenbasierten Lösungen zu Hardware mit unterschiedlichen, haptischen Bedienelemente zu haben. Außerdem wurde die Steuerung mit dem Controller direkt in Pixera umgesetzt.

Für die Steuerung der Waring-Funktion musste eine Lösung außerhalb Pixeras eigener Kontrolloberfläche realisiert werden, da die Software keinen direkten Zugriff auf diese Funktion gewährt. Dies verdeutlichte, dass ein vollkommen freier Einsatz von externer Hardware noch nicht ermöglicht wird.

Beide Funktionen bedienten sich gut mit dem Controller. Die Haptik echter Joysticks und Tasten wirkte in der Steuerung natürlicher. Die freie Wahl bei der Belegung der Bedienelemente ermöglicht es dem Nutzer für ihn wichtige Funktionen näher zusammenzubringen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass selbst zusammengestellte Lösungen wie diese eine positive Auswirkung auf den Einrichtungsprozess haben. Außerdem bieten sie eine gute Individualisierungsmöglichkeit und große Flexibilität.

9. Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass individualisierte Bedienhardware in konkreten Anwendungsfällen einen Mehrwert bieten kann. Interessant wäre eine Untersuchung, ob auch Konzepte für ein gesamtes Medienserver-Pult, analog zu Licht- und Tonpulten, entwickelt werden könnten, oder ob die Funktionen und Einsatzmöglichkeiten eines Medienservers hierfür zu vielfältig sind.

Der Ansatz, frei konfigurierbare Bedienhardware für den Einsatz im Einrichtungsprozess anzupassen ist vielversprechend. Jedoch müsste hierfür von den Herstellern ein umfangreicherer Zugang zu allen Funktionen eines Servers gegeben werden. Denkbar wäre auch eine standardisierte, gemeinsame Schnittstelle zur Verbindung von Server und Bedienhardware.

10. Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorstehende Bachelorthesis mit dem Titel „Analyse und Vergleich verschiedener Medienserver und ihrer Bedienphilosophien: Wo könnten spezialisierte Kontrollelemente Vorteile bieten?“ selbstständig ohne fremde Hilfe gefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und alle Zitate kenntlich gemacht habe. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Ort, Datum, Unterschrift

11.Literatur- und Quellenverzeichnis

Nelson, Murry R. (Greenwood) (2013), *American Sports: A History of Icons, Idols, and Ideas*, Auflage 1, USA

Greule, Roland (Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG) (2021), *Licht und Beleuchtung im Medienbereich*, Auflage 2, Deutschland

Schmidt, Ulrich (Springer Berlin Heidelberg) (2021), *Professionelle Videotechnik: Grundlagen, Filmtechnik, Fernsehtechnik, Geräte- und Studioteknik in SD, HD, UHD, HDR, IP*, Auflage 7, Deutschland

Soares, Celia, Simão, Emília, (IGI Global) (2020), *Multidisciplinary Perspectives on New Media Art*, Auflage 1, USA

Wikipedia Commons (Another Believer): *Blazers 2016-02-21 11*, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blazers_2016-02-21_11.jpg, 2016, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

nobelprize.org: *The Noble Prize in Physics 2014*, <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2014/summary/>, 2022, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

Wikipedia Commons (ABK): *Fremont Street Experience with signs*, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fremont_Street_Experience_with_signs.jpg, 2021, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

mothergrid.de: *Ed Warren nutzt GLP-Scheinwerfer auf UK-Tour der Idles*, <https://www.mothergrid.de/news/ed-warren-nutzt-glp-scheinwerfer-auf-uk-tour-der-idles/>, 2022, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

lightswitch.net: *NATIONAL GEOGRAPHIC ENCOUNTER: OCEAN ODYSSEY*, <http://lightswitch.net/portfolio/view/national-geographic-encounter-ocean-odyssey/>, 2017, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

asbglassfloor.com: *Joko & Klaas gegen ProSieben*, <http://lightswitch.net/portfolio/view/national-geographic-encounter-ocean-odyssey/>, 2022, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

potionpictures.co.uk: *5 Gold Rings Series 2*, <http://potionpictures.co.uk/project/5-gold-rings-series-2/>, 2021, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

detail.de: *Mediaarchitektur und transformative Fassaden*, https://www.detail.de/de/de_de/mediaarchitektur-und-transformative-fassaden-32162/, 2018, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

mothergrid.de: *VIOSO unterstützt Martin Professional beim weltgrößten Videomapping auf die Tuwaiq Mountains*, <https://www.mothergrid.de/news/vioso-unterstuetzt-martin-professional-beim-weltgroessten-videomapping-auf-die-tuwaiq-mountains/>, 2020, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

motiondesignmagic.com: *Vanishing Chair*, <https://motiondesignmagic.com/post/736687477/vanishing-chair>, 2011, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

Mine, Mark & Baar, Jeroen & Grundhöfer, Anselm & Rose, David & Yang, Bei. (2012). *Projection-Based Augmented Reality in Disney Theme Parks*. Computer. 45. 32-40. 10.1109/MC.2012.154.

floridagators.com: *Gators Partner with Quince Imaging for Court Projection*, <https://floridagators.com/news/2017/8/24/gators-partner-with-quince-imaging-for-court-projection-installation.aspx>, 2017, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

vvv.org: *How To Project On 3D Geometry*, <https://vvv.org/documentation/how-to-project-on-3d-geometry>, 2022, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

eventprojection.co.uk: *Services Projection Mapping*, <https://eventprojection.co.uk/services/projection-mapping/>, 2022, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

mymodernmet.com: *Dancing House: Interactive Projection Mapping Crumbles House to Movement*, <https://mymodernmet.com/klaus-obermaier-dancing-house-ghent-light-festival/>, 2015, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

barco.com: *e-book projection mapping: "Challenges when dealing with millions of pixels"*, <https://www.barco.com/fr/news/2020-10-01-ebook-projection-mapping>, 2020, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

vimeo.com: *JAGUAR MY13 - MAPPING ON A TRANSPARENT JAGUAR-HD*, https://vimeo.com/205780299?embedded=true&source=vimeo_logo&owner=9046813, 2017, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

newsandviews.dataton.com: *TECH CHECK: PROJECTION IN DOMES*, <https://newsandviews.dataton.com/tech-check-projection-in-domes>, 2019, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

help.avstumpfl.com: *Dome Projection*, https://help.avstumpfl.com/WingsAVSuiteRX_EN/Multidisplay/VIOSO/Dom-Projektion/Dome-Projektion.htm, 2022, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

3dscan.it: *RESTORING BY SCANNING: laser scanner technology and 3D images could be the key to the reconstruction of Notre-Dame.*, <http://www.3dscan.it/en/blog/restoring-by-scanning-laser-scanner-technology-and-3d-images-could-be-the-key-to-the-reconstruction-of-notre-dame/>, 2019, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

enicbcmed.eu: *What is the "digital photogrammetry" of a building? Discover it with the BEEP project*, <https://www.enicbcmed.eu/what-digital-photogrammetry-building-wiki-beep>, 2022, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

beamerexpert.nl: *Wat is lens shift bij een beamer?*, <https://www.beamerexpert.nl/lens-shift-beamer/>, 2022, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

mall.dangbei.com: *Analysis of Two Types of Smart Projector Keystone Correction*, <https://mall.dangbei.com/blogs/community/analysis-of-two-types-of-smart-projector-keystone-correction/>, 2021, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

wikipedia.org: *Bézierkurve*, https://de.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9zierkurve#cite_ref-2, 2022, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

Wikipedia Commons (Ag2gaeh): *Bezier-cast-3*, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bezier-cast-3.svg>, 2018, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

barco.coml: *OSEM (Optical Softedge Matching – optischer Abgleich bei der Softedge-Projektion)*, <https://www.barco.com/de/product/optical-soft-edge-matching>, 2022, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

livedesignonline.com: *Pandoras Box From coolux Media Systems To Receive Engineering Honors At 2008 Primetime Emmy Award Ceremony*, <https://www.livedesignonline.com/projection/pandoras-box-from-coolux-media-systems-to-receive-engineering-honors-at-2008-primetime>, 2021, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

production-partner.de: *Mehr Funktionen, vereinfachter Workflow: Pandoras Box Version 6.0*, <https://www.production-partner.de/story/mehr-funktionen-vereinfachter-workflow-pandoras-box-version-6-0/>, 2018, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

production-partner.de: *Test: Christie Pandoras Box V8*, <https://www.production-partner.de/test/test-christie-pandoras-box-v8/>, 2022, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

etnow.com: *AV Stumpfl to Present New PIXERA Version and Innovative Projection Screen Systems at ISE 2019*, <https://www.etnow.com/news/2019/1/av-stumpfl-to-present-new-pixera-version-and-innovative-projection-screen-systems-at-ise-2019>, 2019, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

avinteractive.com: *Christie acquires coolux*, <https://www.avinteractive.com/news/projection/christie-acquires-coolux-08-01-2015/>, 2015, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

mothergrid.de: *Christie veröffentlicht Pandoras Box V8*, <https://www.mothergrid.de/news/christie-veroeffentlicht-pandoras-box-v8/>, 2021, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

christiedigital.com: *Pandoras Box Server R5 Specs*, <https://www.christiedigital.com/globalassets/resources/public/pandoras-box-server-r5-technical-specs.pdf>, 2022, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

avstumpfl.com: *ABOUT AV STUMPFL*, <https://avstumpfl.com/en/company/about-us>, 2022, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

avstumpfl.com: *FOLLOW UP INFOCOMM ORLANDO 2013*, <https://avstumpfl.com/en/news-events/news/news-single/follow-up-infocomm-orlando-2013>, 2013, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

avstumpfl.com: *AV STUMPFL HISTORY*, <https://avstumpfl.com/en/company/history>, 2022, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

mothergrid.de: *AV Stumpfl PIXERA: Next-Generation Medienserversoftware und Hardware auf der InfoComm 2018*, <https://www.mothergrid.de/news/av-stumpfl-praesentiert-next-generation-medienserversoftware-und-hardware-auf-der-infocomm-2018/>, 2018, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

pixera.one: *CONFIGURATOR*, <https://pixera.one/en/hardware/configurator>, 2022, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

pixera.one: *DOWNLOADS*, <https://pixera.one/en/downloads/>, 2022, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

christiepandorasbox.com: *Helpfile Multiple Displays*, https://christiepandorasbox.com/root/downloads/support/Documentation/Helpfile/multiple-displays_nvidia.htm, 2022, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

images.nvidia.com: *NVIDIA Mosaic Technology User's Guide*, <https://images.nvidia.com/aem-dam/en-zz/Solutions/design-visualization/quadro-product-literature/NVMosaic-UG.pdf>, 2017, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

production-partner.de: *Bitfocus Companion: Clevere Software*, <https://www.production-partner.de/blog/bitfocus-companion-clevere-software-fuer-das-elgato-stream-deck/>, 2019, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

eventelevators.de: *ArKaos veröffentlicht MediaMaster 6*, <https://eventelevators.de/video/arkaos-veroeffentlicht-mediamastrer-6/>, 2021, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

promedianews.de: *Modulo Pi veröffentlicht neue Version des Modulo Player-Medienservers*, <https://www.promedianews.de/produkte/modulo-pi-veroeffentlicht-neue-version-des-modulo-player-medienservers/>, 2019, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

elgato.com: *Stream Deck XL*, <https://www.elgato.com/de/stream-deck-xl>, 2022, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

christiepandorasbox.com: *Accessories*, <https://www.christiepandorasbox.com/products/accessories/>, 2022, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

opensoundcontrol.stanford.edu: *OpenSoundControl Specification 1.0*, https://opensoundcontrol.stanford.edu/spec-1_0.html, 2021, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

pixera.one: *SHORTCUTS*, https://pixera.one/fileadmin/user_upload/downloads/en/pixera_brochures/pixera_software/PIXERA_Shortcuts.pdf, 2022, letzter Zugriff: 06. 06. 2022

12. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: HAW Logo	0
Abbildung 2: Diamond Vision Anzeigetafel im Moda Center in Portland	6
Abbildung 3: LED-Installation Viva Vision über der Fremont Street in Las Vegas	7
Abbildung 4: Pixelmapping auf GLP X4 Bars vom Lichtdesigner Ed Warren	8
Abbildung 5: National Geographic Encounter: Ocean Odyssey	9
Abbildung 6: LED Boden Joko & Klaas gegen Pro7	10
Abbildung 7: LED Boden 5 Gold Rings	11
Abbildung 8: Beispiel Studio mit virtuellen Elementen (1)	12
Abbildung 9: Beispiel Studio mit virtuellen Elementen (2)	12
Abbildung 10: Medienfassade des Klubhaus St. Pauli, Hamburg	13
Abbildung 11: Weltgrößtes permanentes Projection Mapping auf den Tuwaiq Mountains	13
Abbildung 12: Beispiel einer Node basierten Anwendung in VVVV	18
Abbildung 13: Beispiel 360 Grad gemapptes Objekt Vanishing Chair von Masaru Ozaki	19
Abbildung 14: Büsten in der Haunted Mansion	20
Abbildung 15: Projection Mapping auf dem Basketballfeld der Florida Gators	21
Abbildung 16: Tape Mapping am Campus Finkenau, Foto: Kevin Schweikert	22
Abbildung 17: Projection Mapping mit Tiefeneffekt	22
Abbildung 18: Fassaden Mapping ohne Bezug auf die Architektur	23
Abbildung 19: Fassaden Mapping mit Bezug auf die Architektur	24
Abbildung 20: Fassaden Mapping mit zerfallender Fassade	24
Abbildung 21: Projection Mapping Jaguar Tour Event in China im Jahr 2012	25
Abbildung 22: Beispiel einer Domeprojection	26
Abbildung 23: Sich nicht exakt überlagernde Projektorbilder, die zu Unschärfen führen	27
Abbildung 24: 3D Modell eines Elefantenkopfs	28
Abbildung 25: Nach Vorlage des 3D Modells gebaute Figur	28
Abbildung 26: Aus vielen 3D Scans resultierende Punktwolke des Notre Dame	29
Abbildung 27: Photogrammetrie Modell einer Hausfassade	30
Abbildung 28: Automatisch erstellte UV-Map in Blender	31
Abbildung 29: Nach Spielflächen aufgeteilte UV-Map in Blender	31
Abbildung 30: Beispiel einer Timeline in Pixera	32
Abbildung 31: Drei Displays zeigen unterschiedliche Anteile eines einzelnen Layers	33
Abbildung 32: Output des Projektors (rechts) zeigt Anteil des Screens	33
Abbildung 33: Lens Shift vertikal und horizontal	34
Abbildung 34: Projektionsabstand (rot)	34

Abbildung 35: Beispiel vertikale und horizontale Trapezkorrektur	35
Abbildung 36: Beispiel für lineares Warping in Pixera	37
Abbildung 37: Bézierkurve 3. Grades (rot)	37
Abbildung 38: Bézierkurve mit Anfasspunkten (magenta)	37
Abbildung 39: Beispiel für Warping in Form einer Bézierkurve in Pixera	38
Abbildung 40: Beispiel für Warping einer gebogenen Projektionsfläche in Pixera	38
Abbildung 41: Beispiel für eine Projektion mit (roter Rahmen) und ohne Softedge	39
Abbildung 42: Tabelle der möglichen Pandoras Box Hardware in den drei Performance Kits	44
Abbildung 43: Tabelle der angebotenen Pixera Hardware in der Basiskonfiguration	45
Abbildung 44: Dodekaeder aus Pappe	46
Abbildung 45: UV-Map exportiert aus Blender	47
Abbildung 46: UV-Map bearbeitet	47
Abbildung 47: Dodekaeder projiziert mit 4 Projektoren	48
Abbildung 48: Testaufbau im Produktionslabor	49
Abbildung 49: Dodekaeder mit Content projiziert, aus zwei Blickwinkeln (1)	49
Abbildung 50: Dodekaeder mit Content projiziert, aus zwei Blickwinkeln (2)	49
Abbildung 51: Benutzeroberfläche Pandoras Box	51
Abbildung 52: Benutzeroberfläche Pixera	52
Abbildung 53: Effekt Dokumentation mit Beispielbildern, Erklärung und Parametern	53
Abbildung 54: FX Explorer mit live Preview	54
Abbildung 55: Keyframes mit angepasster Bézierkurve	54
Abbildung 56: Output Konfiguration in Pixera	56
Abbildung 57: Werkzeuge zur Positionierung der Objekte in Pixera	58
Abbildung 58: Werkzeuge zur Positionierung der Objekte in Pandoras Box	59
Abbildung 59: Keystone in Pandoras Box	61
Abbildung 60: Vertex-Modifier in Pixera	62
Abbildung 61: FFD-Modifier mit 4x4 Segmenten	63
Abbildung 62: FFD-Modifier mit 8x4 Segmenten	63
Abbildung 63: FFD-Modifier in Pandoras Box	64
Abbildung 64: FFD-Modifier am Editible Mesh in Pandoras Box	64
Abbildung 65: Softedge Menü zur Anpassung einer Softedge in Pixera	66
Abbildung 66: Softedge Warped in Pixera	66
Abbildung 67: Softedge in Pandoras Box	67
Abbildung 68: Softedge Warped in Pandoras Box	68
Abbildung 69: Stream Deck XL von Elgato	71
Abbildung 70: Jog-Shuttle von Christie	72

Abbildung 71: GUI der Control Funktion	74
Abbildung 72: Fertige Zuweisung einer Action	75
Abbildung 73: LUA Code für die Aktualisierung der x-Achsen Position des Projektors #1	75
Abbildung 74: Modul Projektor1 mit 6 Actions zum Aktualisieren der Parameter	75
Abbildung 75: Fertige Touch-Oberfläche zur Steuerung der Position und Rotation	76
Abbildung 76: TouchOSC Oberfläche zur Steuerung der Position und Rotation	77
Abbildung 77: Zuweisung der Gamepad Eingaben zur Oberflächensteuerung	78
Abbildung 78: Belegung der Taster des Gamepads mit Funktionen zur Positions- und Rotati- onsänderung	78
Abbildung 79: Code zur Aktualisierung der Position mit dem Gamepad	79
Abbildung 80: Code zur Aktualisierung der Rotation mit dem Gamepad, Teil 1	80
Abbildung 81: Code zur Aktualisierung der Rotation mit dem Gamepad, Teil 2	80
Abbildung 82: Code zum Zurücksetzen der Position	81
Abbildung 83: Code zum Zurücksetzen der Rotation	81
Abbildung 84: OSC-Node und UpdatePositionRotation Modul verbunden	81
Abbildung 85: Shortcuts in Pixera zur Steuerung der Engine	82
Abbildung 86: Benutzeroberfläche antimicro mit Tastenbelegung des Gamepads	83
Abbildung 87: Belegung der Taster des Gamepads mit Funktionen zur Einrichtung des War- pings	84

13. Anhang

13.1. CD

Auf der beigelegten CD befinden sich alle in dieser Arbeit verwendeten Bilder, Videos der Anwendungen aus Kapitel 7, Projektdateien aus Pixera, Pandora, TouchOSC und antimicro und eine digitale Version der Arbeit.

13.2. Mailverkehr

Kommunikation mit dem Pixera Support zur Klärung einer Frage bezüglich der Programmierung



AV Stumpf <support@avstumpfl.freshdesk.com>
to me ▾

Mon, May 30, 7:13 PM (8 days ago) ☆ ↶ ⋮

Hi Melanie Trautmann,

sorry dafür.
es ist alles etwas verwirrend ich weiß.
Ich schreib einfach mal in deutsch aber zur not is unten nochmal englisch ;-)

Der befehl `Pixera.Projectors.Projector.getInst("#2").getPosition()` gibt mehrer werte zurück.
`pixc.log()` kombiniert aber alles zu einem string.
wenn du versuchst eine tabelle zu `pixc.log()` dann wirst du als antwort auch nur `table4556456456546` bekommen.
wenn du etwas andres bekommst ist es kein table und du kannst somit auch kein `var[1]` nutzen.

um alle separat zu bekommen musst du es so scripten:

```
local x,y,z = Pixera.Projectors.Projector.getInst("#2").getPosition()
pixc.log(x)
pixc.log(y)
pixc.log(z)
```

dadurch hast du alles einzeln als variablen.
es ist quasi der andere weg als `Pixera.Projectors.Projector.getInst("#2").setPosition(1,2,3)`.

Hoffe das verschafft ein wenig klarheit :-)

Bei fragen kannst dich gerne melden. und sorry nochmal das es so lange gedauert hat.

LG,
Benni

On Fri, 27 May at 8:52 PM , Melanie Trautmann <[REDACTED]> wrote:
I am trying to get X,Y,Z Position of a projector via its `getPosition` method. This only returns a type 'number' of the X-Position.
Calling `pixc.log(...getInst("#2").getPosition())` meanwhile prints the following output: `LUA Info: 0.1485, 4.9165001832631, 0.10316406950017`
So all data is there but not accessible. Casting the return of `getPosition` into a variable results in a type 'number' with the first value (0.1485 in this case).
Is this a bug or an error in my understanding of LUA scripting in PIXERA?

13.3.Quellcode

13.3.1. Update Position

```
local x,y,z = Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").getPosition()

if addr == "/posxy" then
scale = 0.01
output_start = -1 * scale
output_end = 1 * scale
input_start = 0
input_end = 1
value1_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end - input_start))*(value1 - input_start)
value2_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end - input_start))*(value2 - input_start)
Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setPosition(value1_mapped + x, value2_mapped + y , z) end

if addr == "/xy1" then
scale = 0.01
output_start = -1 * scale
output_end = 1 * scale
input_start = 0
input_end = 1
value1_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end - input_start))*(value1 - input_start)
value2_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end - input_start))*(value2 - input_start)
Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setPosition(x, y, value2_mapped + z) end
```

13.3.2. Update Rotation

```
local t,p,r = Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").getRotation()

pixc.log(p)
pixc.log(t)
pixc.log(r)

if addr == "/text12" then
scale = 1
output_start = 0 * scale
output_end = 1 * scale
input_start = 0
input_end = 1
value1_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end - input_start))*(value1 - input_start)
```

```
Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setRotation(value1_mapped + t, p, r) end
```

```
if addr == "/text11" then
```

```
scale = 1
```

```
output_start = 0 * scale
```

```
output_end = 1 * scale
```

```
input_start = 0
```

```
input_end = 1
```

```
value1_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end -  
input_start))*(value1 - input_start)
```

```
Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setRotation(t, value1_mapped + p, r) end
```

```
if addr == "/text3" then
```

```
scale = 1
```

```
output_start = 0 * scale
```

```
output_end = 1 * scale
```

```
input_start = 0
```

```
input_end = 1
```

```
value1_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end -  
input_start))*(value1 - input_start)
```

```
Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setRotation(t, p, value1_mapped + r) end
```

```
if addr == "/text5" then
```

```
scale = 1
```

```
output_start = 0 * scale
```

```
output_end = 1 * scale
```

```
input_start = 0
```

```
input_end = 1
```

```
value1_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end -  
input_start))*(value1 - input_start)
```

```
Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setRotation(-value1_mapped + t, p, r) end
```

```
if addr == "/text10" then
```

```

scale = 1
output_start = 0 * scale
output_end = 1 * scale
input_start = 0
input_end = 1
value1_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end -
input_start))*(value1 - input_start)
Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setRotation(t, -value1_mapped + p, r) end

```

```

if addr == "/text1" then
scale = 1
output_start = 0 * scale
output_end = 1 * scale
input_start = 0
input_end = 1
value1_mapped = output_start + ((output_end - output_start)/(input_end -
input_start))*(value1 - input_start)
Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setRotation(t, p, -value1_mapped + r) end

```

13.3.3. Reset

```

if addr == "/text18" then
Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setPosition(0, 0, 0) end

```

```

if addr == "/text17" then
Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setRotation(0, 0, 0) end

```

13.3.4. Pixera Control UI

```

local x,y,z = Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").getPosition()
Pixera.Projectors.Projector.getInst("#1").setPosition(myX, y, z)

```