

BEUTH HOCHSCHULE
FÜR TECHNIK
BERLIN

University of Applied Sciences

Entwicklung eines Lehr- und Laborprojekts zum Thema Architekturprojektion

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Master of Engineering (M. Eng.)

Beuth Hochschule für Technik Berlin

Fachbereich VIII – Maschinenbau, Veranstaltungstechnik, Verfahrenstechnik

Masterstudiengang Veranstaltungstechnik und -management

Eingereicht von:

Vladimir Klementiev, geb. 25.08.1988 in Moskau

Rodenbergstr. 4

10439 Berlin

Matrikelnummer: 897785

Berlin, 04.08.2021

Betreuer: Prof. Dr. rer. nat. Alexander Lindau

Gutachterin: Prof. Diplome Regie general Susanne Auffermann-Lemmer

Zusammenfassung:

Projektionen auf Gebäuden und Gegenständen während Veranstaltungen gewinnen zunehmend an Bedeutung. Shows mit Großbildprojektionen auf Gebäudefassaden stellen eine eigene Kunstform dar, die auch Projektionsmapping oder Videomapping genannt wird. Dabei wird eine Gebäudefassade von einem oder mehreren Projektoren beleuchtet und es werden speziell an die Projektionsfläche angepasste Projektionsinhalte erstellt. In der vorliegenden Masterarbeit werden verschiedene relevante Aspekte im Zusammenhang mit Projektionen auf Gebäudefassaden beschrieben. Beispielsweise werden Hinweise zur Planung solcher Projektionen, die benötigte Soft- und Hardware oder Möglichkeiten zur Erstellung passgenauer Inhalte dargestellt.

Weiterhin wurde ein zweiter Teil dieser Arbeit erstellt, der Übungsaufgaben zu diesem Thema beinhaltet. Der Übungsteil ist zur Durchführung im Medienlabor der Beuth Hochschule für Technik Berlin gestaltet worden, wobei Studierende selbstständig einige grundlegenden Techniken mit Hinweisen zur Umsetzung von Projektionsmapping erlernen können. Für die Übungsaufgaben wird die Software MXWendler Stage Designer 6.0 verwendet.

Abstract:

Projections on buildings and objects during events are becoming increasingly important. Shows with large-screen projections on building facades represent an art form of their own, which is also called projection mapping or video mapping. A building facade is illuminated by one or more projectors and projection content specially adapted to the projection surface is created. In this master's thesis, various relevant aspects in connection with projections on building facades are described. For example, information on planning such projections, the required software and hardware or options for creating tailor-made content are shown.

Furthermore, a second part of this work was created, which includes exercises on this topic. The exercise part has been designed to be carried out in the media laboratory of the Beuth University of Applied Sciences in Berlin, whereby students can independently learn some basic techniques with advices on how to implement projection mapping. The software MXWendler Stage Designer 6.0 is used for the exercises.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Ziel der Arbeit.....	2
1.2	Was ist Projection-Mapping / Videomapping?	2
1.3	Geschichtliches.....	3
1.4	Beispiele für heutiges Projektionsmapping	6
2	Planung von Projektionen	9
2.1	Wahl der Projektionsfläche	9
2.1.1	Seitenverhältnis der Projektionsfläche	11
2.1.2	Reflexionseigenschaften und Leuchtdichtefaktor der Projektionsfläche	14
2.1.3	Projektionen auf Glas und Fenster.....	15
2.2	Ort und Tageszeit der Projektion	16
2.3	Position der Projektoren und betrachtenden Personen.....	16
2.4	Art der Inhalte	21
2.5	Videos und Standbilder	23
2.6	Planung der technischen Positionen und Kabelwege	23
3	Realisierung von Projektionen	24
3.1	Notwendige Hardware	24
3.1.1	Projektoren und deren relevante Eigenschaften	24
3.1.1.1	Arten von Projektoren	25
3.1.1.2	Lichtstrom und Beleuchtungsstärke	29
3.1.1.3	Kontrastverhältnis.....	31
3.1.1.4	Auflösung	32
3.1.1.5	Seitenverhältnis	34
3.1.1.6	Projektionsverhältnis (throw ratio)	35
3.1.1.7	Keystone Korrektur	37

3.1.1.8	Lens Shift und Lens Offset.....	38
3.1.1.9	Wahl der Projektoren, Berechnungsbeispiele	40
3.1.2	Medienserver	44
3.1.3	Videoschnittstellen.....	45
3.1.3.1	Videoübertragung für Kurzstrecken	46
3.1.3.2	Videoübertragung für Langstrecken	48
3.1.4	Zubehör	49
3.2	Notwendige Arten von Software	50
3.2.1	Projektionssoftware	50
3.2.2	3D-Grafiksoftware	54
3.2.3	CAD-Software	55
3.2.4	Bildbearbeitungssoftware	56
3.3	Aufbereitung einer Grundlage zur Erstellung von Projektionsinhalten.....	56
3.3.1	Foto als Grundlage zur Erstellung von Inhalten	56
3.3.1.1	Aufnahme des Fotos	57
3.3.1.2	Skalieren des Fotos	58
3.3.1.3	Rektifizierung des Fotos.....	58
3.3.2	3D-Modell als Grundlage zur Erstellung von Inhalten	59
3.3.2.1	Camera Matching und Nachmodellierung des Objekts.....	61
3.3.2.2	Photogrammetrie und Scannen von Objekten	62
3.3.2.3	Inhalte aus verschiedenen Perspektiven und virtuelle Kameras.....	62
3.3.3	Erstellung von Inhalten	63
3.3.4	Ausgabe der Projektionsinhalte	64
3.4	Methoden zur Realisierung	65
3.4.1	Einzelnes Bild oder Video für die gesamte Projektionsfläche erstellen	65
3.4.2	Einzelne Inhalte auf einzelne Bereiche projizieren	66

3.4.3	Erstellen von Inhalten auf einer Projektionsfläche in Echtzeit	67
3.5	Externe Inhalte und Erstellung von Kompositionen	68
3.6	Zusammenfassung zur Realisierung eines Projekts	69
4	Fazit	70
5	Das Lehrprojekt	72
	Literaturverzeichnis.....	I
	Abbildungsverzeichnis.....	IV
	Anhang.....	IX
	Projektor UDX-4K32	X

1 Einleitung

Künstlerische Projektionen spielen bei Veranstaltungen eine immer wichtiger werdende Rolle. Laut einer Umfrage des japanischen Elektronikkonzerns Panasonic haben 65% der professionellen Anbieter für sogenanntes Projection-Mapping zwischen 2012 und 2015 ein steigendes Auftragsvolumen verzeichnet.¹ Marktforscher der britischen Wiseguy Research Consultants PVT LTD prognostizieren außerdem, dass der globale Markt für Projection-Mapping-Ausrüstung bis 2022 um jährlich 17% wachsen wird.² Projection-Mapping nimmt also an Bedeutung im Bereich von kommerziellen Veranstaltungen stetig zu. Mit Hilfe von Projektionen können im Theater, auf einem Festival oder Konzert besondere Inhalte dargestellt oder verdeutlicht werden, was mit herkömmlichen Mitteln nicht möglich wäre. Projektoren können beliebige Oberflächen zu einer Anzeige machen, was sich künstlerisch nutzen lässt und interaktiv sein kann. Die Besonderheit von Architektur- oder Kulissenprojektionen ist, dass eine gemischte Realität vermittelt werden kann, also so, dass die real bestehenden Konturen eines Gebäudes oder einer Kulisse und gleichzeitig eine surreale Projektion sichtbar sind, die eine Veränderung eines Gebäudes oder einer Kulisse darstellen kann. So ersetzen bewegte Bilder die Oberfläche bzw. Fassade eines sonst statischen Objekts. Mit Hilfe dieser Kombination aus real bestehenden Oberflächen und zusätzlich künstlerischen Videoclips, welche auf die Projektionsfläche angepasst sind, können optische Illusionen erschaffen werden, welche für Veranstaltungen von großem Wert sein können. Oftmals sind die Projektionen, beziehungsweise Videos musikalisch untermalt oder passend vertont, sodass eine immersive Show entstehen kann.

Den Möglichkeiten für Projektionsoberflächen und -inhalte sind hierbei keine Grenzen gesetzt. Beispielsweise können Landschaften, Gebäudefassaden, aber auch kleinere Objekte innerhalb von Gebäuden oder Theaterbühnen mit speziell dafür geschaffenen Inhalten bespielt werden. Der Zweck der Projektionen kann ebenfalls unterschiedlich sein, so können Projektionen während eines kommerziellen Konzerts, als Bestandteil eines Bühnenbilds, als Werbung, zur Hervorhebung von Kunstgegenständen in Museen, Produktvorstellungen auf Messen oder als unkommerzielle Verschönerung oder Hervorhebung von Gebäuden und Gegenständen in der Öffentlichkeit genutzt werden.

¹ Schmidt, K. (08.08.2018): *Projection Mapping: Kreative Möglichkeiten auf Fassaden und in Ausstellungen*, <https://www.professional-system.de/kommunikationsraum/projection-mapping-kreative-moeglichkeiten-auf-fassaden-und-in-ausstellungen/>, abgerufen am 16.04.2021

² Ebda.

1.1 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist einen umfangreichen Einblick in den Bereich der Projektionen auf Gebäuden und Gegenständen zu gewähren. Hierzu gehören die Erläuterungen der Grundvoraussetzungen, die benötigte Soft- und Hardware, deren Funktionsumfang und Nutzung dieser sowie die Darstellung der Zusammenhänge mit Projektionsinhalten, insbesondere zur Erkennbarkeit der Projektionsinhalte. Es werden technische Verknüpfungen und Umsetzungsmöglichkeiten erläutert, beispielsweise die Positionierung von Projektoren, der Blickwinkel der Zuschauerinnen und Zuschauer oder Art der Projektionsinhalte.

Benutzerdefinierte Projektionsinhalte sind ein essenzieller Bestandteil von Projektionen auf Gebäuden und Gegenständen, so wird auf die Zusammenhänge mit der Projektionsfläche und die technische Umsetzung in Verbindung mit Software hingewiesen. Hierzu werden verschiedene Möglichkeiten zur Erstellung von Inhalten genannt, welche Voraussetzungen die Inhalte erfüllen sollten und wie mit extern erstellten Inhalten umzugehen ist. Die Erstellung von Inhalten soll nicht der Schwerpunkt dieser Arbeit sein, dieser liegt eher auf der Planung und Realisierung von Projektionen. Dennoch sind die Zusammenhänge zur Erstellung von Inhalten wichtig, um ein erfolgreiches „Videomapping“ zu erzeugen. Die Verknüpfung mit Ton bzw. Musik wird in dieser Arbeit nicht behandelt.

Abseits der allgemeinen Inhalte dieser Arbeit zum Thema Projektionen wird ein Lehr- und Laborprojekt erstellt. Dieses beinhaltet eine Schritt-für-Schritt Anleitung und praxisnahe Aufgaben für Studierende zum Üben und Experimentieren im Medienlabor der Beuth Hochschule für Technik Berlin. Hierbei sollen Grundkenntnisse zur Erstellung von Projektionen in kleinerem Rahmen mit bis zu zwei Projektoren vermittelt werden. Hierfür wird die Software MXWendler Stage Designer Version 6.0 vom Entwickler device+context genutzt. Das Lehr- und Laborprojekt wird als separates Dokument zur Verfügung gestellt, welches eine Zusammenfassung der wichtigsten Inhalte, schrittweise Anleitungen zur Nutzung der Software, Empfehlungen sowie Aufgabenstellungen zur selbständigen Bearbeitung von Studierenden beinhaltet.

1.2 Was ist Projection-Mapping / Videomapping?

Projection-Mapping, auch Videomapping oder Projektionsmapping genannt, ist eine Form der sogenannten „Augmented Reality“ (AR). Laut dem Gabler Wirtschaftslexikon bezeichnet Augmented Reality „eine computergestützte Wahrnehmung beziehungsweise Darstellung,

welche die reale Welt um virtuelle Aspekte erweitert.“³ Dies ist bei Projektionsmapping der Fall, indem mit Hilfe von Projektoren eine Abbildungstechnik angewendet wird, mit der am Computer erzeugte, angepasste Bildinhalte auf dreidimensionale Objekte projiziert werden.⁴ Aus dem zu bespielenden Objekt, also beispielsweise einer Gebäudefassade oder einem Gegenstand, wird dabei ein digitales Modell oder Vorlage erstellt und anschließend werden mit Hilfe von Software Projektionsinhalte erstellt, welche Pixelgenau auf den Untergrund abgestimmt werden. Das Resultat ist eine reale, dreidimensionale Oberfläche, welche mit künstlerischen Inhalten erweitert wird.

1.3 Geschichtliches

Im Folgenden sind einige nennenswerte Beispiele, die als Inspiration für weitere Installationen gedient haben und bzw. oder als Meilensteine der Entwicklung der Projektionsmethode betrachtet werden können.

„Grim Grinning Ghosts“ in Disneyland Anaheim, Kalifornien, 1969



Abbildung 1: „Grim Grinning Ghosts“, Disneyland Anaheim, 1969

Foto: Unbekannt

Quelle: <https://joshwilltravel.wordpress.com/2015/10/30/happy-halloween-from-the-grim-grinning-ghosts/>

Die erste bekannte Anwendung von Videoprojektionen auf nicht-planen, unregelmäßigen, komplexeren Oberflächen fand im Jahr 1969 im Freizeitpark Disneyland Anaheim, Kalifornien (USA) statt. Bei der Eröffnung der Attraktion „Haunted Mansion“ wurden fünf Büsten aufgestellt, welche Geister darstellen sollten, die die Themenhymne „sangen“. Für die Installation

³ Vgl. Prof. Dr. Markgraf, D. (16.02.2018): *Definition: Was ist „Augmented Reality“?* <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/augmented-reality-53628/version-27670>, abgerufen am 16.04.2021

⁴ Vgl. Leonhardt-Schuster, S. (28.10.2020): *Was ist eigentlich Projection Mapping*, <https://www.mds.eu/blog/projection-mapping-auf-deutsch>, abgerufen am 16.04.2021

mit dem Namen „Grim Grinning Ghosts“ wurden die Gesichter der Sängerinnen und Sänger in Nahaufnahme mit 16mm Film gefilmt und anschließend mit Projektoren auf die Büsten projiziert, was die optische Illusion hervorgerufen hat, dass die Büsten tatsächlich ihre Mäuler bewegen.⁵

Installation „Displacements“ von Michael Naimark, San Francisco, Kalifornien, 1980

Eine weitere Projektion mit dem Namen „Displacements“ fand bei einer Kunstinstallation in San Francisco im Museum of Modern Art im Jahr 1980 statt. Bei dieser immersiven Filminstallation von Michael Naimark wurde ein typisch amerikanisches Wohnzimmer in einem Ausstellungsraum nachgebaut. Anschließend wurde eine Darstellerin und ein Darsteller während alltäglicher Tätigkeiten von einer auf einer Drehscheibe in der Mitte des Raumes aufgestellten 16mm Kamera gefilmt. Dann wurde die Kamera durch einen Projektor ersetzt der das Gefilmte in einer Schleife wiedergab und der komplette Raum mit weißer Farbe besprüht. Das Ergebnis war, dass alle Objekte innerhalb des Raumes auf sich selbst projiziert wurden und entsprechend dreidimensional wahrgenommen wurden, die Darstellerin und Darsteller jedoch blieben als Projektion zweidimensional und erschienen entsprechend surreal. Es entstand ein rotierendes Projektionsmapping.⁶



Abbildung 2: „Displacements“ von M. Naimark, Kalifornien, 1980. Foto: Scott Fisher

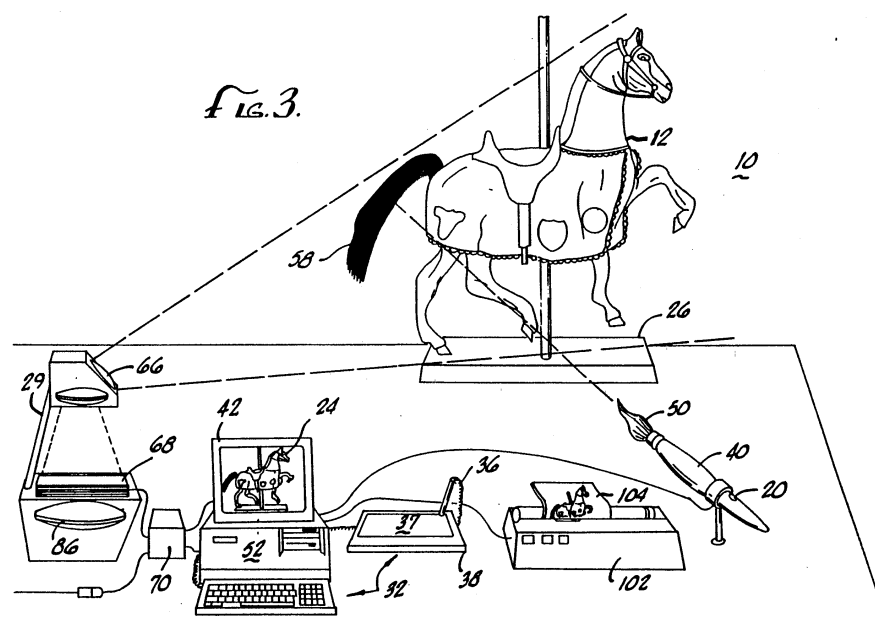
Quelle: <https://www.digitalartarchive.at/database/general/work/displacements.html>

⁵ Vgl. Maniello, D. (2015): *Augmented reality in public spaces*, Brienza: Le Penseur, S. 23.

⁶ Vgl. Naimark, M. (o.D.): *Displacements 1980-84 / 2005*, <http://www.naimark.net/projects/displacements.html>, abgerufen am 27.07.2021.

Patentanmeldung von Disney, 1994

Im Jahr 1994 hat das Unternehmen Disney ein Patent unter dem Namen „Apparatus and method for projection upon a three-dimensional object“ (deutsch: Apparat und Verfahren zur Projektion auf einem dreidimensionalen Objekt) registriert.⁷ In diesem Patent wird eine Methode der Projektion auf dreidimensionalen Objekten beschrieben und war das erste dieser Art.⁸ Die Methode umfasst einen Computer mit einem Monitor und einer Grafiksoftware, wobei Grafikdaten in eine Benutzeroberfläche eingegeben, verarbeitet und anschließend ein Bild ausgegeben wird, welches dann auf ein dreidimensionales Objekt projiziert werden kann. Die Ausgabe wird dabei von einem Lichtfilter gesteuert, wie zum Beispiel einer Vielzahl von Flüssigkristallen, um das projizierte Licht gezielt auf ein bestimmtes Objekt in gewünschter Art zu lenken. Das projizierte Bild kann interaktiv verändert und als Bildsequenz gespeichert werden, um eine scheinbare Bewegung im Objekt zu erzeugen.



U.S. Patent

June 28, 1994

Sheet 3 of 5

5,325,473

Abbildung 3: Beispielbild aus US-Patent von Disney, 1994

Quelle: <https://patentimages.storage.googleapis.com/3b/2c/53/46bb7c2195150e/US5325473-drawings-page-4.png>

⁷ Monroe M. M., Redmann W. G. (1994): *Apparatus and method for projection upon a three-dimensional object* (US5325473A), USPTO, <https://patents.google.com/patent/US5325473A/en>

⁸ Vgl. Maniello, D. (2015): *Augmented reality in public spaces*, Brienza: Le Penseur, S. 28-29.

Forschungsartikel von Ramesh Raskar, 2001

Ein im Jahr 2001 veröffentlichter Forschungsartikel von Ramesh Raskar, Greg Welch, Kok-Lim Low und Deepak Dandyopadhyay bereitete den Weg für Projektionsmapping wie man es heute kennt.⁹ Der Artikel „Shader Lamps: Animating Real Objects With Image-Based Illumination“ beschreibt einen neuen Weg der Nutzung von dreidimensionalen Computergrafiken mit Projektoren um reale, physische Objekte graphisch zu animieren. Die Idee dabei ist, das Objekt mit dessen Farbe, Textur und Materialeigenschaften durch ein neutrales Objekt und ein projiziertes Bild zu ersetzen und dabei die ursprüngliche oder eine alternative Erscheinung des Objekts zu reproduzieren. Der Artikel befasst sich weiterhin mit dem Thema der „[...] vollständigen und kontinuierlichen Beleuchtung von nicht-trivialen, physischen Objekten mit mehreren Projektoren“¹⁰ und präsentiert eine Reihe von neuen Beleuchtungstechniken die in der Praxis anwendbar sind und demonstriert die Realisierbarkeit anhand von Tischversuchen, um die Ergebnisse auf Objekte in Lebensgröße zu reproduzieren.¹¹

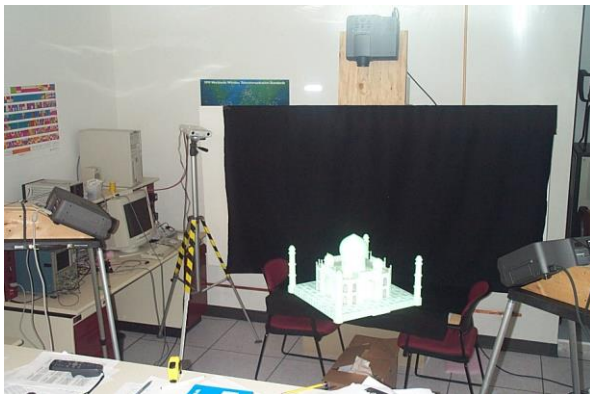


Abbildung 4: Versuchsaufbau zu „Shader Lamps“, 2001

Quelle: <https://web.media.mit.edu/~raskar/Shaderlamps/Taj/>

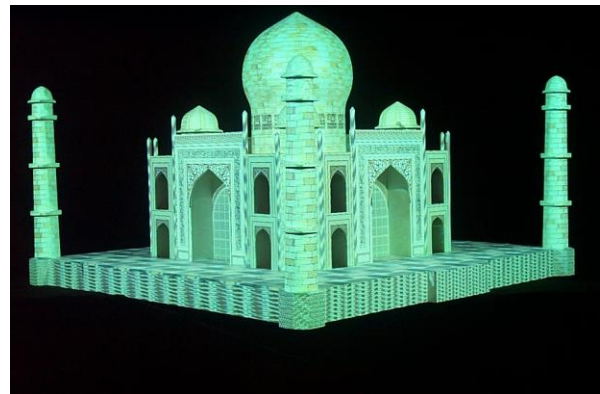


Abbildung 5: Mit Textur versehenes Modell bei "Shader Lamps"

Quelle: <https://web.media.mit.edu/~raskar/Shaderlamps/Taj/>

1.4 Beispiele für heutiges Projektionsmapping

Im Folgenden sind einige Anwendungsbeispiele von Projektionsmapping dargestellt, welche in den letzten Jahren zu verschiedenen Zwecken erstellt wurden.

Genius Loci Festival, Weimar, Thüringen, Deutschland

Das Genius Loci Festival in Weimar, Thüringen existiert seit 2012 und findet seitdem jährlich statt. Das Festival ist nach Angaben des Veranstalters ein Zusammenspiel verschiedener

⁹ Vgl. Maniello, D. (2015): *Augmented reality in public spaces*, Brienza: Le Penseur, S. 29.

¹⁰ Siehe. Raskar, R. (2001): *Shader Lamps: Animating Real Objects With Image-Based Illumination*, S. 1, University of North Carolina at Chapel Hill / MERL, vom Autor ins Deutsche übersetzt, <https://web.media.mit.edu/~raskar/Shaderlamps/shaderlampsRaskar01.pdf>, abgerufen am 06.05.2021

¹¹ Vgl. Ebda.

Kunstgenres und setzt sich aus Fassadenprojektionen, Musikevents und Lichtinstallationen im öffentlichen Raum zusammen. Für die Fassadenprojektionen werden jährlich drei Fassaden als Spielfläche ausgewählt und ein internationaler Wettbewerb für die Inhalte ausgeschrieben, wobei die Inhalte der Gewinner auf dem Festival vorgestellt werden.¹²



Abbildung 6: Projektion auf die Herderkirche Weimar während des Genius Loci Festival 2017

Inhalt: Flightgraf, Umsetzung: device+context, Foto: Henry Sowinsky

Quelle: https://www.genius-loci-weimar.org/id-2017_en.html

Projektion auf die Scheich Zayed Moschee, Abu-Dhabi, Vereinigte Arabische Emirate (2011)

Diese Projektion wurde im Jahr 2011 zur Feier des 40. Nationaltags der Vereinigten Arabischen Emirate erstellt. 44 Projektoren wurden verwendet um die etwa 182 Meter breite und 107 Meter hohe Fläche zu bespielen, die die Fassade, vier Minarette und zwölf Kuppeln der Moschee beinhaltet. Umgesetzt wurde das Projekt vom Unternehmen Obscura Digital mit Sitz in San Francisco, Kalifornien.¹³ Für die Umsetzung wurde ein Scan des gesamten Oberflächenbereichs durchgeführt und ein 3D-Modell erstellt.¹⁴

¹² Vgl. Wendler, H. (o.D.): *Über Genius Loci Weimar*, <https://www.genius-loci-weimar.org/ueber.html>, abgerufen am 15.06.2021.

¹³ Vgl. designboom.com (o.A.), (o.D.): *obscura digital: sheikh zayed grand mosque projections*, <https://www.designboom.com/art/obscura-digital-sheikh-zayed-grand-mosque-projections/>, abgerufen am 04.07.2021

¹⁴ Vgl. prnewswire.com, (o.A.), (2011): *Obscura Digital rückt die Kunst der Architekturprojektion in ein völlig neues Licht*, <https://www.prnewswire.com/news-releases/obscura-digital-ruekt-die-kunst-der-architekturprojektion-in-ein-vollig-neues-licht-135045408.html>, abgerufen am 04.07.2021



Abbildung 7: Projektion auf die Scheich Zayed Moschee, Abu-Dhabi, Vereinigte Arabische Emirate, 2011

Inhalt und Umsetzung: Obscura Digital, Foto: Unbekannt

Quelle: <https://in.pinterest.com/pin/862369028639849575/>

Interaktive Projektion beim „MS Dockville“-Festival in Hamburg, Deutschland (2018)

Auf dem jährlich stattfindenden Festival für Kunst und Musik „MS Dockville“ in Hamburg-Wilhelmsburg wurde auf einem Speicher im August 2018 eine Interaktive Projektion von der Firma Neumann & Müller umgesetzt. Die bespielte Fläche des Speichers war dabei 25 Meter breit und 44 Meter hoch und wurde mit zehn Projektoren mit je 20.000 ANSI-Lumen Lichtstrom bestrahlt. Gäste konnten dabei mit Hilfe von Kameratracking in einem speziellen Bereich beispielsweise ihr Gesicht in Echtzeit auf der Spielfläche in abstrakter Weise anzeigen lassen, die Gestik wie zum Beispiel Tanzbewegungen darstellen oder das Videospiel „Pong“ auf der 190 Meter vom Gästebereich entfernten Projektionsfläche spielen. So entstand eine von den Gästen gesteuerte, interaktive Echtzeit-Übertragung.¹⁵

¹⁵ Vgl. neumannmueller.com (o.A.), (o.D.): *Interaktive Projektion „MS Dockville“-Festival, Hamburg*, <https://www.neumannmueller.com/de/wir/referenzen/interaktive-projektion-auf-dem-ms-dockville-festival#c14050>, abgerufen am 06.07.2021.

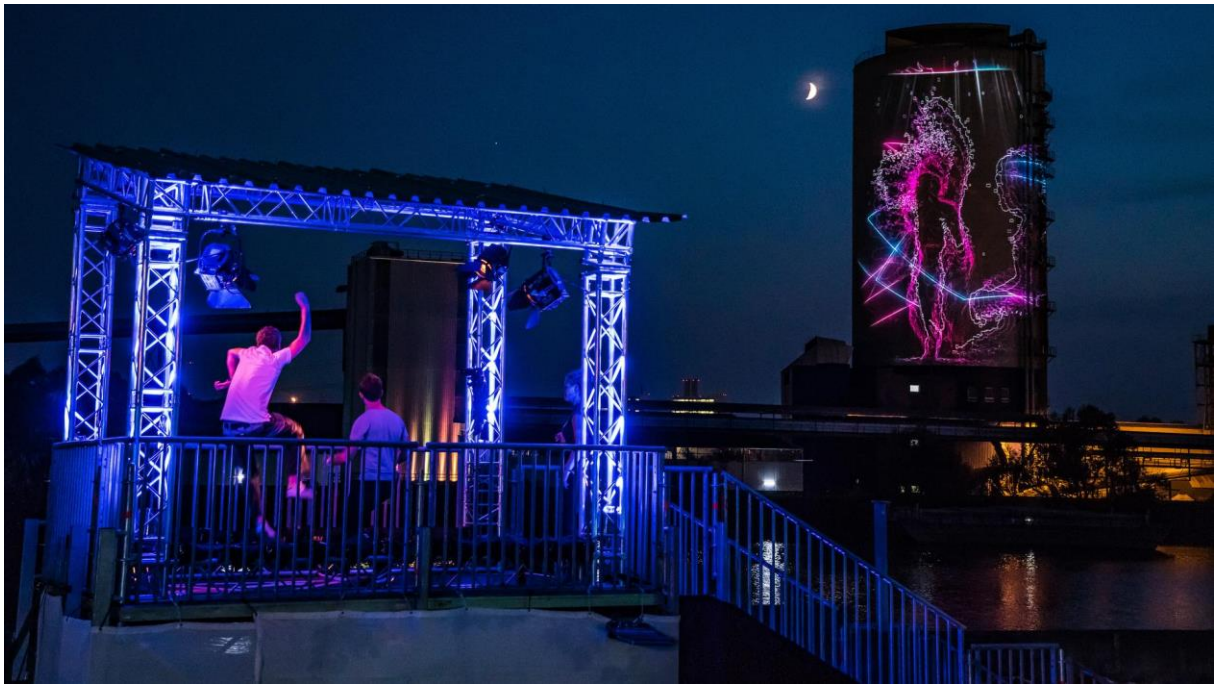


Abbildung 8: Interaktive Projektion beim "MS Dockville"-Festival in Hamburg, 2018

Inhalt und Umsetzung: Neumann & Müller, Foto: Unbekannt

Quelle: <https://www.neumannmueller.com/de/wir/referenzen/interaktive-projektion-auf-dem-ms-dockville-festival#c14050>

2 Planung von Projektionen

Jede Projektion erfordert eine von der Komplexität abhängige Planung. Je nach Projektionsfläche, Anzahl der Projektoren, dem Gästebereich und der Art der gewünschten Inhalte kann der Planungsaufwand variieren. Zu Beginn des Projekts sollte zunächst das Ziel definiert werden. Das bedeutet, es sollte eine konkrete Vorstellung vorhanden sein, wie das Resultat auszusehen hat. Es muss geklärt und festgelegt werden, welche Art von Inhalten auf welche Oberflächen projiziert werden sollen. Dieser Schritt bereitet die Grundlage des Projekts und schafft die Rahmenbedingungen und Anforderungen an die Soft- und Hardware. Des Weiteren sollte das Gebäude oder Objekt sowie der Bereich für Betrachtende auf die Eignung für eine Projektion untersucht werden. Im Folgenden werden einige für die Planung einer Projektion relevanten Aspekte beschrieben.

2.1 Wahl der Projektionsfläche

Grundsätzlich können beliebige Oberflächen mit beliebigen Projektionsinhalten und beliebigen Projektoren bespielt werden. Die Wahl der Projektionsfläche kann der erste Schritt zu einer Projektionsidee sein, wozu anschließend passgenaue Inhalte erstellt werden können. Das zu bespielende Objekt sollte analysiert und bewertet werden. Es muss überlegt werden, ob und wie eine Projektion auf diesem möglich ist und wie die gewünschten Inhalte auf dem Objekt aussehen könnten. Plane Flächen können hierbei wie eine Leinwand verwendet

werden, wogegen beispielsweise für eine Projektion auf einer Gebäudefassade mit vielen Verzierungen und verschiedenen Elementen mehr Planungsaufwand benötigt wird.

Die Projektionsfläche und deren Ort bestimmt die Ausmaße der Projektion und somit die Anzahl der Projektoren, den Abstand der Projektoren zur Fläche und deren nötige Leistung. Das Material bzw. der Farbanstrich der gewählten Fassade oder Objekts beeinflusst den Reflexionsgrad und daraus resultierend die Sichtbarkeit der Inhalte, bzw. die nötige Helligkeit des Projektors. Hellere Baustoffe oder Farben reflektieren das Licht des Projektors stärker als dunklere, somit könnte es vorteilhaft sein, auf weiße oder sehr helle Objekte zu projizieren.

Wenn eine Fassade oder ein Objekt viele separate Flächen beinhaltet oder ein hoher Detailgrad mit Verzierungen vorhanden ist, ist das Erstellen von benutzerdefinierten Inhalten möglicherweise aufwendiger. Der Detaillierungsgrad der Projektionsfläche spielt für das Erstellen von Inhalten und die Anpassungen in der Projektionssoftware eine Rolle. Wie sehr die Details der Fassade jedoch ausgenutzt werden, liegt im Ermessen der Künstlerin oder des Künstlers.



Abbildung 9: Projektion auf die Galerie der Gegenwart, 2009
Foto und Inhalt: urbanscreen
Quelle: <https://www.urbanscreen.com/de/555-kubik/>



Abbildung 10: Beispiel für eine Fassade mit verhältnismäßig geringem Detailgrad
Motiv: Galerie der Gegenwart, Hamburg
Foto: Razvan Orendovici
Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galerie_der_Gegenwart.jpg?uselang=de#filelinks

Projektionsflächen mit Bereichen einer hohen Tiefe, welche sich nicht senkrecht, sondern parallel oder schräg zum Projektor befinden, wie zum Beispiel größere Vorsprünge, sind besonders zu beachten. Diese Bereiche können möglicherweise nicht aus allen Richtungen betrachtet und vom Projektor beleuchtet werden, gleichzeitig können Verzerrungen auftreten. Des Weiteren ist bei Objekten oder Fassaden mit Vorsprüngen der Schattenwurf der Projektion zu beachten. Um unerwünschte Schatten zu vermeiden, kann der Projektor entsprechend positioniert werden oder ein weiterer Projektor genutzt werden, um die schattierten Flächen ebenfalls mit Inhalten zu bespielen. Sollten sich Objekte vor der gewünschten

Projektionsfläche befinden, wie zum Beispiel Bäume oder Statuen, müssen diese hinsichtlich der Position der Projektoren und der Sichtbereiche der Gäste berücksichtigt werden. Es ist auch möglich, diese Objekte in die Projektion mit einzubeziehen und mit Inhalten zu bespielen.



Abbildung 11: Beispiel für eine detailreichere Fassade
Motiv: Cranachhaus Weimar
Quelle: Foto zur Verfügung gestellt von device+context



Abbildung 12: Projektion auf das Cranachhaus, 2017
Inhalt: Desilence
Quelle: Ausschnitt aus Video unter
<https://vimeo.com/229754150>

2.1.1 Seitenverhältnis der Projektionsfläche

Das Seitenverhältnis der Projektionsfläche ist besonders zu beachten, weil die zu erstellenden Inhalte in Bezug auf dieses Seitenverhältnis erstellt werden müssen. Ansonsten ist eine Stauchung oder Streckung des Inhalts zu erwarten, sofern dieser nicht nachträglich bearbeitet wird. Des Weiteren kann eine besonders breite oder hohe Projektionsfläche, je nach Entfernung, möglicherweise nicht mit einem einzelnen Projektor erfasst werden. Wenn es sich um eine gekrümmte Projektionsfläche handelt oder eine Fassade, welche von mehreren Seiten bespielt werden soll, kann es ebenfalls nötig sein mehrere Projektoren zu verwenden.

Während das Seitenverhältnis eines Projektors stets rechteckig ist und gleichbleibt, beispielsweise 16:9, 16:10 oder 4:3, weicht das Seitenverhältnis einer Gebäudefassade oder eines Objekts mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ab. Im Vorfeld sollte das Seitenverhältnis der Projektionsfläche ermittelt werden, sodass anschließend Überlegungen getroffen werden können, wie die Projektionsfläche von einem oder mehreren Projektoren optimal und mit möglichst wenig Verlusten und aus welcher Distanz erfasst werden kann.

Beispielrechnung zum Seitenverhältnis

Als Beispiel zur Verdeutlichung kann eine Gebäudefassade betrachtet werden, welche ein Seitenverhältnis von ungefähr 30:6 besitzt. Dies bedeutet, dass die Fassade 30 Meter breit und 6 Meter hoch ist. Es besteht die Möglichkeit einen Projektor mit dem Seitenverhältnis 16:9 zu wählen, um aus einer entsprechenden Distanz die gesamte Fassade zu erfassen. Wenn der Projektor nun so positioniert wird, dass er die gesamte Breite exakt erfasst, ergibt dies ein Bild von ungefähr 16,88 Metern in der Höhe (16:9 entspricht im Verhältnis 30:16,88). Weil die Fassade jedoch nur 6 Meter hoch ist, würde das Bild 10,88 Meter über die Fassade hinaus projiziert werden, was einen signifikanten Verlust der verfügbaren Darstellungsmöglichkeit und Helligkeit darstellt. Der Verlust der Helligkeit entsteht, weil das projizierte Bild in diesem Beispiel theoretisch eine deutlich größere Fläche beleuchten würde, als die Fläche der Fassade. Die Helligkeit auf der Projektionsfläche ist auch abhängig von der Bildgröße bzw. der Projektionsdistanz, siehe hierzu auch die folgenden Kapitel 3.1.1.2 und 3.1.1.9. In diesem Fall würde ein einzelner, sehr leistungsfähiger Projektor ausreichen, jedoch würde nur etwa ein Drittel der möglichen Fläche bespielt sein. Als rechnerisches Beispiel:

Bespielte Fläche: $30,00m \cdot 6,00m = 180,00m^2$

Bespielbare Fläche: $30,00m \cdot 16,88m = 506,4m^2$

Verlorene Fläche: $506,4m^2 - 180,00m^2 = 326,4m^2$

Eine weitere, effizientere Möglichkeit hinsichtlich der Lichtausnutzung eine solche Fassade zu bespielen ist die Verwendung von drei Projektoren mit Seitenverhältnissen von 16:9. Diese würden dann, bei gleichem Projektionsverhältnis (siehe hierzu Kap. 3.1.1.6), deutlich näher an der Fassade positioniert sein, als der einzelne Projektor. Weil die Höhe der Fassade 6 Meter beträgt, kann das Verhältnis von 16:9 in 10,66:6 umgerechnet und die Projektoren so positioniert werden, dass diese die Höhe exakt erfassen. So würden drei Projektoren nebeneinander ein Seitenverhältnis von etwa 32:6 ergeben, womit die gesamte Fassade mit geringen Verlusten abgedeckt wäre. Der Überstand in der Breite von zwei Metern könnte mit einem Überlappungsbereich kompensiert oder entsprechende Bereiche mit der Projektionssoftware abgedunkelt werden. Siehe hierzu die folgende Abbildung 13.

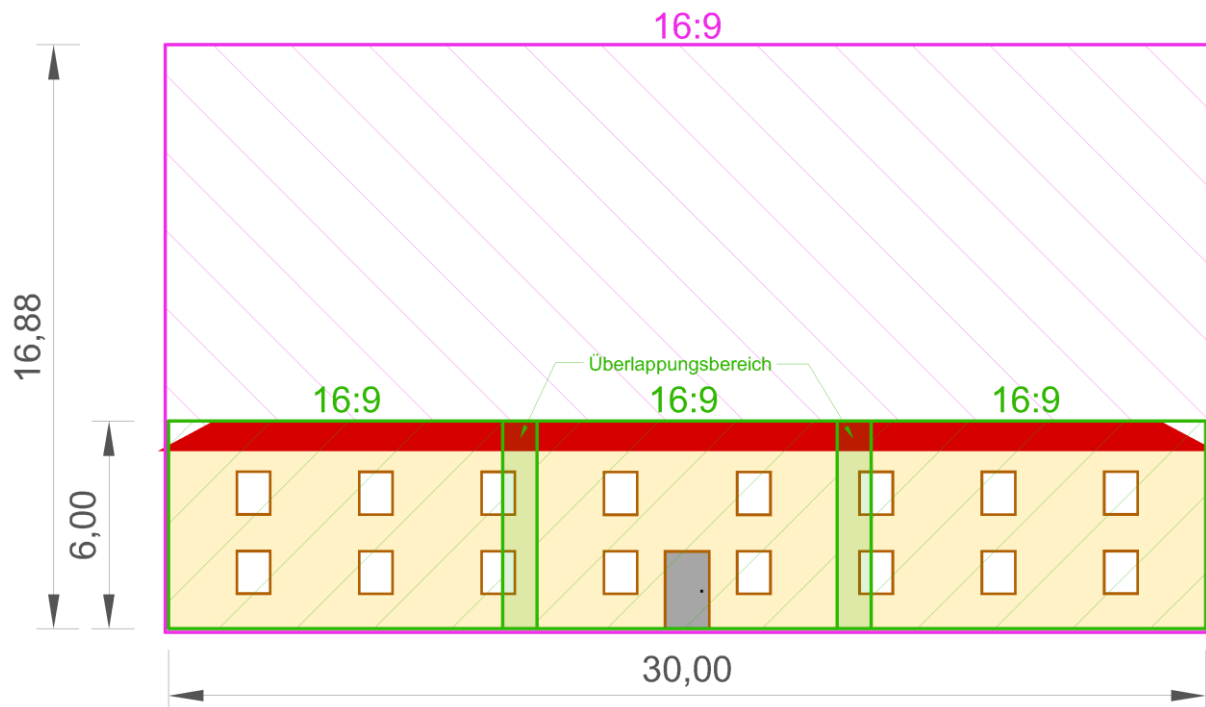


Abbildung 13: Skizze zum Rechenbeispiel für Projektionsverhältnis
 Quelle: Eigene Darstellung

Das Seitenverhältnis der gesamten Projektionsfläche wird also auf mehrere Projektoren möglichst verlustfrei aufgeteilt. Für Projektionsflächen, welche höher als breit sind, können auch



Abbildung 14: Beispiel für eine Aufteilung der Fassade auf mehrere Projektoren
 Motiv: Deutsches Nationaltheater Weimar, 2014
 Quelle: <https://www.mxwendler.net/case-studies/video-mapping/glw-2014-ruestungsschmiede-detail/>

Projektoren im Hochformat verwendet werden. Für unregelmäßig geformte oder nicht-rechteckige Flächen kann auch eine Kombination aus Hoch- und Querformat-Projektoren sinnvoll sein. Auch in einem solchen Fall wird die Projektionsfläche im Vorfeld in Bereiche aufgeteilt, welche jeweils einem Projektor zugeordnet werden und bei Bedarf Überlappungsbereiche festgelegt.

Es wäre zu prüfen, ob für den Anwendungsfall aus Abb. 13 ein einzelner, sehr leistungsfähiger Projektor oder drei weniger leistungsfähige wirtschaftlich sind. Zu beachten ist auch, dass mehrere Projektoren entsprechend mehr Strom- und Signalkabel benötigen würden und für diese zusätzliche Beleuchtungstürme installiert bzw. Positionen festgelegt werden müssten.

2.1.2 Reflexionseigenschaften und Leuchtdichtefaktor der Projektionsfläche

Jedes Material bzw. Oberfläche besitzt einen Reflexionsgrad. Dies ist ein physikalischer Wert, welcher angibt, in welchem Maße das Material bzw. die Farbe des Materials einfallendes Licht reflektiert.¹⁶ Er wird in Prozent, bzw. mit einem Wert von 0 bis 1 ausgedrückt und ist der Quotient aus dem reflektierten Lichtstrom (in Lumen) und dem einfallenden Lichtstrom. Die Formel lautet also¹⁷:

$$\rho = \frac{\phi_r}{\phi_0} \quad [\rho = \text{Reflexionsgrad}, \phi_r = \text{reflektierter Lichtstrom (in lm)}, \phi_0 = \text{einfallender Lichtstrom (in lm)}]$$

Sofern es sich bei der Projektionsfläche nicht um Spiegel, Glas oder ähnlich spiegelnde Oberflächen handelt, findet eine diffuse Reflexion statt, bei der das Licht vom Material bzw. der Farbe der Oberfläche in alle Richtungen gleichmäßig abstrahlt.¹⁸ Relevant ist dies hier, weil ein hoher Reflexionsgrad der Oberfläche theoretisch einen weniger leistungsstarken Projektor benötigt, denn die effektive Beleuchtungsstärke ist das Produkt der resultierenden Beleuchtungsstärke (aufgrund des Projektors) auf der Projektionswand und des Reflexionsgrads des Objekts, der Fassade oder des Baustoffs. Die Formel für die reflektierte Leuchtdichte aufgrund von diffuser Reflexion lautet¹⁹:

$$L_r = \frac{(\rho_d \cdot E)}{\pi} \quad [L_r = \text{reflektierte Leuchtdichte (in cd/m}^2\text{)}, \rho_d = \text{Reflexionsgrad der diffusen Reflexion},$$

$E = \text{Beleuchtungsstärke (in lx)}$] Anmerkung: Diese Formel gilt für den Fall, dass das einfallende Licht vom Material in alle Richtungen gleichmäßig abgestrahlt wird.

Die Farbe des Objekts spielt dabei eine wichtige Rolle, helle Oberflächen reflektieren stärker als dunkle, weil dunkle Flächen den auftreffenden Lichtstrom stärker absorbieren. Diese Überlegungen sind für die Sichtbarkeit der Inhalte auf dem Objekt wichtig, wofür auch die Leistungsfähigkeit des Projektors und der Einfluss des Umgebungslichts relevant sind.

Für die Definition der gerichteten Reflexionseigenschaften von Leinwänden wird der Leuchtdichtefaktor, auch „gain factor“ genannt, verwendet. Dieser beschreibt das Verhältnis der

¹⁶ Vgl. Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG) gesetzliche Unfallversicherung (o.D.): *Farbgestaltung in Büroräumen*, https://www.vbg.de/wbt/farbmodul/daten/html/3_1.htm#f2, abgerufen am 19.04.2021.

¹⁷ Siehe Greule, R. (2015): *Licht und Beleuchtung im Medienbereich*, München: Carl Hanser Verlag, Formel 3.15 / S. 44.

¹⁸ Vgl. Ebda.: S. 45.

¹⁹ Vgl. Ebda.: Formel 3.16 / S. 45.

Leuchtdichte von der jeweiligen Leinwand zu einer weißen Standard-Bezugsfläche. Ein Gain von 1 entspricht einer mattweißen Oberfläche, übliche Werte für den Leuchtdichtefaktor liegen zwischen 0,7 und 2, wobei Werte bis 1 das Licht von der Bildwand etwa gleichmäßig in alle Richtungen reflektiert. Werte die größer als 1 sind erhöhen die Leuchtdichte und reflektieren stärker als die genormte Bezugsfläche, jedoch ist die Reflexion dann gerichteter. Das bedeutet, dass der Betrachtungswinkel schmaler wird, je höher der Faktor ist, weil die Lichtstrahlen von der Bildwand gebündelt werden und somit bei einer seitlichen Betrachtung eine Verringerung der Helligkeit wahrnehmbar ist.²⁰

Für Gebäudefassaden existieren keine normgerechten Leuchtdichtefaktoren, weil diese weder geprüft noch für den Zweck einer Projektion errichtet werden. Die Ermittlung von Gain-Faktoren für Gebäudefassaden werden anhand der Fassadenfarbe näherungsweise festgelegt.²¹

2.1.3 Projektionen auf Glas und Fenster

Projektionen auf größere gläserne Oberflächen oder Fenster lassen sich nur mit Hilfsmitteln realisieren. Der Grund dafür ist, dass Glasflächen einerseits durchscheinend sind und andererseits eine spiegelnde Oberfläche darstellen, die das Licht des Projektors je nach Glas zum größten Teil hindurchlassen und zum kleinen Teil in eine Richtung reflektieren. Es findet also eine gerichtete Reflexion und keine diffuse Reflexion, wie zum Beispiel auf einer weißen Hauswand statt. So kann auf einer sauberen Glasfläche kein gut sichtbares Projektionsbild dargestellt werden.

Die Industrie hat zur Ermöglichung von Projektionen auf Glasflächen spezielle Produkte auf den Markt gebracht. Eine Lösung für bereits bestehende Glasflächen sind Projektionsfolien, welche auf die jeweiligen Flächen zugeschnitten werden können. Als Beispiel bietet die Firma Gerriets die Folie „Inviscreen“ an. Diese ist laut Hersteller bis zu 87% Lichtdurchlässig, was dazu führt, dass die Folie tagsüber nicht oder nur minimal sichtbar ist,²² jedoch bei dunkleren Lichtverhältnissen eine gut sichtbare Projektionswand darstellt. Diese lässt sich für Auf- oder Rückprojektionen nutzen und somit auch für teilweise gläserne Fassaden.

²⁰ Vgl. ITWissen.info (o.A.), (2015): *Gain-Faktor*, <https://www.itwissen.info/Gain-Faktor-gain-factor.html>, abgerufen am 08.07.2021.

²¹ Vgl. Maniello, D. (2015): *Augmented reality in public spaces*, Brienza: Le Penseur, S. 200.

²² Siehe Produktbeschreibung der Fa. Gerriets, <https://www.gerriets.com/de/produkte/screens/visual-effects/inviscreen-fp-rueckprojektion>, abgerufen am 28.04.2021.



Abbildung 15: Beispiel einer Verwendung von Inviscreen der Firma Gerriets

Foto: NAKED

Quelle: <https://www.gerriets.com/de/produkte/screens/visual-effects/inviscreenr-fp-rueckprojektion>

Wenn bei einer Projektionsfläche nur kleinere Fenster bzw. Glasflächen vorhanden sind, können diese bei der Erstellung von Inhalten ausgespart, von innen mit Vorhängen verhängt oder auf andere Weise abgedeckt werden, um Projektionsinhalte auch dort gut sichtbar zu machen.

2.2 Ort und Tageszeit der Projektion

Die Entscheidung über den Ort der Projektion sowie die Tageszeit hat ebenfalls Einfluss auf die Sichtbarkeit der Projektionsinhalte. Eine Projektion bei Tageslicht oder starkem Umgebungslicht benötigt einen Projektor bzw. Projektoren mit hohem Lichtstrom. Bei Outdoor-Projektionen müssen Witterungseinflüsse beachtet werden, eine sich ändernde Wetterlage kann Einfluss auf die Sichtbarkeit und den Effekt der Projektionsinhalte haben, wenn sich die Lichtverhältnisse ändern, insbesondere bei Tag. Des Weiteren sollte, vor allem bei längerfristigen Aufbauten, sichergestellt werden, dass der Projektor während der Projektion nicht bewegt werden kann und die gesamte Technik gegen Wind, Regen, Staub und Diebstahl geschützt ist.

Vorab festzulegen ist auch, ob es sich um eine kurzfristige, zeitlich begrenzte Show, beispielsweise während einer Veranstaltung handeln soll oder die Projektion für ein Durchgangspublikum während einer dauerhaften Installation gedacht ist, sodass dies bei der Erstellung von Inhalten berücksichtigt werden kann. Sollte es sich um einen öffentlichen Ort handeln, muss bei den lokalen Behörden eine Genehmigung angefragt werden, gegebenenfalls auch bezüglich des möglicherweise temporären Ausschaltens der Straßenbeleuchtung.

2.3 Position der Projektoren und betrachtenden Personen

Damit die gewünschten Effekte der Projektion erreicht werden, sollte für die Betrachtenden eine gute Sichtbarkeit gewährleistet sein. So sollten im Voraus Überlegungen getroffen werden, von welchem Ort die Zuschauerinnen und Zuschauer den besten Blick auf die Projektion

haben würden und dieser Bereich festgelegt werden. Dieser Ort kann am Ort des Projektors liegen oder in dessen Nähe. Mögliche Sichtbehinderungen, wie beispielsweise Statuen, Bäume, Hügel oder andere Hindernisse müssen hierbei berücksichtigt werden. Zu beachten ist auch, dass es bei jeder Projektion auch Bereiche mit schlechterer Sicht geben wird, zum Beispiel seitlich von einem steilen Winkel aus, ähnlich wie bei einem Konzert, wobei es ebenfalls stets Bereiche gibt, welche keine optimale Sicht oder Hörbarkeit ermöglichen. Zuschauerinnen und Zuschauer nehmen erfahrungsgemäß von selbst eine Position ein, von der sie eine gute Sicht auf die gesamte Show haben und nehmen daher auch selbständig Distanz zur Projektionsfläche.²³ Eine Anfertigung von beispielweise Gelände- oder Übersichtsplänen und die Kennzeichnung von Sichtlinien und -bereichen kann für die Ermittlung von optimalen Positionen und die Anzahl der möglichen Gäste hilfreich sein.

Position des Projektors

Der Projektor sollte sich optimalerweise mittig und orthogonal vor der Projektionsfläche in einem vorher festgelegten Abstand befinden.²⁴ Eine orthogonale Position des Projektors ist wichtig, denn dies reduziert Verzerrungen des Inhalts. Je größer die Abweichung von einem rechten Winkel zur Projektionsfläche ist, desto stärker werden die Verzerrungen. Wie sich solche Verzerrungen auswirken und wie sie korrigiert werden können, ist in Kapitel 3.1.1.7 beschrieben. Bei einer schrägen Projektion treten je nach Projektionswinkel weitere Probleme auf, nämlich eine Abnahme der Helligkeit und somit des Kontrastverhältnisses auf der Projektionsfläche und eine Vergrößerung der dargestellten Pixel zum Rand hin, was zu einer Abnahme der Qualität der Darstellung führt. Dies ist besonders zu beachten, wenn mehrere Projektoren aus unterschiedlichen Entfernungen und Winkeln eingesetzt werden sollen, hierbei kann ein inhomogenes Gesamtbild entstehen. Zur Verdeutlichung sind im Folgenden zwei Grafiken (Abb. 16 und 17) mit Erläuterungen zum Thema Schrägprojektion dargestellt.

²³ Mündliche Information von Hendrik Wendler von der Fa. device+context, vom 02.03.2021.

²⁴ Vgl. Greule, R. (2015): *Licht und Beleuchtung im Medienbereich*, München: Carl Hanser Verlag, S. 172.

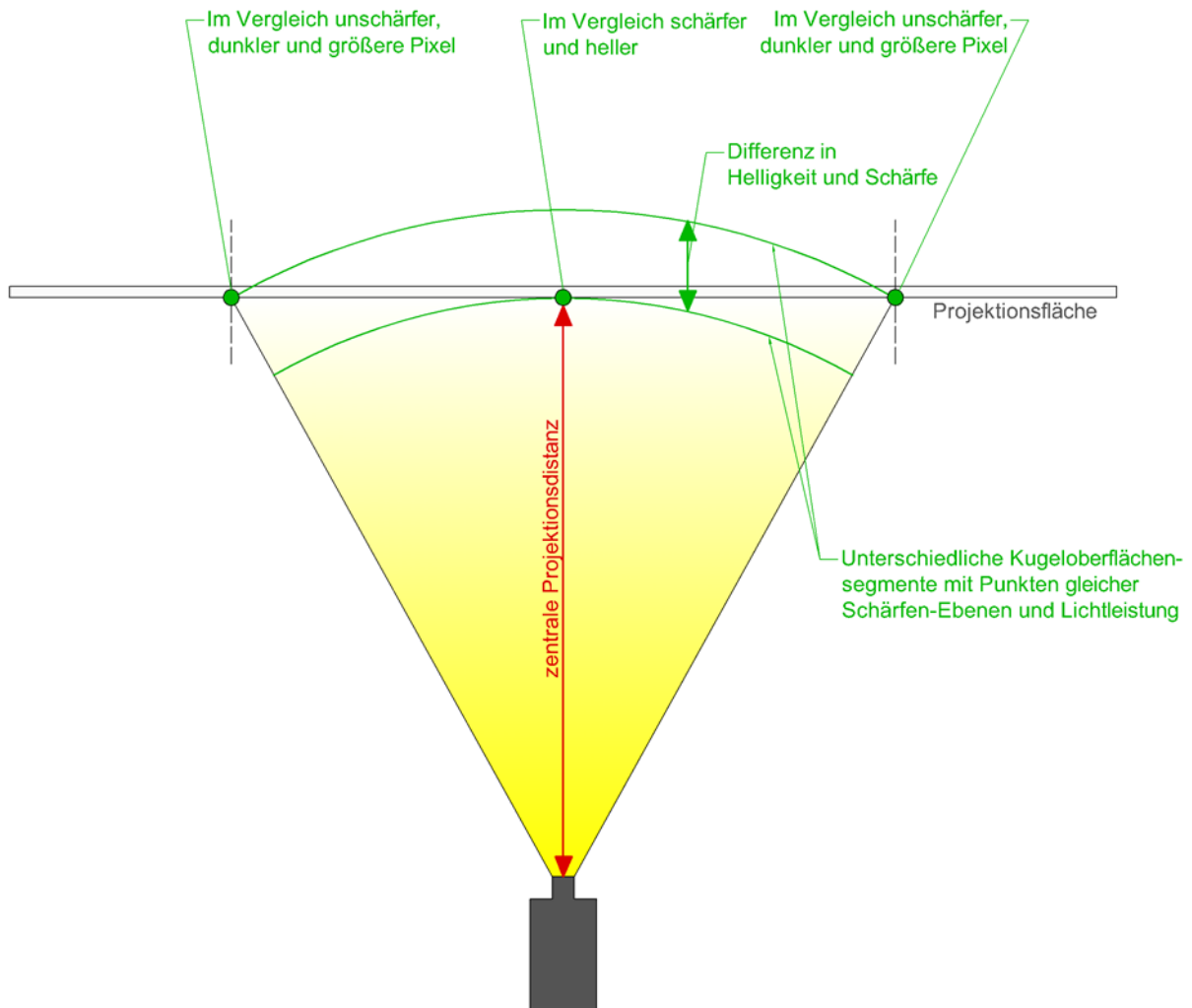


Abbildung 16: Grafik 1 zur Position des Projektors: Orthogonale Projektion

Quelle: Eigene Darstellung, in Anlehnung an: <https://www.gobogobo.de/zusatzinformationen/fotometrie/>

Erläuterungen zu den Grafiken

In der ersten Grafik ist ein Beispielaufbau eines Projektors vor einer Projektionsfläche zu sehen, wobei der Projektor orthogonal zur Fläche aufgestellt ist. Aufgrund der physikalischen Eigenschaft, dass sich Licht kugelförmig in Wellen um die Quelle herum ausbreitet, können Kugeloberflächensegmente mit gleicher Lichtleistung dargestellt werden, welche in der Grafik als grüne Kreissegmente gekennzeichnet sind.²⁵ Hier sind zwei Ebenen dargestellt, eine für die Mitte und eine für beide Ränder. Da die Projektionsfläche plan ist, ist der Weg des Lichts zu den Rändern länger als zur Mitte, was zu einer Reihe von Darstellungsproblemen führt. Zum einen kann der Projektor nur auf eine bestimmte Entfernung fokussiert werden, üblicherweise die Mitte bzw. die zentrale Projektionsentfernung. Weil der Weg des Lichts zum Rand jedoch länger ist als zur Mitte, treten geringfügige Schärfenunterschiede bei der Darstellung auf, auch

²⁵ Vgl. Greule, R. (2015), *Licht und Beleuchtung im Medienbereich*, München: Carl Hanser Verlag, S. 37-38.

bei einer orthogonalen Projektion. Aus demselben Grund sind die äußeren Ränder der Projektionsfläche aufgrund der Entfernung bzw. des photometrischen Entfernungsgesetzes im Vergleich dunkler. Gleichzeitig sind in diesen Bereichen die dargestellten Pixel größer, weil mit zunehmender Entfernung das Bild aufgrund des Projektionsverhältnisses proportional größer wird. Diese negativen Effekte sind bei einer orthogonalen Projektion zwar vorhanden, jedoch nicht unbedingt sichtbar.

Das photometrische Entfernungsgesetz lautet:²⁶

$$E = \frac{I}{r^2} \quad [E = \text{Beleuchtungsstärke in lx, } I = \text{Lichtstärke in cd, } r = \text{Radius in m}]$$

Anmerkung: „Die Lichtstärke ist das Maß für die Lichtausstrahlung in einer bestimmten Richtung“²⁷.

Die obenstehende Formel gilt für das orthogonale Auftreffen des Lichts auf die Projektionsfläche, also den mittleren Punkt in der Grafik 1 (Abb. 16). Zur Berechnung der Beleuchtungsstärke auf den äußeren Randflächen wird die Formel durch den Winkel zwischen der zentralen Projektionsentfernung und einem äußeren Rand ergänzt, welcher von dem Ausstrahlwinkel bzw. dem Objektiv des Projektors abhängt. Die Formel lautet somit:²⁸

$$E = \left(\frac{I}{r^2} \right) \cdot \cos \gamma \quad [\cos \gamma = \text{Winkel zwischen zentraler Projektionsdistanz und dem Rand}]$$

Je größer die Entfernung des Projektors zur Projektionsfläche ist, desto größer und dunkler wird das Bild und somit auch die Sichtbarkeit dieser negativen Effekte, weil die Beleuchtungsstärke auf der Projektionsfläche im Quadrat mit der Entfernung abnimmt.

²⁶ Siehe Greule, R. (2015): *Licht und Beleuchtung im Medienbereich*, München: Carl Hanser Verlag, Formel 3.9 / S. 41.

²⁷ Siehe Ebda.: S. 36.

²⁸ Siehe Ebda.: Formel 3.10 / S. 42.

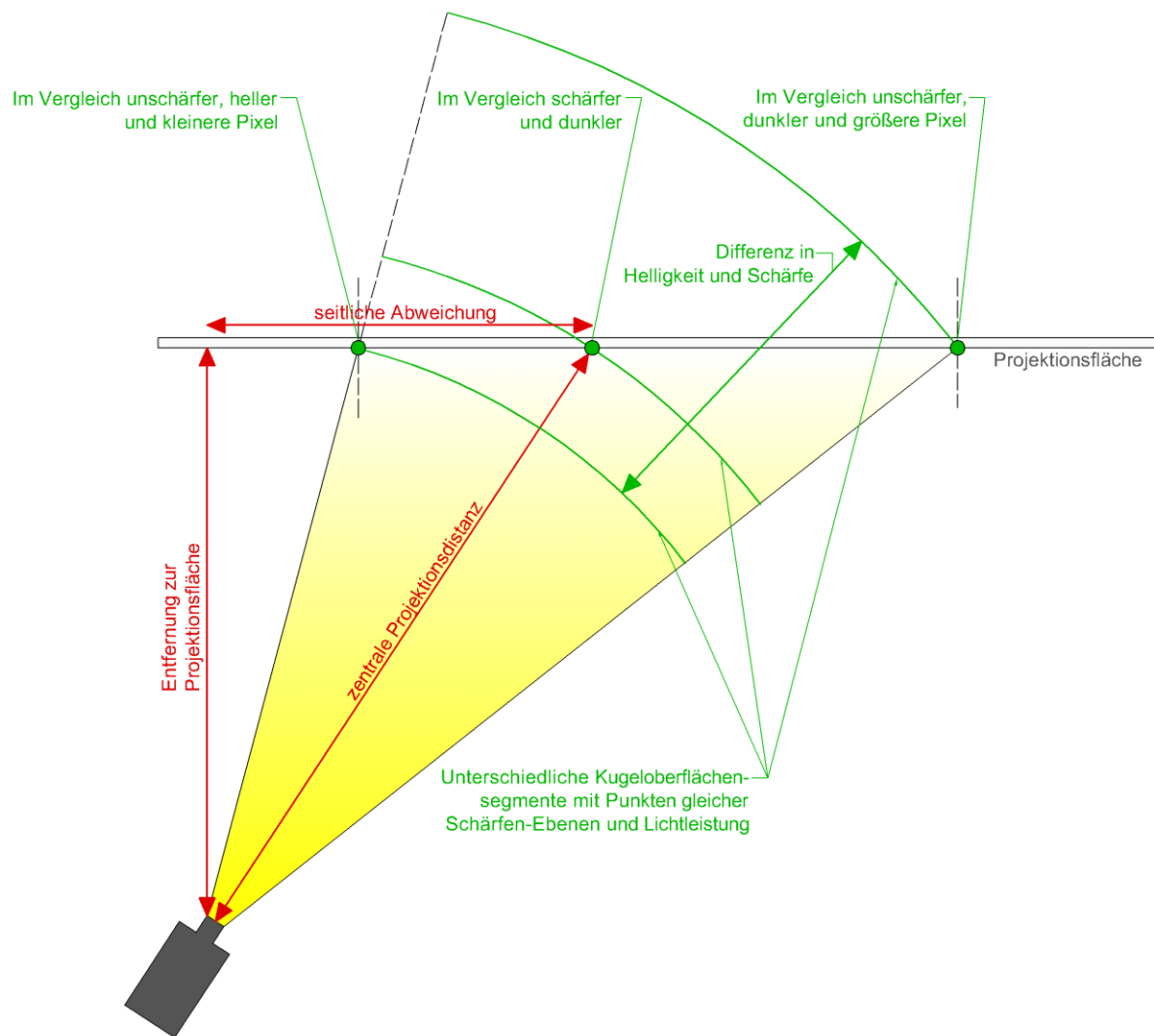


Abbildung 17: Grafik 2 zur Position des Projektors: Schrägprojektion

Quelle: Eigene Darstellung, in Anlehnung an: <https://www.gobogobo.de/zusatzinformationen/fotometrie/>

In der zweiten Grafik ist eine Schrägprojektion auf dieselbe Projektionsfläche dargestellt. Zu erkennen ist hier, dass nun drei Ebenen gleicher Lichtleistung dargestellt sind, für jeden äußeren Rand und die Projektionsachse. Bei dieser schrägen Projektion kann die Mitte der Projektionsfläche nicht mehr von der Projektionsachse getroffen werden, ohne dass das Bild am rechten Rand über die gewünschte Fläche hinaus geht. Weil sich der linke Rand näher am Projektor befindet als die zentrale Projektionsdistanz, ist das Bild dort unschärfer (sofern auf die Mitte fokussiert wurde), heller und zeigt kleinere Pixel an als in der Mitte. Die Darstellung auf der Projektionsachse ist demgegenüber dunkler, schärfer (wenn auf diesen Punkt fokussiert wurde) und zeigt größere Pixel an als linken Rand, weil die Distanz größer ist. Am rechten Rand ist die Distanz noch größer und daher ist das Bild im Vergleich noch unschärfer, dunkler und zeigt noch größere Pixel an.

Für die Berechnung der Beleuchtungsstärke bei schrägem Lichteinfall wird der Winkel zwischen orthogonaler Achse und der Projektionsachse des Projektors zusätzlich einbezogen. Somit lautet die Formel:²⁹

$$E = E_0 \cdot \cos \varepsilon \quad [E_0 = \text{Beleuchtungsstärke aus orthogonaler Projektion in lx, } \cos \varepsilon = \text{Winkel zwischen orthogonaler Achse und der Projektionsachse des Projektors}]$$

So wird die Beleuchtungsstärke aufgrund von Schrägprojektion zusätzlich vermindert.

Diese entstehenden Effekte aufgrund von schräger Projektion nehmen mit zunehmender Distanz und Schräge zu. Bei der Planung von Fassadenprojektionen sind größere Projektionsdistanzen zu erwarten als beispielsweise bei einem Heimkino, daher sollten diese Effekte beachtet werden.

Es können Bedingungen auftreten, die keine mittige bzw. orthogonale Positionierung des Projektors ermöglichen. Bei einer Abweichung von der optimalen Position kann die Verzerrung mit Software ausgeglichen werden, dennoch sollte aus den oben genannten Gründen möglichst eine Position gewählt werden, bei der die Projektionsachse orthogonal zur Projektionsfläche liegt. Des Weiteren ist der Ausgleich von Verzerrungen mit Hilfe von Software mit Qualitätsverlust verbunden, was in Kap. 3.1.1.7. erklärt wird. Zu beachten ist auch, dass es selbst bei einer optimalen Position des Projektors Bereiche geben kann, welche nicht oder nur teilweise vom Projektor erfasst werden, was auch vom Fassadentyp abhängt. Aus manchen Positionen der Zuschauerinnen und Zuschauer können gegebenenfalls auch Bereiche einer Fassade mit suboptimaler Ausleuchtung oder unvollständige Projektionsinhalte sichtbar werden. Dies ist kaum zu vermeiden und kann je nach Blickwinkel als akzeptabel angenommen werden. Projektoren sollten grundsätzlich so positioniert werden, dass keine Zuschauerinnen und Zuschauer den Lichtkegel des Projektors stören können. Dies kann erreicht werden, indem Projektoren beispielsweise auf einem Gerüstturm in einer Höhe von 2,5 Metern installiert werden, um über die Köpfe der Gäste hinweg zu projizieren.

2.4 Art der Inhalte

Die Art der Inhalte wird durch den gewünschten Effekt der gesamten Projektion bestimmt. Verzerrungen der Inhalte können aus zwei Gründen entstehen. Einerseits aufgrund von

²⁹ Siehe Greule, R. (2015): *Licht und Beleuchtung im Medienbereich*, München: Carl Hanser Verlag, Formel 3.8 / S. 41.

schräger Projektion und andererseits aufgrund von einem falschen Seitenverhältnis des Inhalts. Es können verzerrungsunempfindliche Inhalte gewählt werden, wie beispielsweise einfache Farben auf Flächen oder abstrakte Inhalte, die grundsätzlich keine „richtige“ oder „falsche“ Darstellung haben. Dies bedeutet, dass die projizierten Inhalte trotz einer Verzerrung aufgrund des Projektionswinkels des Projektors oder eines „falschen“ Seitenverhältnisses als richtig dargestellt erscheinen. Dies können künstlerische Darstellungen, Kompositionen aus Farben und Formen und sämtliche surreale Inhalte sein, bei denen kein Bezug in der realen Welt besteht.

Bei verzerrungsempfindlichen Inhalten dagegen, wie beispielsweise bei Gesichtern oder Fotos im Allgemeinen, aber auch bei gleichmäßigen Formen wie bei Gittern oder Mustern sollten mögliche Verzerrungen so weit wie möglich minimiert werden. Verzerrungen bei solchen Inhalten werden sofort sichtbar, weil Menschen bei bekannten Formen einen Bezug zur Realität erkennen und erwarten, dass die Inhalte ihren Erwartungen entsprechen. Als Beispiel wird bei einem Foto von einem Haustier erwartet, dass die Proportionen im Foto den Proportionen des Tiers in der Realität entsprechen. Texte verlaufen in der Regel in etwa gleich großen Schriftzeichen mit parallelen Zeilen. Texte können trotz einer Stauchung oder Streckung als korrekt dargestellt erscheinen, wenn kein Bezug zur Original-Schriftart besteht. Wenn die Zeilen jedoch nicht parallel oder waagerecht verlaufen, ist dies sofort auffällig.

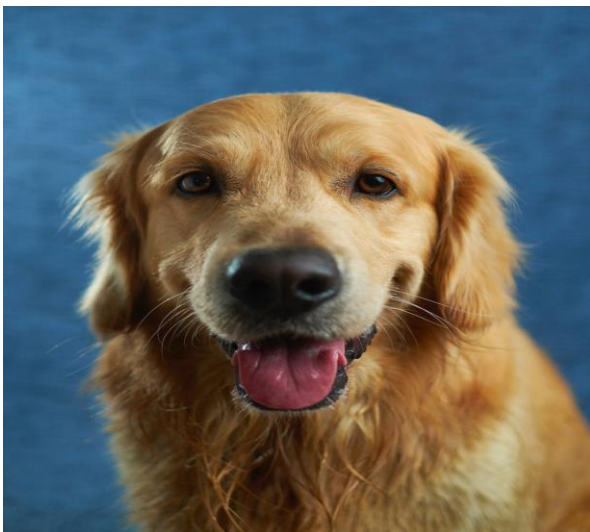


Abbildung 18: Beispiel für einen verzerrungsempfindlichen Inhalt. Dieses Bild ist gestaucht und dies ist sofort sichtbar.
Quelle: Victor Grabarczyk auf unsplash.com

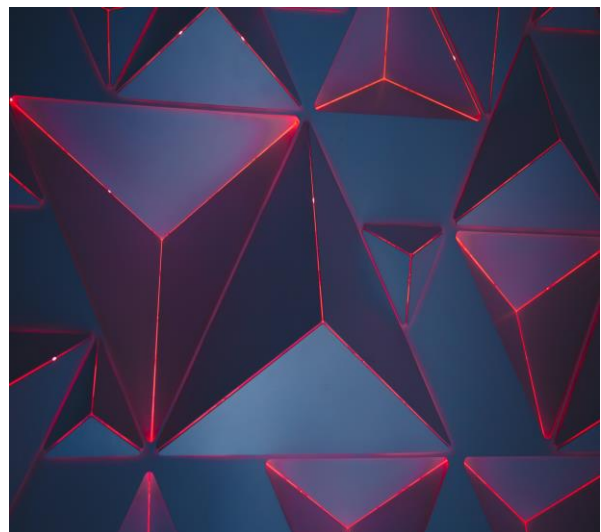


Abbildung 19: Beispiel für einen verzerrungsunempfindlichen Inhalt. Dieses Bild ist ebenfalls gestaucht, dies wird jedoch nicht sofort sichtbar.
Quelle: Ash Edmonds auf unsplash.com

So ist bei dieser Art von Inhalten besonders darauf zu achten, dass diese nicht verzerrt sind. Es kann jedoch auch aus künstlerischer Sicht gewünscht sein, dass Inhalte entsprechend verzerrt werden. So sollte am Anfang des Projekts geklärt werden um was für Inhalte es sich handeln soll, damit beim Erstellen der Inhalte und während der Projektion die Verzerrungen beziehungsweise Entzerrungen berücksichtigt werden können.

2.5 Videos und Standbilder

Standbilder sind geeignet, um ein Objekt über die Dauer der Projektion zu verändern, also beispielsweise besondere Merkmale hervorzuheben oder durch zusätzliche Elemente zu ergänzen. Die Projektion eines Standbilds erzeugt jedoch nur einen kurzen, vorübergehenden Effekt auf das Publikum. Videoclips dagegen können beispielsweise eine dramaturgische Entwicklung darstellen oder eine Geschichte zeigen und ziehen daher die Aufmerksamkeit der Gäste über längere Zeit auf sich. Somit können Standbilder beispielsweise als Dekoration für ein Durchgangspublikum verwendet werden und Videoclips für Shows oder Konzerte mit einem festen Publikum. Welche Inhalte jedoch wie genutzt werden und welche Effekte damit erzielt werden sollen liegt im freien Ermessen der Künstlerin oder des Künstlers. Bei der Nutzung von Videos, welche schnelle Kamera- bzw. Bildbewegungen beinhalten, ist zu beachten, dass solche Inhalte auf einem vergleichsweise kleinen Monitor akzeptabel und natürlich aussehen können, jedoch auf einer Gebäudefassade aufgrund der Skalierung der Bildgröße um ein Vielfaches zu schnell erscheinen können, um diesen zu folgen.³⁰

2.6 Planung der technischen Positionen und Kabelwege

Sobald geklärt ist, an welcher Position sich der Projektor oder die Projektoren befinden sollten, muss bestimmt werden, wie diese aufgestellt werden, wo sich der Medienserver befinden kann, wo sich die bedienenden Personen aufhalten können und wie die technischen Geräte miteinander verbunden werden können. Näheres zur benötigten Hardware folgt in Kapitel 3.1.

Bezüglich der Verbindung von Projektoren mit einem Medienserver ist die zu überbrückende Distanz zu berücksichtigen, weil die Kabellängen und deren Verlauf eine Limitierung darstellen können. Abhängig von der Distanz und der Auflösung der Inhalte bzw. der Datenrate können manche Verbindungskabel, beispielsweise HDMI, nicht oder nur eingeschränkt nutzbar sein. So sollten die erforderlichen Kabelarten und deren Längen im Voraus abgeschätzt bzw. gemessen und sichergestellt werden, dass diese die nötigen Datenraten übertragen können. Es

³⁰ Mündliche Information von Hendrik Wendler von der Fa. device+context, vom 02.03.2021.

ist auf Grund dessen eine Position für den Medienserver zu wählen, wohin Kabel mit wenig Aufwand, auf kurzem Weg und, falls erforderlich, wenig sichtbar verlegt werden können.

Des Weiteren ist eine Position für einen temporären Arbeitsplatz mit Monitor für die bedienenden Personen festzulegen. Dieser Ort kann unabhängig vom Medienserver gewählt werden, jedoch müssen auch hier die Kabellängen und Möglichkeiten zum Verlegen berücksichtigt werden. Die Projektoren können auf vorübergehend aufgestellten Türmen installiert werden, um eine Störung der Projektion durch vorbeilaufende Menschen auszuschließen. Es ist sicherzustellen, dass Gäste keinen Zutritt zu diesen Bereichen haben. Weil alle Geräte Strom benötigen, sollten auch die Kabellängen und Anschlussmöglichkeiten für Strom geplant und berücksichtigt werden.

3 Realisierung von Projektionen

In diesem Kapitel wird die für eine Projektion nötige Hard- und Software zur Realisierung und Möglichkeiten zur Erstellung von Inhalten dargestellt.

3.1 Notwendige Hardware

Für eine Projektion werden einer oder mehrere Projektoren benötigt, je nach Größe der Projektionsfläche und Anwendungsfall. Neben Projektoren werden entsprechende Verbindungskabel und ggf. Adapter zu einem PC, Medienserver oder Mini-Rechner benötigt. In den folgenden Kapiteln werden die relevanten physikalischen Eigenschaften und Funktionen von Projektoren beschrieben.

3.1.1 Projektoren und deren relevante Eigenschaften

Die Wahl des Projektors hat Einfluss auf die Qualität einer Projektion. Jeder Projektor hat spezielle Eigenschaften. Prinzipiell kann jede Art von Projektor für eine Projektion verwendet werden, es sollte jedoch ein dem Kontext entsprechender Projektor gewählt werden. Ein Projektor, der beispielsweise für den Heimkinogegebrauch entwickelt wurde, ist weniger für das Projizieren auf Gebäudefassaden geeignet – dieser sollte besser in einem Innenbereich verwendet werden, weil er möglicherweise für einen Außeneinsatz nicht hell genug ist.³¹

Für professionelle Fassadenprojektionen werden Projektoren verwendet, die einen hohen Lichtstrom bzw. Helligkeit (ANSI-Lumen) aufweisen, um dem Umgebungslicht

³¹ Vgl. Maniello, D. (2015): *Augmented reality in public spaces*, Brienza: Le Penseur, S. 53.

entgegenzuwirken. Das Umgebungslicht spielt hierbei eine wichtige Rolle. Je nach Tageszeit, Wetterlage oder eventuell vorhandenem künstlichem Licht in der unmittelbaren Umgebung sollte ein entsprechend leistungsstarker Projektor gewählt werden. Die Bestimmung der nötigen Leistungsfähigkeit bzw. Helligkeit eines Projektors ist im Kapitel 3.1.1.9 genauer beschrieben.

Die am weitesten verbreiteten Arten von Videoprojektoren sind DLP-Projektoren und LCD-Projektoren³², welche im Folgenden etwas genauer beschrieben werden:

3.1.1.1 Arten von Projektoren

DLP-Projektoren (Digital Light Processing)

DLP-Projektoren können in zwei Kategorien unterteilt werden: 1-Chip und 3-Chip Projektoren.

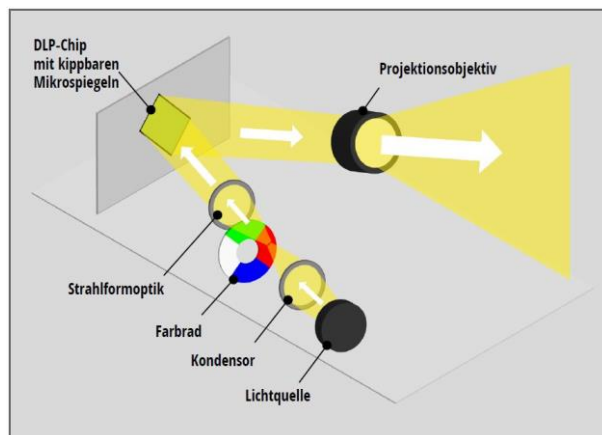


Abbildung 20: Funktionsschema eines 1-Chip DLP-Projektors
Quelle: Panasonic Business, online Schulung (2016), Grundwissen über Projektoren, S. 16

Bei 1-Chip DLP-Projektoren wird das Licht der Lichtquelle auf ein sich drehendes Farbrad projiziert, welches in den Primärfarben rot, blau und grün gefärbt ist. Der gefärbte Lichtstrahl trifft auf einen DMD-Chip (Digital Micromirror Device), welcher mit vielen winzigen und beweglichen Spiegeln versehen ist. Bei jedem Farbwechsel durch das sich drehende Farbrad werden die Spiegel so ausgerichtet, dass das eingefärbte Licht an die

gewünschte Stelle geleitet wird. Das menschliche Gehirn setzt dann die Farben, die eigentlich nacheinander projiziert werden, zu einem Bild zusammen.³³ DLP-Projektoren mit LED-Lichtquelle können die Farben der LEDs in ähnlicher Weise schnell umschalten, sodass das Farbrad wegfällt und keine Geräuschentwicklung durch das dieses entsteht.³⁴ Diese Technologie ist im privaten Anwendungsbereich verbreitet.

³² Vgl. Maniello, D. (2015): *Augmented reality in public spaces*, Brienza: Le Penseur, S. 53.

³³ Vgl. Kaesbauer, I. (07.11.2018): *Wie funktioniert ein Beamer? Einfach erklärt*, https://praxistipps.chip.de/wie-funktioniert-ein-beamer-einfach-erklart_40906, abgerufen am 16.02.2021.

³⁴ Vgl. Ebner, M. (2019): *Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S. 169

3-Chip DLP-Projektoren besitzen drei DMD-Chips, wobei jeweils ein Chip für eine Primärfarbe

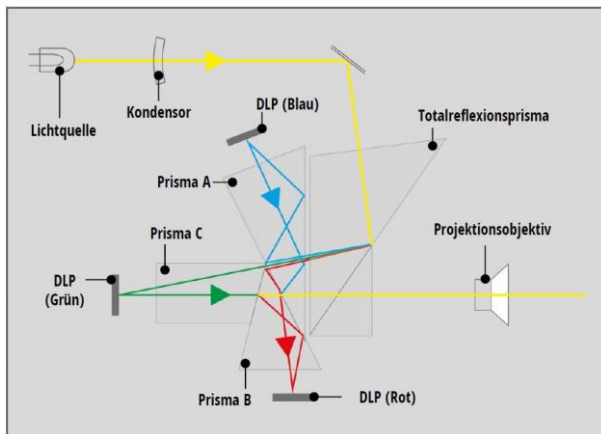


Abbildung 21: Funktionsschema eines 3-Chip DLP-Projektors
Quelle: Panasonic Business, online Schulung (2016), Grundwissen über Projektoren, S. 17

zuständig ist. Das Licht wird durch ein Prisma geleitet, zerlegt und trifft anschließend auf die DMD-Chips. Diese reflektieren das Licht, setzen es wieder zu einem Bild zusammen und leiten es zum Projektionsobjektiv. Das Farbrad entfällt also bei dieser Technologie. 3-Chip DLP-Projektoren sind im professionellen Bereich verbreitet, sind schwerer, lauter und teurer als 1-Chip Modelle.³⁵

Vorteile:³⁶

- Oftmals kostengünstig (1-Chip-DLP)
- Kein Einbrennen im Gegensatz zu LCD-Projektoren (s.u.)
- Höherer Kontrastumfang als LCD-Projektoren, weil kein hinterleuchtetes Bildelement vorhanden ist
- DMD (Digital Mirror Device) langlebig
- Gute und stabile Farbwiedergabe (3-Chip-DLP)
- Schnelle Schaltzeiten, vorteilhaft für Bewegungsschärfe und 3D-Anwendungen (3-Chip-DLP)
- Optische Einheit hermetisch abgeriegelt, unempfindlich gegenüber Staub und Rauch

Nachteile:³⁷

- Regenbogeneffekt bei der 1-Chip-DLP Variante mit Farbrad (farbiges „Nachziehen“ bei schnellen Bewegungen der Augen)
- Geringere Farbtreue der 1-Chip Geräte
- Mögliches Lüfter- und Farbradgeräusch
- 3-Chip-DLP teurer als andere Technologien

³⁵ Vgl. Roth, A. (01.06.2017): DLP, <https://www.prad.de/lexikon/dlp-1-3-chip-technologie/>, abgerufen am 09.07.2021.

³⁶ Vgl. Ebner, M. (2019): *Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S. 169.

³⁷ Vgl. Fa. Panasonic, online Schulung (2016): *Grundwissen über Projektoren*, S. 18.

LCD-Projektoren (Liquid Crystal Diode – Flüssigkristall-Display)

Bei LCD-Projektoren wird das Bild aus verschiedenfarbigen Lichtstrahlen zusammengesetzt.

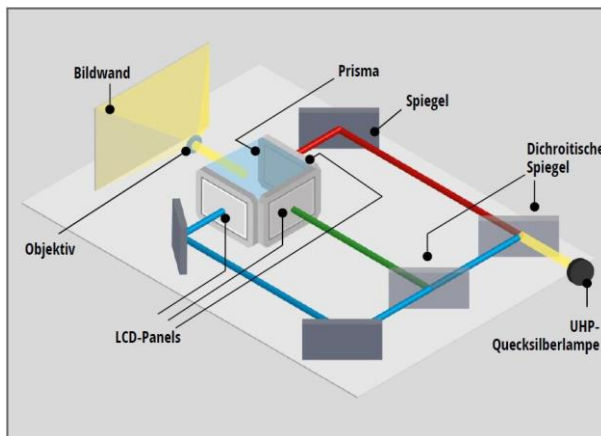


Abbildung 22: Funktionsweise eines LCD-Projektors
 Quelle: Panasonic Business, online Schulung (2016),
 Grundwissen über Projektoren, S. 15

Das Licht der Lichtquelle wird in die Primärfarben rot, blau und grün geteilt und auf ein Spiegelsystem geworfen. Die einzelnen Spiegel sind an einzelnen Stellen lichtdurchlässig und die Farben werden dadurch in je eine Richtung gelenkt. Die drei Lichtstrahlen treffen dann auf LCD-Displays, also Flüssigkristalle, welche nur an den Stellen Licht durchlassen, an denen die jeweilige Farbe gerade benötigt wird. Anschließend werden die

gefilterten Lichtstrahlen auf ein Prisma gelenkt, welche alle drei Farben zu einem Bild bündeln, welches durch die Linse projiziert wird.³⁸

Vorteile:³⁹

- Oftmals kostengünstig
- Bessere Farbwiedergabe als vergleichbar leistungsfähige 1-Chip-DLP-Projektoren

Nachteile:⁴⁰

- Pixelstruktur möglicherweise sichtbar („Fliegengittereffekt“)
- Farb- und Helligkeitsverlust nach relativ kurzer Zeit aufgrund der Betriebstemperatur und UV-Strahlung des Leuchtmittels → kurze Lebensdauer der Lampe
- Möglichkeit des Einbrennens. Bei längerer Projektion eines Standbildes, kann es vorkommen, dass das projizierte Bild auch nach dem Bildwechsel noch sichtbar ist und wie ein Wasserzeichen im Hintergrund sichtbar bleibt.
- Aktive Kühlung für LCDs und Leuchtmittel wird benötigt, die Geräusche verursacht
- Empfindlich gegenüber Staub oder Rauch

³⁸ Vgl. Kaesbauer, I. (07.11.2018): *Wie funktioniert ein Beamer? Einfach erklärt*, https://praxistipps.chip.de/wie-funktioniert-ein-beamer-einfach-erklart_40906, abgerufen am 16.02.2021.

³⁹ Vgl. Fa. Panasonic, online Schulung (2016): *Grundwissen über Projektoren*, S. 18.

⁴⁰ Vgl. Ebner, M. (2019): *Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S. 167.

Laserbasierende Projektoren

Laserbasierende Projektoren nutzen einen Laser als Lichtquelle anstatt einer Lampe oder LED. Es existieren verschiedene Technologien auf dem Markt, Projektoren mit Laser-Lichtquelle sind mit allen Bildwandler-Technologien kombinierbar⁴¹, also auch LCD oder DLP. Es können besonders hohe Helligkeitswerte erreicht werden, was für Architekturprojektionen von Vorteil ist, außerdem muss das Bild nicht scharf gestellt werden, weil der Laserstrahl immer scharf ist.⁴² Diese Art von Projektoren ist für professionelle großformat-Projektionen über größere Entfernungen geeignet.

Vorteile:

- Sehr gute Schwarzwerte und dadurch hoher Kontrast
- Gute Farbwiedergabestabilität
- Geringe Wartung benötigt
- Muss nicht scharfgestellt werden

Nachteile:

- Hohe Kosten⁴³
- Je nach Leistungsfähigkeit und Risikogruppe des Projektors sind ggf. zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen zu treffen⁴⁴

Die genannten Vor- und Nachteile der genannten Bildwandlertechnologien bzw. Arten von Projektoren können je nach Preisklasse, Leistungsfähigkeit und Markterscheinungsdatum des Projektors variieren. Es kann beispielsweise modernere Projektoren geben, für die manche der genannten Nachteile nicht gelten. Es existiert eine enorme Vielzahl an verschiedenen Projektoren, die jeweils ihren eigenen, berechtigten Einsatzbereich und ihre Preisklasse haben. All diese Projektoren im Detail zu vergleichen wäre hier nicht sinnvoll, daher sind die Angaben unter Vorbehalt zu betrachten.

⁴¹ Vgl. Ries, M. (2014): *Warum sind Laser Beamer die Zukunft der Projektion?* <https://www.professional-system.de/basics/laser-beamer-mit-laser-in-die-zukunft/>, abgerufen am 29.04.2021

⁴² Vgl. Ebner, M. (2019): *Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S. 170

⁴³ Vgl. Maniello, D. (2015): *Augmented reality in public spaces*, Brienza: Le Penseur, S. 55.

⁴⁴ Vgl. Fa. Panasonic, Whitepaper (2019): *Risikogruppen-Informationen für Laserprojektoren*, https://business.panasonic.co.uk/visual-system/system/files/files/fields/field_file/psd/2019/05/29/Laser_risk_group_whitepaper_May_2019_German_1559139310.9411.pdf, S. 2, abgerufen am 01.08.2021

Beispiel für einen aktuellen high-end Projektor: Barco UDX-4K32

Dieser Projektor des Herstellers Barco kann als aktuelles Beispiel für einen high-end Projektor im professionellen Bereich betrachtet werden. Der 3-Chip DLP Projektor bietet eine Auflösung bis zu 4K UHD (3840x2400 Pixel, 16:10) und einen Lichtstrom von bis zu 31.000 Lumen mit einer Laserlichtquelle und ist somit geeignet für Großformat-Projektionen. Er bietet eine Bildwiederholrate von 24 Hz bis zu 240 Hz (je nach genutzter Auflösung) und Eingänge für



Abbildung 23: Barco UDX-4K32 Projektor

Quelle: <https://www.barco.com/de/product/udx-4k32>

HDBaseT, HDMI 2.0, DP 1.2, 3G/12G SDI sowie den Herstellerinternen BarcoLink. Des Weiteren ist eine Vielzahl von Wechselobjektiven vorhanden sowie eine Lens-Shift Funktion von -100% bis +130% vertikal und +/- 40% horizontal (abhängig vom Objektiv).

Außerdem besteht die Möglichkeit zur Netzwerkanbindung und eine interne Möglichkeit für edge-blending und warping. Zu beachten sind auch die Dimensionen des Gehäuses, welche mit 80x120x68 Zentimeter als kompakt für einen Projektor dieser Leistungsfähigkeit beschrieben wird, was für eine temporäre Veranstaltung von Bedeutung sein kann. Das Gewicht dieses Projektors ist mit 92kg angegeben, was ebenfalls hinsichtlich der Logistik zu beachten ist. Das Datenblatt dieses Projektors ist im Anhang zu finden.

3.1.1.2 Lichtstrom und Beleuchtungsstärke

Lichtstrom

Ein wichtiger Parameter von Projektoren ist die Angabe der ANSI-Lumen. Lumen ist die Standardeinheit für den Lichtstrom $[\Phi, \text{lm}]$ ⁴⁵. Der Unterschied zu ANSI-Lumen ist lediglich das Messverfahren, welches sich auf Projektoren bezieht und vom „American National Standards Institute“ – ANSI – durchgeführt wird. Der ANSI-Lumen-Wert bestimmt die Lichtleistung des Geräts und bezieht sich auf weißes Licht. Anhand dessen kann noch vor einem Projektionsversuch abgeschätzt werden, ob der Projektor für das Vorhaben geeignet ist, nämlich durch Abschätzungen oder Messungen des Umgebungslichts. Projektoren mit einem hohen ANSI-

⁴⁵ Vgl. Greule, R. (2015): *Licht und Beleuchtung im Medienbereich*, München: Carl Hanser Verlag, S. 33.

Lumen-Wert können sich gegenüber einer hellen Umgebung besser durchsetzen und erzeugen ein besser sichtbares Bild.

Wie oben genannt, bezieht sich die Angabe der ANSI-Lumen auf weißes Licht, die Farbhelligkeit kann jedoch je nach Technologie und Modell des Projektors davon abweichen. Die Farbhelligkeit beschreibt die Farbdarstellungsleistung eines Digitalprojektors. Diese wird wie weißes Licht ebenfalls in Lumen angegeben und mit „CLO“ (Color Light Output, dt. Farblichtausgabe) abgekürzt. Wenn dieser Wert unter dem angegebenen ANSI-Lumen Wert liegt, ist zu erwarten, dass Farben dunkler oder blasser erscheinen. Diese Angabe ist jedoch laut dem Fachmagazin AV-Views nicht bei allen Herstellern vorhanden, insbesondere 1-Chip-DLP Projektoren könnten eine geringere Farblichtleistung besitzen, als für weißes Licht.⁴⁶

Beleuchtungsstärke

Lux ist die Standardeinheit der Beleuchtungsstärke $[E, \text{lx}]$, sie wird auf einer jeweiligen Oberfläche bzw. an einem festgelegten Ort mit einem Luxmeter gemessen. Mit einem Luxmeter kann die entstehende Helligkeit auf der Projektionsfläche durch das Umgebungslicht gemessen werden. Die Einheit Lux ist als Lumen $[\phi, \text{lm}]$ pro Quadratmeter $[A, \text{m}^2]$ definiert:⁴⁷ $E = \frac{\phi}{A}$

Der benötigte Lichtstrom ist abhängig von der gewünschten Bildgröße (somit auch von der Entfernung und dem Projektionsverhältnis), des Umgebungslichts und der richtungsabhängigen Reflexionseigenschaften der Projektionsfläche (Gain-Faktor / Leuchtdichtefaktor). Der vom Projektor vorgegebene Lichtstrom bestimmt die Beleuchtungsstärke auf der Projektionsfläche. Die Beleuchtungsstärke wird auf dieser Projektionsfläche gleichmäßig kleiner, je größer das projizierte Bild ist.⁴⁸

In dem Fall, dass die Helligkeit eines Projektors aus diversen möglichen Gründen für eine Anwendung nicht ausreicht, können mehrere Geräte zu einem Verbund in einer Mehrfachprojektion zusammengefasst werden. Dieses Verfahren wird auch „stacking“ (engl. für Stapeln) genannt und kann mit Projektionssoftware angewendet werden. Dabei ist darauf zu achten,

⁴⁶ Vgl. Printzen, M. (2017): *Mehr Klarheit durch Farblichtleistung?*

<https://www.av-views.com/2017/09/23/mehrklarheit-durch-farblichtleistung/>, abgerufen am 15.05.2021.

⁴⁷ Vgl. Greule, R. (2015): *Licht und Beleuchtung im Medienbereich*, München: Carl Hanser Verlag, S. 39.

⁴⁸ Vgl. DIN 19045-1: 1997-05, S. 10

dass die einzelnen Pixel der jeweiligen Projektoren genau übereinander liegen um Unschärfen zu vermeiden.⁴⁹

3.1.1.3 Kontrastverhältnis

„Als Kontrastverhältnis K bezeichnet man den Quotienten aus der Beleuchtungsstärke des Weißwertes E_W und der Beleuchtungsstärke des Schwarzwertes E_S “⁵⁰. Dabei ist die Beleuchtungsstärke des Schwarzwertes maßgeblich von der Umgebungshelligkeit E_U abhängig. Das Verhältnis ist verantwortlich für die „Schwarztiefe“ bzw. den „Schwarzwert“, sowie die Grau- und Farbstufen. Der Kontrast der projizierten Bilder wird durch die Projektionsinhalte, die Art und den Aufbau des Projektors und durch die Reflexionseigenschaften der Bildwand bestimmt.⁵¹ Es wird ausgedrückt mit einem numerischem Verhältniswert, beispielsweise 1000:1. Je höher dieser Wert ist, desto höhere Qualität haben die erzeugten Bilder bezogen auf Farbsättigung und dem Unterschied zwischen schwarz und weiß. Die vollständige Formel für das Kontrastverhältnis lautet: ⁵²

$$K = \frac{E_W}{E_S} = \frac{E_W}{E_U} \quad [E_W = \text{Beleuchtungsstärke des Weißwertes}, E_S = \text{Beleuchtungsstärke des Schwarzwertes}, \\ E_U = \text{Beleuchtungsstärke der Umgebung}]$$

Im Zusammenhang mit Fassadenprojektionen können Werte wie 1000:1 nicht oder nur bei sehr dunklen Umgebungslichtverhältnissen erreicht werden, diese gelten eher für Monitore oder Fernseher. Der Grund dafür ist, dass bei Projektionen in der Praxis der Dunkelwert durch das vorliegende Umgebungslicht und die Eigenschaften der Projektionsfläche bestimmt wird, denn „schwarz“ als Farbe kann nicht projiziert werden. Für Projektionen auf Fassaden gilt die Regel, basierend auf Erfahrungswerten, dass für eine akzeptable Erkennbarkeit der Inhalte der hellste Bereich der Projektion mindestens etwa 7-mal heller sein sollte, als der dunkelste, was einem Kontrastverhältnis von lediglich 7:1 entspricht.⁵³ Inhalte, die bereits bei der Erstellung einen geringen Kontrast aufweisen, wie beispielsweise Abstufungen von Grautönen, können auf einem Monitor mit hohen Kontrastwerten in einer Voransicht gut sichtbar erscheinen,

⁴⁹ Vgl. Greule, R. (2015): *Licht und Beleuchtung im Medienbereich*, München: Carl Hanser Verlag, S. 173.

⁵⁰ Siehe Ebner, M. (2019): *Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnungen*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S. 178.

⁵¹ Vgl. DIN 19045-1: 1997-05, S. 10

⁵² Siehe Ebner, M. (2019): *Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnungen*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S. 178.

⁵³ Mündliche Information von Hendrik Wendler von der Fa. device+context, vom 02.03.2021.

jedoch auf einer Fassade schwer erkennbar sein. So ist der Kontrastumfang und die damit verbundene Sichtbarkeit der Inhalte auch während der Erstellung der Inhalte zu beachten.

3.1.1.4 Auflösung

Die Auflösung des Projektors hat Auswirkungen auf die Qualität der projizierten Bilder. Digitale Video- oder Bildsignale bestehen aus zusammengesetzten Pixeln, deren Anzahl in der Breite (Spalten) sowie Höhe (Zeilen) von der Auflösung definiert wird. Die Auflösung definiert somit auch das Seitenverhältnis. Heutige Monitore, Fernseher, Projektoren und andere Anzeigergeräte besitzen eine native Auflösung, mit welcher das Gerät optimal genutzt wird. Die native Auflösung entspricht der exakten Zahl der physikalischen Pixel des Anzeigergeräts⁵⁴, eine Abweichung von dieser Auflösung kann in unscharfer Darstellung resultieren.

Bei einer höheren Anzahl von Pixeln kann ein schärferes, klareres Bild erzeugt werden, weil mehr Pixel, also Bildpunkte, dargestellt werden können, sofern auch die Auflösung der Quelle, also der Grafik oder des Videos, entsprechend hoch ist. Die Qualität des Bildes wird jedoch auch von der tatsächlichen Bildgröße und der Betrachtungsentfernung bestimmt – ein größeres Bild vergrößert die angezeigten Pixel. Dies kann aus einer größeren Entfernung kaum sichtbar sein, aus einer kleineren jedoch würden die einzelnen Bildpunkte sichtbar werden, was eine Abnahme der wahrgenommenen Qualität darstellt. Ein hier zu beachtender Wert ist die Pixeldichte, angegeben in dpi – dots per inch bzw. ppi – pixels per inch oder auch ppcm – Pixel pro Zentimeter, welcher die Dichte der Pixel auf der jeweiligen Anzeigefläche angibt. Dieser ist natürlicherweise abhängig von der Größe der Bildfläche und wird bei den meisten Geräten nicht angegeben, kann aber errechnet werden, nämlich anhand des Satzes des Pythagoras, wobei die Anzahl der Pixel in der Diagonale ins Verhältnis mit der tatsächlichen Bilddiagonale gesetzt wird:

$$\text{Diagonale Punktdichte} = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}$$

[x= Pixel in der Breite, y= Pixel in der Höhe, z= Displaydiagonale in Zoll oder cm]

Die Auflösung der Inhalte und des Projektors spielt also für die Qualität der dargestellten Inhalte eine besondere Rolle. Während einer Fassadenprojektion sind größere Projektionsdistanzen zu beachten, als es bei einer Heimkinoinstallation der Fall wäre und die einzelnen Pixel

⁵⁴ Vgl. Computerbild.de (o.A.), (o.D.): *Native Auflösung*, <https://www.computerbild.de/glossar/Native-Auflösung-4778038.html>, abgerufen am 08.07.2021

werden bei größeren Distanzen größer und sichtbarer. Als Richtwert, basierend auf Erfahrungswerten, kann angenommen werden, dass die Größe der einzelnen Pixel auf der Projektionsfläche für eine akzeptable Darstellung eine Fläche von $1,0\text{cm}^2$ nicht überschritten werden sollte, weil die Inhalte sonst unscharf erscheinen können.⁵⁵ Um dies zu überprüfen können die einzelnen Pixel auf der Projektionsfläche gemessen werden, sofern Inhalte verfügbar sind, die diese erkennbar machen. Alternativ kann die Pixelgröße auch vor der Durchführung der Projektion berechnet werden, wenn die nötige Auflösung und das Seitenverhältnis für die gesamte Projektionsfläche bekannt sind, wie im folgenden Rechenbeispiel:

Angenommen, es soll eine Hausfassade bespielt werden, die 16 Meter breit und 9 Meter hoch ist, was dem verbreiteten Seitenverhältnis für Projektoren von 16:9 entspricht. Diese Fassade wird von einem einzelnen Projektor mit einer Full-HD-Auflösung, also 1920×1080 Pixeln, vollständig erfasst. Das Ziel ist zu überprüfen, ob die einzelnen Pixel größer oder kleiner als $1,0\text{cm}^2$ sind.

Zunächst wird die Diagonale der Fassade mit Hilfe des Satzes des Pythagoras berechnet:

$$a^2 + b^2 = c^2 \rightarrow \sqrt{a^2 + b^2} = c \quad \rightarrow \sqrt{16,00^2 + 9,00^2} \approx 18,36\text{m}$$

Eingesetzt in die obige Formel für die Punktdichte, ergibt dies eine Pixeldichte von:

$$\frac{\sqrt{1920^2 + 1080^2}}{18,36\text{m}} \approx 120 \text{ Pixel pro Meter in diagonalen Richtung}$$

Umgerechnet auf Zentimeter sind dies 1,2 Pixel in diagonalen Richtung. Für die Anzahl der Pixel pro Quadratzentimeter wird dieser Wert quadriert und ergibt somit $\frac{1,20}{\text{cm}} \cdot \frac{1,20}{\text{cm}} = \frac{1,44 \text{ Pixel}}{\text{cm}^2}$

Um zu berechnen welche Fläche ein einzelner Pixel beansprucht, wird folgende Rechnung angewandt: $\frac{1,00 \text{ cm}^2}{1,44 \text{ Pixel}} \approx \frac{0,69 \text{ cm}^2}{\text{Pixel}}$

Ein Pixel nimmt also eine Fläche von ungefähr 0,69 Quadratzentimeter ein. Dieser Wert wäre somit akzeptabel.

Als alternative Berechnung kann hier die Anzahl der Pixel direkt im Verhältnis zur Fläche berechnet werden, nämlich wie folgt:

⁵⁵ Mündliche Information von Hendrik Wendler von der Fa. device+context, vom 02.03.2021

$$\frac{1920 \text{ Pixel}(\text{hor}) \cdot 1080 \text{ Pixel}(\text{vert})}{1600\text{cm} \cdot 900\text{cm}} = \frac{2073600 \text{ Pixel}}{1440000\text{cm}^2} = \frac{1,44 \text{ Pixel}}{\text{cm}^2}$$

Als Berechnungsgrundlage wird für Monitore, Fernseher oder Leinwände häufig der Wert der Displaydiagonale verwendet, weil diese von den Herstellern angegeben wird.

3.1.1.5 Seitenverhältnis

Das Seitenverhältnis gibt die Proportionen des Bildes des Projektors an. Es haben sich einige Standard-Seitenverhältnisse etabliert, welche von der Industrie als sinnvoll betrachtet werden. Die wichtigsten sind:

- 4:3 – Bspw. mit einer Auflösung von 1024x768 oder 1400x1050 Pixeln

Dieses Seitenverhältnis ist mittlerweile veraltet und stammt aus der Zeit des 35-mm Films, es wurde ursprünglich für die Produktion von Kinofilmen entwickelt. Dieses Format war bis in die 1990er Jahre das Standardformat von Röhrenbildfernsehern und Computermonitoren.⁵⁶

- 16:9 – Bspw. mit einer Auflösung von 1280x720 (HD-Ready) oder 1920x1080 Pixeln (Full-HD)

Dieses Seitenverhältnis wurde zunächst auch für den Kinobereich entwickelt und löste das Seitenverhältnis von 4:3 ab. Weil das 16:9-Format breiter ist, wird es auch noch heute als „Breitbild“ bezeichnet. Der Umstieg auf 16:9 erfolgte Anfang der 2000er Jahre, zu der Zeit kamen die ersten Fernseher mit diesem Format auf den Markt, konnten jedoch zu dieser Zeit ausschließlich Kinofilme Bildschirmfüllend darstellen. Ab Mitte der 2000er Jahre wurden auch andere Inhalte in diesem Format produziert. Es entwickelte sich als Standardformat für Fernseher und Monitore und ist bis heute das am weitesten verbreitete Format, weil es eher dem natürlichen Sichtfeld des Menschen entspricht als 4:3 und mehr Inhalte sichtbar werden.⁵⁷

- 16:10 – Bspw. mit einer Auflösung von 1440x900 oder 1920x1200 Pixeln

Dieses Format bietet gegenüber von 16:9 Vorteile, wenn es sich um Texte, Tabellen oder Ähnliches handelt, weil der Bildbereich in der Höhe etwas größer ist und somit in der Höhe mehr

⁵⁶ Vgl. wertgarantie.de (o.A.), (o.D.): 4 zu 3, <https://www.wertgarantie.de/lexikon/tv/4-zu-3>, abgerufen am 09.07.2021

⁵⁷ Vgl. wertgarantie.de (o.A.), (o.D.): 16 zu 9, <https://www.wertgarantie.de/lexikon/tv/16-zu-9>, abgerufen am 09.07.2021

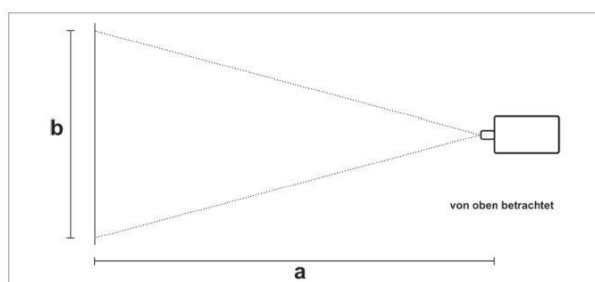
dargestellt werden kann. Ein häufig genutztes Format für Projektoren und Monitore zur Business-Anwendung.

Diese Standard-Seitenverhältnisse sind zu beachten, weil Anzeigegeräte wie Projektoren oder Monitore Inhalte nur bildschirmfüllend darstellen können, wenn die Inhalte auch in dem entsprechenden Seitenverhältnis vorliegen oder erstellt werden. Andernfalls werden die Inhalte entweder aufgrund des falschen Seitenverhältnisses gestreckt, gestaucht oder es werden schwarze Ränder ohne Inhalte sichtbar sein, weil die Geräte versuchen die Inhalte korrekt und bildschirmfüllend darzustellen. Das Seitenverhältnis des Inhalts kann passend zum Seitenverhältnis der Projektionsfläche gewählt werden, um Verzerrungen zu vermeiden. Das Seitenverhältnis des Inhalts kann auch mit Projektionssoftware nachbearbeitet werden.

3.1.1.6 Projektionsverhältnis (throw ratio)

Je weiter entfernt der Projektor aufgestellt wird, desto größer wird das resultierende Bild. Das Projektionsverhältnis, auch „throw ratio“ genannt, gibt an wie breit ein Bild in Abhängigkeit vom Projektionsabstand wird. Bei Projektoren ist dies ein Parameter des Objektivs, welcher mit Hilfe von Zoom-Objektiven begrenzt verändert werden kann. Dieser Parameter ist in den Datenblättern der Projektoren bzw. Objektiven angegeben. Die Verwendung von Zoom-Objektiven ist heutzutage üblich und bietet auch Privatanwendern weitere Einstellungsmöglichkeiten. Das Projektionsverhältnis ist als Quotient aus Abstand zur Projektionsfläche durch Breite des Bildes definiert:⁵⁸

$$p = \frac{a}{b} \quad [p = \text{Projektionsverhältnis}, a = \text{Projektionsabstand}, b = \text{Bildbreite}]$$



Zum Beispiel wird mit einer throw ratio von 2,5:1 in einem Abstand von 10 Metern ein Bild mit einer Breite von 4 Metern projiziert.

Abbildung 24: Skizze zum Projektionsverhältnis
Quelle: Ebner, M. (2019), *Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S. 171

⁵⁸ Vgl. Ebner, M. (2019): *Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S. 170-171.

Bei manchen Projektoren können die Objektive ausgetauscht werden um ein anderes Projektionsverhältnis zu erreichen. Auf dem Markt existieren sogenannte „short throw“ Zoom-Objektive und „long throw“ Zoom-Objektive. Projektoren mit short throw Objektiven können verwendet werden, wenn es nicht möglich ist, den Projektor weit genug von der Projektionsfläche entfernt zu positionieren. Der Projektor ist in diesem Fall näher an der Projektionsfläche, als mit einem Standardobjektiv. Projektoren mit Long throw Objektiven können dagegen weiter von der Projektionsfläche entfernt positioniert werden, ohne dass das resultierende Bild größer ist als es mit einem Standardobjektiv der Fall wäre. Es kann hilfreich sein das Projektionsverhältnis eines unbekannten Projektors zu überprüfen, um die tatsächlich resultierende Bildgröße zu erkennen und ob möglicherweise ein Zoom-Objektiv installiert oder eine Zoom-Funktion vorhanden ist. Dies kann mit einem herkömmlichen Maßband auch auf kurze Distanzen gemessen werden, weil das Projektionsverhältnis unabhängig von der Distanz gleichbleibt.



Abbildung 25: Beispiel für ein ultra short throw Objektiv, 0,4:1
Quelle: Barco.com Produktseite
<https://www.barco.com/en/product/tld-plus-040>



Abbildung 26: Beispiel für ein long throw Objektiv, ca. 7,0-10:1
Quelle: Barco.com Produktseite
<https://www.barco.com/en/product/tld-693---103#accessories>

Es ist also möglich noch vor der Installation des Projektors die nötige Entfernung vom Projektor zur Projektionsfläche abzuschätzen, wenn das Projektionsverhältnis bekannt ist.

3.1.1.7 Keystone Korrektur

Wenn ein Projektor nicht orthogonal zur Projektionsfläche aufgestellt ist, entstehen Verzerrungen beim projizierten Bild. Das resultierende Bild ist dann nicht mehr rechteckig, sondern trapezförmig. Um dies auszugleichen bedarf es einer sogenannten Trapezkorrektur.

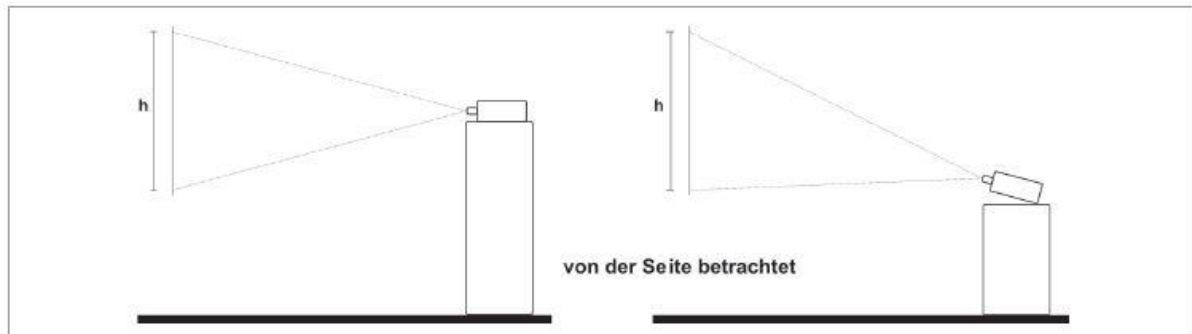


Abbildung 27: Links: Orthogonale Projektion, rechts: schräge Projektion aufgrund von Kippen des Projektors
 Quelle: Ebner, M. (2019) Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S.174



Abbildung 28: Links: Resultierendes Bild aufgrund von vertikaler Neigung des Projektors, rechts: Resultierendes Bild aufgrund von zusätzlich seitlicher Schrägprojektion
 Quelle: Ebner, M. (2019) Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S.175

Manche Projektoren besitzen diese Funktion, welche auch „Keystone Korrektur“ genannt wird. Keystone bedeutet Schlussstein, welcher im Bauwesen im Scheitel von bspw. Torbögen eingesetzt wird und eine trapezartige Form hat. Die integrierte Keystone Korrektur funktioniert als digitale Vorverzerrung und kann die Verzerrungen bis zu einem bestimmten Grad verringern, um das Bild wieder rechteckig erscheinen zu lassen. Manche Projektoren haben einen eingebauten Lagesensor mit dessen Hilfe die korrekte Vorverzerrung ermittelt wird. Eine Keystone-Korrektur kann auch mit Projektionssoftware durchgeführt werden, die verwendet wird, das Projektionsbild an die Projektionsfläche anzupassen. Bei der integrierten sowie softwarebasierten Keystone Korrektur wird die resultierende Auflösung verringert, weil das ursprüngliche Bild an den jeweiligen Kanten durch Interpolation der Bildpunkte heruntergerechnet werden muss und somit nicht alle Pixel des Panels im Projektor genutzt werden

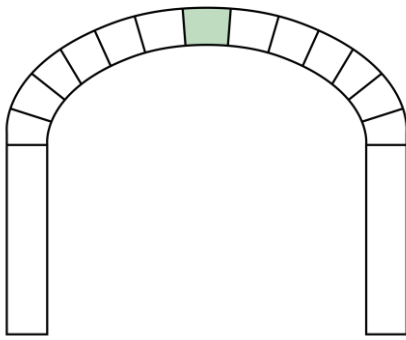


Abbildung 29: Schematische Darstellung eines Schlusssteins
 Quelle: Von Nutzer Amada44 - Eigenes Werk, gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3504670>

können.⁵⁹ Des Weiteren reduziert die Nutzung dieser Funktion auch die Helligkeit, weil nur ein Teil des Bildchips verwendet wird. Licht, welches durch den unbenutzten Teil des Chips scheint (für LCD) oder von diesem reflektiert wird (für DLP) gelangt nicht auf die Projektionswand, was ein dunkleres Bild zur Folge hat.⁶⁰

Die im Projektor integrierte Keystone Korrektur ist zur Nutzung für Projektionsmapping nur bedingt geeignet, weil die verwendete Projektionssoftware in dieser Hinsicht umfangreichere Möglichkeiten bietet.

3.1.1.8 Lens Shift und Lens Offset

„Lens Offset“ (engl. für Linsenversatz) bezeichnet eine Funktion von Projektoren, die einen festgelegten Versatzbereich der Projektionsachse definieren. Dieser offset oder Versatz wird in Prozent ausgedrückt und ist in jedem Projektor vorhanden, auch wenn dieser 0% beträgt. Die Projektionsachse eines Projektors ist so gestaltet, dass bei einer waagerechten Position des Projektors die untere Projektionsbildkante auf einer Höhe mit der Linse liegt, was einem offset von 0% entspräche. Dies ist aber auch eine Frage der Definition, so kann diese Lage auch als 50% offset nach oben festgelegt sein.⁶¹ Die Lens Offset-Funktion ermöglicht als Voreinstellung eine Verschiebung der Projektionsachse in der Vertikalen, sodass beispielsweise der Projektor auf einem Fußboden aufgestellt werden kann und zugleich das Bild auf einer Wand in der Höhe verschoben wird, falls benötigt. Die Angabe in +/- Prozent bezieht sich dabei auf die ursprüngliche Projektionsachse und die Größe des resultierenden Projektionsbildes und ist für einen bestimmten Rahmen festgelegt. In den meisten Fällen wird der offset vom unteren Rand des Projektionsbildes gemessen, was für 10% offset bedeutet, dass der untere Rand des Bildes 10% der Gesamtbildhöhe höher oder niedriger liegt, als die Linsen-Mittelachse.⁶²

⁵⁹ Vgl. Greule, R. (2015), *Licht und Beleuchtung im Medienbereich*, München: Carl Hanser Verlag, S. 172.

⁶⁰ Vgl. Stone, M. D. (30.01.2019), *Understanding Lens Offset and Lens Shift*, <https://www.projectorcentral.com/Understanding-Lens-Offset-and-Lens-Shift.htm>, abgerufen am 27.04.2021

⁶¹ Vgl. Ebner, M. (2019) *Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S. 176.

⁶² Vgl. Stone, M. D. (30.01.2019), *Understanding Lens Offset and Lens Shift* (engl.), <https://www.projectorcentral.com/Understanding-Lens-Offset-and-Lens-Shift.htm>, abgerufen am 20.04.2021

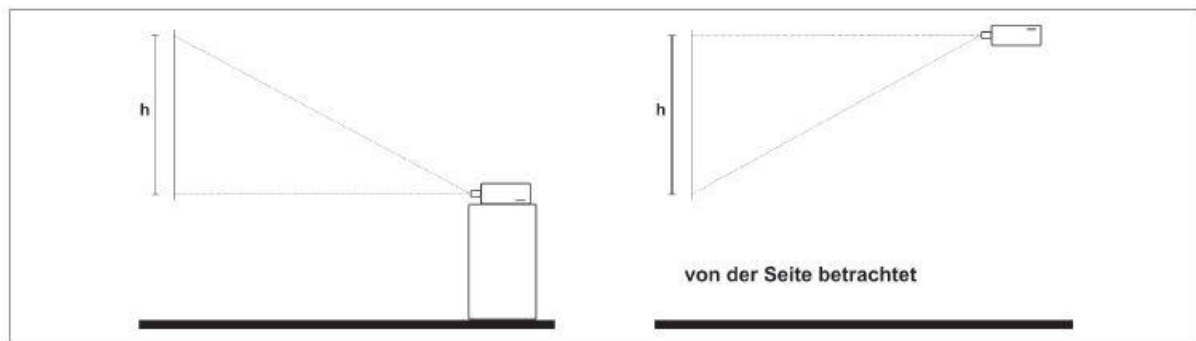


Abbildung 30: Lens offset von 0% bzw. +50%, je nach Definition

Quelle: Ebner, M. (2019) Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S. 176

„Lens Shift“ (engl. Linsenverschiebung), ist eine Funktion die ebenfalls der Verschiebung der Projektionsachse in einem bestimmten Rahmen dient. Diese ist im Gegensatz zum offset nicht bei allen Geräten vorhanden und bietet bei manchen Geräten zusätzlich die Möglichkeit die Projektionsachse auch horizontal in einem bestimmten Maß zu verschieben. Eine Linsenverschiebung von beispielsweise -50% vertikal würde bedeuten, dass die Mitte des Projektionsbildes auf einer Höhe mit der Linse liegen würde (vorausgesetzt, dass bei 0% die untere Bildkante mit der Linse auf einer Höhe als Lens Offset definiert ist). Beide Funktionen werden durch eine mechanische Korrektur der Linse am Projektor durchgeführt, wodurch keine optischen Verzerrungen zu erwarten sind.⁶³

Für ein Projektionsmapping kann diese Funktion verwendet werden, wenn Einschränkungen bezüglich der Position des Projektors bestehen. Die Funktion ermöglicht es das Projektionsbild in horizontaler und bzw. oder vertikaler Achse geringfügig zu verschieben, sodass der Projektor selbst nicht verschoben werden muss.

⁶³ Vgl. Ebner, M. (2019): *Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S. 176.

Zur Berechnung des Lens Shift-Grades:

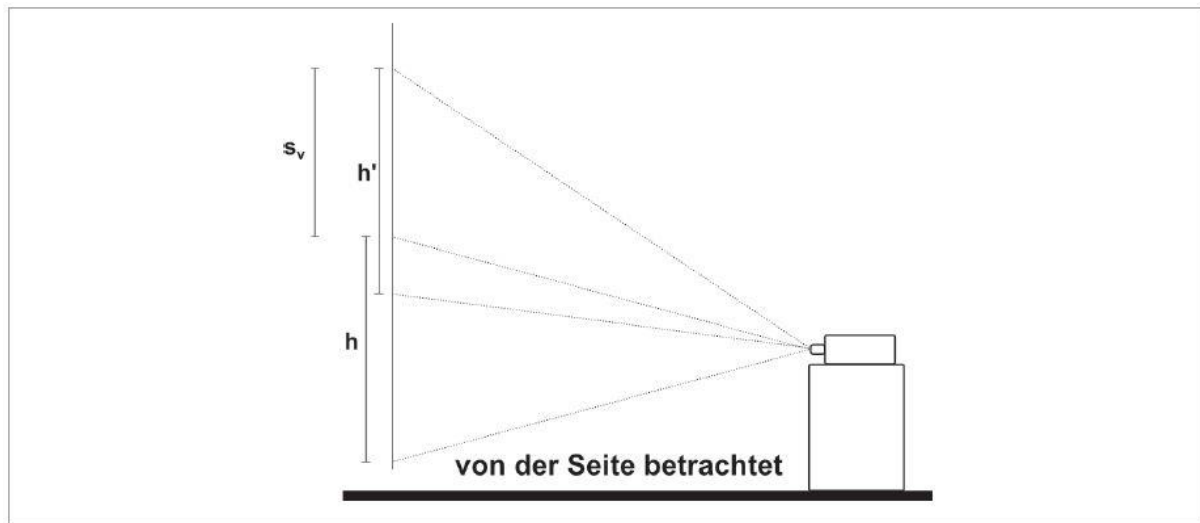


Abbildung 31: Definition des Lensshift-Grades (vertikal)

Quelle: Ebner, M. (2019) Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S. 176

Soll die Projektion von der Höhe h nach h' um die Strecke s_v verschoben werden, dann wird der vertikale Lens Shift wie folgt berechnet:⁶⁴

$$LS_v = \frac{100\% \cdot s_v}{h}$$

3.1.1.9 Wahl der Projektoren, Berechnungsbeispiele

Um den oder die richtigen Projektoren für eine Fassadenprojektion zu wählen, sind prinzipiell drei der vorher genannten Eigenschaften von Projektoren ausschlaggebend, nämlich der Lichtstrom in ANSI-Lumen, das Projektionsverhältnis und die Auflösung bzw. das Seitenverhältnis.⁶⁵

Zur Berechnung des nötigen Lichtstroms sind folgende Faktoren von Bedeutung: Das Umgebungslicht im Bereich der Projektion, die Größe bzw. Fläche der Gebäudefassade und theoretisch auch der Gain-Faktor der Fassade.

Berechnungsmethode nach DIN 19045-1

Die DIN 19045 schreibt vor, dass für eine Hellraumprojektion die durch einen Projektor erzeugte Leuchtdichte der Projektionsfläche mindestens fünfmal so hoch sein sollte, wie die durch das Umgebungslicht erzeugte Leuchtdichte auf derselben Fläche.⁶⁶ Dieser Zusammenhang besteht auch bezüglich der Beleuchtungsstärke, so kann diese in einem Raum auf der Projektionsfläche gemessen und anhand der Größe der Projektionsfläche der benötigte

⁶⁴ Ebner, M. (2019): *Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S. 177

⁶⁵ Vgl. Maniello, D. (2015): *Augmented reality in public spaces*, Brienza: Le Penseur, S. 199

⁶⁶ Vgl. DIN 19045-1: 1997-05, S. 10

Lichtstrom des Projektors berechnet werden. Im Folgenden ein Rechenbeispiel für eine Projektion in einem beleuchteten Raum:

Auf der Leinwand in einem Raum wurden 100 Lux aus dem Raumlicht gemessen. Die Projektionsfläche ist 2,0m x 3,5m groß, also 7,0m² und deren Gain-Faktor beträgt 1. Die Beleuchtungsstärke ist der Quotient aus dem auftreffenden Lichtstrom und der Fläche:

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad [E = \text{Beleuchtungsstärke in Lux, } \Phi = \text{Lichtstrom in Lumen, } A = \text{Projektionsfläche in m}^2]$$

Umgestellt nach Φ und ergänzt durch den Faktor 5 aus der Bedingung der Norm ergibt dies:

$$100\text{lx} \cdot 7\text{m}^2 \cdot 5 = 3500 \text{ ANSI-Lumen}$$

Es ist also ein Projektor mit einem Lichtstrom von etwa 3500 ANSI-Lumen notwendig, um eine angemessene Erkennbarkeit der Inhalte in einem beleuchteten Raum zu gewährleisten.

Freiluft-Projektionen bzw. Projektionen in einem Freilufttheater, worunter Architekturprojektionen fallen würden, liegen zwar nicht im Anwendungsbereich der DIN 19045, jedoch bieten diese Angaben eine Orientierung und eine Berechnungsgrundlage für eine näherungsweise Ermittlung des benötigten Lichtstroms für eine angemessene Erkennbarkeit der Projektionsinhalte. Für Fassadenprojektionen kann aufgrund von Erfahrungswerten angenommen werden, dass für ein angemessenes Kontrastverhältnis und dadurch gute Sichtbarkeit der Inhalte, der hellste Bereich der Projektion mindestens 7-mal, jedoch besser 10-mal heller sein sollte, als der dunkelste.⁶⁷

Das folgende Beispiel ist eine Vereinfachung, um den Einfluss des Umgebungslichts und der Fläche der Fassade zu verdeutlichen. Es ist unwahrscheinlich, dass eine Fassade das exakte Seitenverhältnis von 16:9 besitzt, wird hier aber vereinfacht angenommen. Außerdem wird der Gain-Faktor als 1 angenommen, was für farbige oder dunkle Fassaden nichtzutreffend wäre. Bei einer Schrägprojektion ist je nach Winkel von weiteren Verlusten auszugehen. So kann diese Rechnung für eine Fassadenprojektion beispielsweise folgendermaßen durchgeführt werden:

Die Gebäudefassade ist 16 Meter breit und 9 Meter hoch, also beträgt die Fläche 144m². Die Projektion wird am Abend in einer Stadt durchgeführt, das Umgebungslicht beträgt aufgrund

⁶⁷ Mündliche Information von Hendrik Wendler von der Fa. device+context, vom 02.03.2021.

von Straßenbeleuchtung etwa 10 Lux, es soll nur ein Projektor verwendet werden. Der Gain-Faktor ist unbekannt und wird für das weiß angestrichene Gebäude auf 1 geschätzt. Der nötige Lichtstrom des Projektors ist zu ermitteln:

$$10lx \cdot 144m^2 \cdot 10 = 14400 \text{ ANSI-Lumen}$$

Mit den oben genannten Vereinfachungen würde für diesen Fall ein Projektor mit einem Lichtstrom von 14400 ANSI-Lumen ausreichend sein.

Berechnungsmethode nach Studio Glowarp

Zum Zweck der Berechnung des nötigen Lichtstroms hat das Studio Glowarp mit Sitz in Italien eine auf Erfahrungswerten basierende empirische Formel entwickelt⁶⁸. Diese Formel ermöglicht es den Nutzerinnen und Nutzern den ungefähr benötigten Lichtstrom eines Projektors für eine bestimmte Fassade zu ermitteln. Der resultierende Wert ist ausreichend genau und etwas höher als der genaue Wert, um einen Puffer mit einzubeziehen.

Der Gain-Faktor oder auch Leuchtdichtefaktor beschreibt das Verhältnis von der einfallenden Lichtmenge zur reflektierten Lichtmenge zurück zur Quelle auf einer bestimmten Fläche. Leinwände für verschiedene Anwendungen haben üblicherweise einen Gain-Faktor zwischen 0,7 und 2, wie in Kapitel 2.1.2 näher beschrieben. Weil keine Gain-Faktoren für Fassaden bekannt sind und diese aufwändig zu ermitteln wären, kann für eine Fassadenprojektion zur Vereinfachung anhand der Farbe der Fassade der Faktor geschätzt werden:

Sehr dunkel: Gain < 1; Hell: Gain = 1; Sehr hell: Gain > 1

Üblicherweise wird ein Gain-Faktor von 1 angenommen⁶⁹, außer es wird auf eine besonders dunkle oder besonders reflektierende Fassade projiziert.

⁶⁸ Vgl. Maniello, D. (2015): *Augmented reality in public spaces*, Brienza: Le Penseur, S. 200.

⁶⁹ Ebda.

Die Formel lautet:

$$AL = \frac{(A \cdot K)}{Gain} + Y(1,2,3)$$

AL: ANSI-Lumen des Projektors

A: Fläche der beleuchteten Fassade

K: Der Koeffizient K beträgt immer 40 und wurde von den Erstellern der Formel festgelegt

Y: Der Wert für Y beschreibt den Einfluss des Umgebungslichts in Lumen, es wird also vereinfacht als Lichtquelle angenommen. Für Y sind folgende Werte zu wählen:

Y1= 1000/2000 für schwaches Umgebungslicht

Y2= 3000/4000 für mäßiges Umgebungslicht

Y3= 5000/6000 für starkes Umgebungslicht

Ein Rechenbeispiel:

Betrachtet wird eine weiße Fassade, die 16 Meter breit und 9 Meter hoch ist. Diese soll am Abend bei Dämmerung mit einem Projektor angeleuchtet werden. Der Y-Wert wird auf 4000 Lumen festgelegt. Somit lautet die Rechnung:

$$\frac{(16m \cdot 9m \cdot 40)}{1[Gain]} + 4000lm = 9760 \text{ ANSI-Lumen}$$

Es sollte nach dieser Berechnungsmethode für diese Fassade also ein Projektor mit mindestens 9760 ANSI-Lumen gewählt werden.

Wahl eines passenden Projektionsverhältnisses

Das Projektionsverhältnis bestimmt die Größe des projizierten Bildes in Abhängigkeit der Entfernung zur Projektionsfläche, wie bereits in Kapitel 3.1.1.6 beschrieben. Wenn die Position des Projektors beliebig gewählt werden kann, also der Abstand zur Projektionsfläche variabel ist, kann mit einem bereits vorhandenem bzw. nach dem Lichtstrom gewählten Projektor die Entfernung mit dem vorhandenen Projektionsverhältnis festgelegt werden. Ein Rechenbeispiel für einen Projektor mit einem Projektionsverhältnis von 1,8:1 und der obigen Fassade mit einer Breite von 16 Metern:

$$1,8 [throw\ ratio] = \frac{x [Entfernung]}{16m [Bildbreite]} \rightarrow \text{Umgestellt nach x: } 1,8 \cdot 16m = 28,8m$$

In diesem Fall müsste der Projektor in einer Entfernung von 28,8 Metern aufgestellt werden, um die gesamte Breite der Fassade zu erfassen. Höherwertigere Projektoren bieten oftmals ein Zoom-fähiges Objektiv bzw. eine Vielzahl von Wechselobjektiven⁷⁰, was eine im bestimmten Rahmen variable Entfernung des Projektors zulässt. Sollte die Position des Projektors von vornherein festgelegt sein, kann mit der obigen Formel das nötige Projektionsverhältnis berechnet werden, um den passenden Projektor auszuwählen.

Wahl der Auflösung bzw. des Seitenverhältnisses

Nachdem der nötige Lichtstrom und das Projektionsverhältnis bzw. der Abstand des Projektors zur Projektionsfläche bestimmt wurde, kann die nötige Auflösung des Projektors gewählt werden. Die Relevanz des Seitenverhältnisses der Projektionsfläche in Verbindung mit dem Seitenverhältnis des Projektors ist in Kapitel 2.1.1 beschrieben, so ist ein Seitenverhältnis zu wählen, welches die gesamte Fassade bespielen kann (bzw. zusammengesetztes Seitenverhältnis bei mehreren Projektoren). Die Auflösung bzw. die Anzahl der dargestellten Pixel sind relevant für die Bildqualität der gesamten Projektion. Mit Hilfe der Berechnung der Pixeldichte kann abgeschätzt werden, welche Auflösung für die Größe der Projektionswand ausreichend ist, wie in Kapitel 3.1.1.4 beschrieben ist.

3.1.2 Medienserver

Bei einem Medienserver handelt es sich um einen für den Gebrauch fertig konfigurierten Computer, welcher in der Lage ist mehrere Anzeigen gleichzeitig zu bespielen. Dieser Computer beinhaltet die nötige Hard- und ggf. Software, um Abfolgen aus verschiedenen Videoinhalten zu erstellen, diese anzusteuern und eine Ausgabekorrektur durchzuführen. Die Videoausgänge sind dabei für jedes Einzelbild synchronisiert, sodass ein sicherer Betrieb für mehrere Anzeigegeräte gleichzeitig erfolgen kann. Es handelt sich dabei um ein Echtzeitsystem, welches für die Verarbeitung der Bildsignale wenig Latenz aufweist. Des Weiteren bietet ein Medienserver diverse weitere Medienschnittstellen wie beispielsweise für live-Kamera, Audio, Sequenzer, MIDI oder Lichtsteuerung via DMX. Videosignale können via VGA, DVI, HDMI, SDI oder auch über optische Ausgänge ausgegeben werden. Die Konfiguration ist dabei

⁷⁰ Vgl. barco.com, Produktseite UDX-4K32, <https://www.barco.com/en/product/udx-4k32>, abgerufen am 10.07.2021.

herstellerabhängig und kann je nach Bedarf beispielsweise bis zu zehn Videoausgänge beinhalten, was eine Show mit dieser Anzahl an Projektoren ermöglicht.⁷¹

Medienserver können für bestimmte Software optimiert sein, um eine optimale Performance zu gewährleisten, beispielsweise ist für die Software MXWendler Stage Designer der hausinterne Medienserver FXServer verfügbar.⁷² Medienserver können für den Einbau in ein 19-Zoll-Rack gestaltet werden und sind in einem entsprechenden Gehäuse verfügbar, was das Kabelmanagement und die Bedienbarkeit erleichtern kann.

Für eine Projektion in kleinerem Rahmen mit einem bis zwei Projektoren ist nicht zwingend ein Medienserver notwendig. Hierfür kann ein PC oder Mac mit einer Grafikkarte mit zwei Ausgängen ausreichend sein. Des Weiteren kann für längerfristige Projektionen optional anstatt eines vollwertigen PCs oder Laptops ein handlicher Mediaplayer oder Mini-Rechner verwendet werden, wenn zuvor in der Projektions- bzw. Modellierungssoftware die nötigen Einstellungen und Korrekturen für die Inhalte durchgeführt wurden. Dann können jedoch bei Nutzung eines Mediaplayers ohne Display keine weiteren Anpassungen mehr durchgeführt werden und der Projektor darf nicht mehr bewegt werden, weil die Anpassungen an die Projektionsfläche dann erneut durchgeführt werden müssten.

3.1.3 Videoschnittstellen

Für die Verbindung zwischen einem Medienserver bzw. PC und der Projektoren sind Verbindungskabel notwendig. Die Art der nötigen Verbindungskabel hängt von den vorhandenen Videoschnittstellen an den Projektoren, den Schnittstellen am Medienserver, den Entfernungen zwischen den Geräten sowie von der Auflösung bzw. der Datenrate und des Kompressionscodecs der Projektionsinhalte ab. Insbesondere bei Fassadenprojektionen kann es vorkommen, dass längere Distanzen mit Verbindungskabeln überbrückt werden müssen, weil die Projektoren nicht in unmittelbarer Nähe des Medienservers aufgestellt werden können oder sollen.

Im Folgenden sind kurze Erklärungen und Angaben von maximalen Kabellängen und Datenübertragungsraten bzw. Limitierungen zu den jeweiligen Medienschnittstellen, die für Projektionsanwendungen infrage kommen, aufgeführt. Professionelle Projektoren besitzen oftmals

⁷¹ Vgl. MXWendler.net, Produktseite *FXServer*, <https://www.mxwendler.net/de/product/mediaserver.html>, abgerufen am 12.05.2021.

⁷² Ebda.

einige oder alle der im Folgenden genannten Schnittstellen. Siehe auch das Beispieldatenblatt zum Projektor Barco UDX-4K32 im Anhang.

3.1.3.1 Videoübertragung für Kurzstrecken

DVI

DVI steht für „Digital Video Interface“, gilt als Vorgänger-Format von HDMI und wird vorwie-

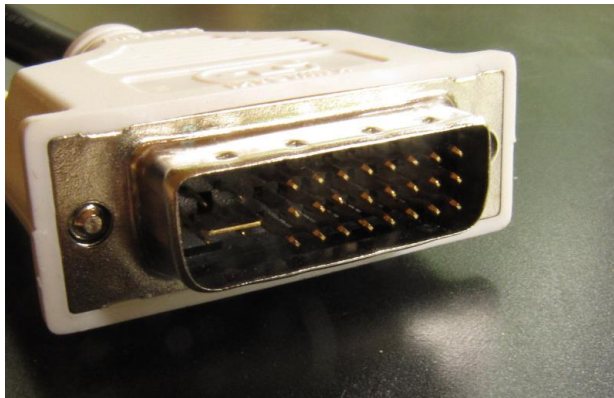


Abbildung 32: DVI-Stecker (Dual Link)

Foto: Hartmut Krummrei

Quelle: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DVI-Stecker.JPG>

gend bei Übertragungen zwischen PCs bzw. Grafikkarten und Bildschirmen oder Projektoren verwendet. Es überträgt keine Audiosignale, kann aber analoge Videosignale im VGA-Standard übertragen. Die DVI-Schnittstelle gibt es in den Ausführungen Single Link und Dual Link. Single Link besitzt eine maximale Datenrate von 3,72 Gbit/s und kann maximal eine Auflösung von 1920 x 1200 bei einer Bildwiederholfrequenz von

60 Hz übertragen. Die Dual Link Ausführung kann maximal 7,44 Gbit/s bei einer Auflösung von 2560 x 1600 und 60 Hz übertragen. Abhängig von der Auflösung und somit der Datenrate, liegt die maximale Kabellänge zwischen 5 und 15 Metern.⁷³

HDMI

HDMI steht für „High Definition Multimedia Interface“ und ist ein lizenzbehafteter, weit ver-



Abbildung 33: HDMI-Stecker

Foto: Nutzer/in D-Kuru,

Quelle:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HDMI_connector-male-ar_5to4-fs_PNr%C2%B00270.jpg

breiteter Schnittstellen-Standard für Endverbrauchergeräte im privaten aber auch professionellen Bereich, wie Fernseher, Monitore und Projektoren. Es überträgt ausschließlich digitale Signale und zusätzlich Audiokanäle. Je nach HDMI-Version unterscheiden sich die maximalen Datenübertragungsraten. Mit der Version HDMI 2.0 (2013 veröffentlicht) sind 18 Gbit/s sowie eine Auflösung von mit 3840 x 2160 Pixeln (4K /

⁷³ Vgl. Ebner, M. (2019): *Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S. 54-56.

UHD) bei 60 Hz übertragbar.⁷⁴ Mit HDMI sind Kabellängen bis 15 Meter möglich, ebenfalls abhängig von der Datenrate bzw. Auflösung. Höherwertigere Kabel können mit neueren Technologien Strecken von bis zu 40 Metern überbrücken, auf dem Markt existieren auch optische Hybridkabel, die Signale über Distanzen von bis zu 100 Metern verlustfrei übertragen können.⁷⁵

DP

DP steht für „DisplayPort“ und ist ein durch die VESA (Video Electronics Standards Association)



Abbildung 34: DP-Stecker mit Verriegelung

Foto: Belkin / Nutzer/in Abisys

Quelle: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DisplayPort-rid.jpg>

genormter, lizenzfreier Verbindungsstandard für Übertragungen von Bild- und Tonsignalen, der als günstige Alternative zu HDMI eingesetzt wird. Über Adapter können auch HDMI-Signale an Anzeigen mit HDMI-Anschluss weitergeleitet werden. Der Stecker ist verriegelbar, eine Leitungslänge ist bis 15 Meter möglich, auch hier abhängig von der Datenrate. Mit der Version DP 2.0 (2019 veröffentlicht) ist eine

Datenrate von bis zu 77,3 Gbit/s möglich⁷⁶, diese ist jedoch zum Zeitpunkt des Erstellens dieser Arbeit noch nicht verbreitet. Mit der Version DP 1.3 (2014 veröffentlicht) sind Datenraten von bis zu 32,4 Gbit/s und eine Auflösung von 5K (5.120 x 2.880 Pixel) möglich.⁷⁷

⁷⁴ Vgl. Fa. Extron Electronics, *Handbuch für digitales Design*, 3. Ausgabe, <https://www.extron.de/article/digdesguidead>, Tabelle 3-8 / S. 17.

⁷⁵ Vgl. Reichelt.de, Produktseite *GC M0250 AOC Hybrid HDMI® 2.0 Kabel*, <https://www.reichelt.de/de/de/aoc-hybrid-hdmi-2-0-kabel-schwarz-100m-gc-m0250-p269110.html?r=1>, abgerufen am 25.07.2021

⁷⁶ Vgl. The Video Electronics Standards (VESA) (2019): *Vesa publishes displayport™ 2.0 video standard enabling support for beyond-8k resolutions, higher refresh rates for 4k/hdr and virtual reality applications*, <https://vesa.org/press/vesa-publishes-displayport-2-0-video-standard-enabling-support-for-beyond-8k-resolutions-higher-refresh-rates-for-4k-hdr-and-virtual-reality-applications/>, abgerufen am 10.07.2021.

⁷⁷ Vgl. Fa. Extron Electronics (2017): *Handbuch für digitales Design*, 3. Ausgabe, <https://www.extron.de/article/digdesguidead>, Tabelle 3-8 / S. 17.

3.1.3.2 Videoübertragung für Langstrecken

SDI

SDI steht für „Serial Digital Interface“. Die SDI-Schnittstelle dient zur seriellen Übertragung von



Abbildung 35: HD-SDI Koaxialkabel mit BNC-Stecker
Quelle: Produktanzeige auf <https://www.bpm-media.de/produkte/kabel/videokabel/bnc-kabel/bpm-video-kabeltrommel-hd-sdi-bnc-stecker/bnc-stecker-100-m/>

Video- und Audiodaten über Koaxialkabel und wird hauptsächlich bei Geräten für die professionelle Filmstudio- und Videoproduktion, Live-Veranstaltungen und weiteren professionellen Anwendungen verwendet, wie auch bei Projektionen mit professionellen Kino- oder Installationsprojektoren. Die Datenrate einer 3G-SDI Schnittstelle beträgt 2,97 Gbit/s, wobei die Übertragungsstrecke bis 100 Meter ohne weiteres Zubehör betragen kann. Die maximale Auflösung beträgt 2K (2560 x 1440 Pixel). Für höhere Auflösungen

wie UHD (3840 x 2160) wird die 6G-SDI, bzw. 12G-SDI Schnittstelle verwendet, die Bezeichnungen stehen für 5,94 Gbits/s bzw. 11,88 Gbits/s, bei diesen Schnittstellen spricht man auch von HD-SDI⁷⁸. SDI kann zum Übertragen von 4K/UHD-Signalen auch über vier Kabel/Pfade betrieben werden, wobei das gesamte Signal in Quadranten verarbeitet wird, mit bspw. einer Auflösung von jeweils 1920 x 1080.⁷⁹ Auch der vorher genannte Projektor Barco UDX-4K32 besitzt einen Quad-3G/12G-Input. Es ist möglich ein SDI-Signal mit zusätzlichem Zubehör zu Glasfaser zu konvertieren, was die Übertragungsdistanzen deutlich erhöhen kann (Herstellerabhängig).

⁷⁸ Vgl. Ebner, M. (2019): *Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S. 37-38.

⁷⁹ Vgl. Fa. Extron Electronics (2017): *Handbuch für digitales Design*, 3. Ausgabe, <https://www.extron.de/article/digdesguidead>, S. 8.

HDBaseT

HDBaseT ist ein Standard für die Übertragung hochauflösender Multimediainhalte. Die HDBa-



Abbildung 36: HDBaseT-Kabel

Quelle: Produktanzeige auf <https://www.reichelt.de/cat-6a-ultra-flex-patchkabel-hdbaset-15-m-schwarz-uf-cat6a-15-hd-p243832.html>

seT Alliance wurde im Jahr 2009 von einer Reihe namhafter AV-Elektronikhersteller gegründet. Dieser Übertragungsstandard zeichnet sich durch das sogenannte 5 Play-Konzept aus. Dieses Konzept beinhaltet die Übertragung von unkomprimierten Video- und Audiosignalen, bis zu 100 Mbit/s Ethernet, die Verarbeitung von USB- und Steuerungssignalen, sowie eine Stromversorgung bis zu 100 Watt.⁸⁰ Die Verbindungsleitungen sind dabei geschirmte Ethernet-Kabel, die maxi-

male Leitungslänge ist auf 100 Meter begrenzt. Die Datenrate ist dabei auf 10,2 Gbit/s begrenzt, Videoinhalte sind bis zu einer 4K Auflösung und je nach Farbunterabtastung, mit 30 Hz oder 60 Hz Bildwiederholrate möglich.

3.1.4 Zubehör

Für die Umsetzung von Projektionen ist, je nach spezifischem Anwendungsfall, zusätzliches Hardware-Zubehör nötig, welches teilweise bereits erwähnt und in diesem Kapitel zusammengefasst wird.

Wechselobjektive für Projektoren

Das Objektiv eines Projektors bestimmt das Projektionsverhältnis des Projektors und somit auch die Entfernung, in der dieser aufgestellt wird. Ein Projektor mit mehreren zur Verfügung stehenden Wechselobjektiven kann vorteilhaft sein, wenn im Projektionsbereich beengte Verhältnisse mit Hindernissen herrschen, die das Aufstellen von Projektoren im bevorzugten oder optimalen Bereich hinsichtlich der Entfernung erschweren. Insbesondere bei professionellen Geräten sind Wechselobjektive üblich und diese bieten eine zusätzliche Flexibilität bezüglich der Position des Projektors.

⁸⁰ Vgl. Whitepaper HDBaseT Alliance (2014): *single cablesolution provides 5play convergence for commercial installations*, <https://hdbaset.org/what-is-hdbaset/>, abgerufen am 12.07.2021.

Scanner

Scanner sind Werkzeuge aus der Vermessungstechnik im Bauwesen, können jedoch auch auf verschiedene andere Arten verwendet werden, wie auch als hilfreiche Werkzeuge zur Vermessung einer Fassade für eine Projektion. Sofern eine dreidimensionale Grundlage von einer Fassade oder eines detaillierten Objektes benötigt wird, kann ein solcher Scanner eingesetzt werden, um eine detailreiche und dreidimensionale Darstellung des Objekts zu erzeugen, welche anschließend mit weiterer Software bearbeitet werden kann. Scanner benötigen in manchen Fällen zusätzliche Software zur Auswertung der Daten.

Adapter / Extender / Repeater

Diese Kategorie bezieht sich auf die eingesetzten Kabel- und Anschlussarten für eine Projektion. Adapter sind nötig, wenn Medienschnittstellen zwischen einem Projektor und dem Medienserver nicht übereinstimmen, zum Beispiel HDMI auf DVI oder umgekehrt. Bei größeren zu überbrückenden Distanzen können auch Adapter bzw. Extender eingesetzt werden, wenn sonst die Distanz mit einer Kabel- bzw. Anschlussart nicht ausreichen würde, beispielsweise SDI auf optisches SDI. Bei speziellen Anwendungsfällen kann auch weiteres technisches Zubehör nötig sein, dieses ist dann aber projektabhängig und es existiert eine Vielzahl von Geräten die infrage kämen, daher ist eine Auflistung hier nicht zielführend.

3.2 Notwendige Arten von Software

Für die Umsetzung von Projektionen werden, je nach Komplexität und Anwendungsfall, verschiedene Arten von Software benötigt, welche im Folgenden vorgestellt und erläutert werden.

3.2.1 Projektionssoftware

Die Projektionssoftware ist die Software, die es ermöglicht die Projektionsinhalte vom Medienserver bzw. Rechner auszugeben. Sie sollte in der Lage sein, die Inhalte ohne störende Ränder der Benutzeroberfläche oder Ähnliches wiederzugeben, vergleichbar mit einer Präsentationssoftware. Mit dieser Software kann eine korrekte Darstellung der Projektionsinhalte erfolgen, indem das ausgegebene Bild an die Projektionsfläche angepasst wird. Je nach Software kann sie auch genutzt werden, um vor einer Show das projizierte Bild zu verändern und abzuspeichern oder auch in Echtzeit während einer Show die Projektion zu steuern und zu verändern, abhängig von der Art der Show und deren Anforderungen. Die Software wird

außerdem benötigt, um mehrere Videos oder Bilder gleichzeitig auf mehreren Anzeigen abzuspielen. Eine Projektionssoftware bietet eine graphische Benutzeroberfläche (engl. GUI, graphical user interface) zur Positionierung, Skalierung und Rotation der Projektionsinhalte, wobei auf den Pixel genau gearbeitet werden kann. Eine solche Software kann als Voraussetzung für eine passgenaue Projektion betrachtet werden. Beispiele für eine solche Software sind MXWendler Stage Designer des Entwicklers device+context oder Pixera des Entwicklers AVStumpfl. Eine Liste weiterer Möglichkeiten ist auf <http://projection-mapping.org/software/> (Stand 04.04.2021) zu finden. Sollte mehr als ein Projektor genutzt werden, muss beachtet werden, dass die zu nutzende Software auch mehrere Projektoren unterstützt.

Die verschiedene Projektionssoftware kann sich stark im Funktionsumfang unterscheiden, jedoch sollten einige grundlegende Funktionen für eine Umsetzung einer Projektion vorhanden sein, welche im Folgenden näher beschrieben werden.

Warping, Corner-Pin-Funktion

Die Corner-Pin-Funktion oder in manchen Programmen auch Keystone-Editor genannt, ermöglicht das sogenannte „Warpen“ der Bildausgabe, bzw. der einzelnen Video- oder Bildelemente. Diese Funktion ist grundlegend, weil mit Hilfe dieser die verschiedenen Elemente an die tatsächliche Projektionsfläche angepasst werden können. Die Trapezkorrektur wird ebenfalls mit dieser Funktion durchgeführt. Dies geschieht, indem am jeweiligen Projektionsinhalt, bzw. Element, welches zunächst rechteckig ist, „Griffe“ an den Ecken angezeigt werden, mit denen dann das Element in der gewünschten Art verzerrt werden kann. Dies geschieht in Echtzeit, während einerseits auf der Benutzeroberfläche des Programms auf dem Monitor die Elemente verzerrt werden und andererseits, die Ausgabe auf der Projektionsfläche betrachtet wird und die Elemente in die korrekte Position gebracht werden. So können Inhalte, welche aufgrund des Projektionswinkels trapezförmig dargestellt sein würden, wieder entzerrt werden, so dass eine korrekte Darstellung auf der Projektionsfläche erreicht wird. Es können beispielsweise rechteckige Inhalte auf ein dreidimensionales Objekt wie einen Würfel projiziert werden, ohne dass stärkere Verzerrungen sichtbar werden. Zur Überprüfung, ob Verzerrungen auftreten und an welchen Stellen Korrekturen durchgeführt werden müssen, kann ein Prüf- bzw. Referenzmuster auf die Projektionsfläche projiziert werden, welches in der Originaldarstellung gleich große Felder beinhaltet. Bereits mit bloßem Auge können so eventuelle Verzerrungen sichtbar sein,

weiterhin können die einzelnen Felder auf der Projektionsfläche gemessen und somit ermittelt werden, in welchen Bereichen Korrekturen notwendig sind.

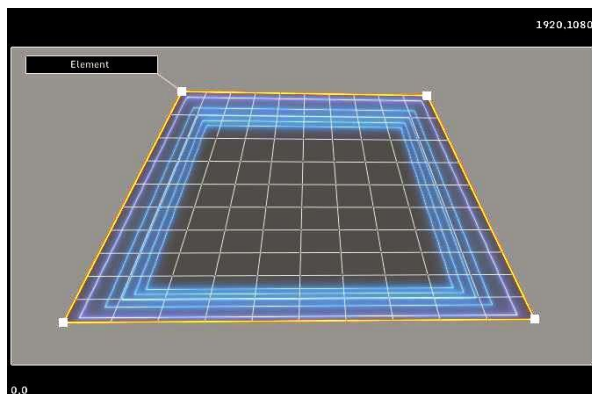


Abbildung 37: "Warpen" eines Elements mit der Software MXWendler Stage Designer 6.0
Quelle: Eigene Darstellung / Screenshot

A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11	A12	A13	A14	A15
B02	B03	B04	B05	B06	B07	B08	B09	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16
C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17
D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18
E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19
F06	F07	F08	F09	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16	F17	F18	F19	F20
G07	G08	G09	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	G19	G20	G21
H08	H09	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22

Abbildung 38: Beispiel für ein Prüfmuster
Quelle: Ordner MXWendler Stage Designer 6.0

Mesh-Warp

Die Mesh-Warp-Funktion ist eine Erweiterung der oben genannten Warping-Funktion. Diese kann jedoch nicht nur die Grundform der Videoclips oder Bilder verändern, sondern kann auch für geringfügigere Ver- bzw. Entzerrungen geeignet sein. Hierbei wird ein Gitter bzw. Raster (engl. mesh) auf das zu bearbeitende Objekt gelegt, die Auflösung des Rasters kann je nach Software und Bedarf feiner oder gröber eingestellt werden. Innerhalb des Rasters werden dann Punkte bzw. Griffe angezeigt, welche es ermöglichen, die jeweiligen Eckpunkte zu verschieben und damit das ausgegebene Bild nur an bestimmten Stellen zu verzerren. Diese Funktion kann auch dafür verwendet werden, um Inhalte an eine unregelmäßig geformte Fläche mit beispielsweise Kurven, anzupassen.

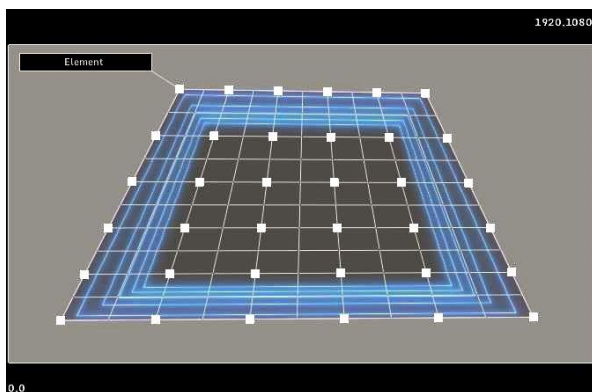


Abbildung 39: Beispiel für die "mesh warp"-Funktion mit MXWendler Stage Designer
Quelle: Eigene Darstellung / Screenshot

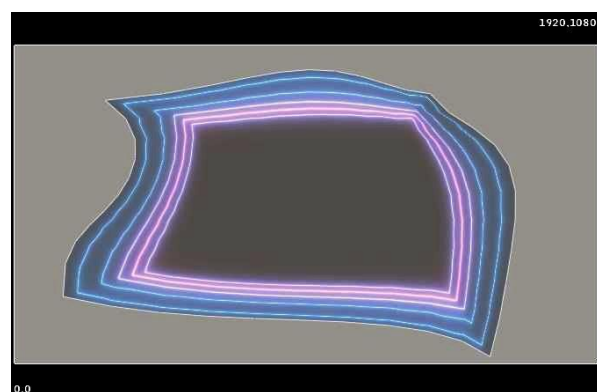


Abbildung 40: Beispiel für eine mögliche Ver- bzw. Entzerrung mit Hilfe von "mesh warp" im MXWendler Stage Designer
Quelle: Eigene Darstellung / Screenshot

Edge-blending

Die edge-blending-Funktion (engl. edge für Kante und blending für Mischen/Mischung) bietet den Nutzenden die Möglichkeit, weiche Kantenübergänge zwischen den Bildausgaben von mehreren Projektoren zu generieren, aber auch Übergänge zwischen verschiedenen

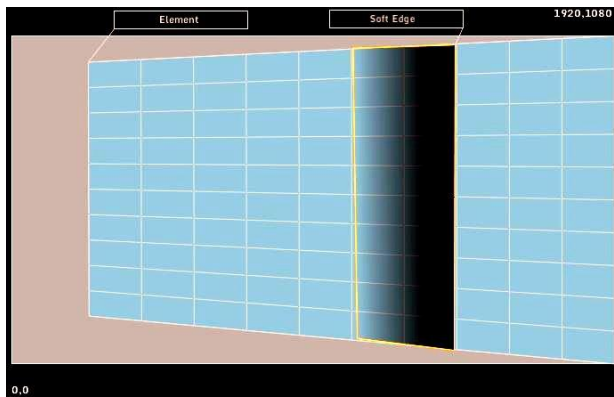


Abbildung 41: Beispiel für ein softedge-Element mit MXWendler Stage Designer

Quelle: Eigene Darstellung / Screenshot

Projektionsinhalten. Bei einer Projektion, welche beispielsweise mit zwei Projektoren realisiert werden soll, wird ein Überlappungsbereich zwischen den beiden Projektoren von beispielsweise 10% festgelegt. Dieser Wert ist jedoch abhängig von der Projektorkonstellation. In diesem Bereich ist die Helligkeit des resultierenden Bildes höher als in den anderen Bereichen, weil dieser von beiden Projektoren erfasst

wird. Dies ist deutlich sichtbar und meist unerwünscht. Mit der edge-blending-Funktion kann dieses Problem gelöst werden, indem innerhalb der Benutzeroberfläche der Software soft-edge-Elemente hinzugefügt und auf den gewünschten Bereich gelegt werden. Diese Elemente bestehen aus einer Abstufung von transparent zu schwarz, wodurch je nach Anordnung der Elemente die Helligkeit in bestimmten Bereichen verringert werden kann, ohne dass es zu Beeinträchtigungen des Gesamtbildes kommt. So kann also ermöglicht werden, dass die Ausgaben von zwei Projektoren nahtlos und unsichtbar ineinander übergehen. Es ist jedoch nicht immer nötig weiche Übergänge zwischen den Projektionsbildern zu schaffen, wenn die Geometrie der Projektionsfläche beispielsweise harte Übergänge bereits vorgibt, wie klare Abgrenzungen von verschiedenen Elementen einer Fassade.

Abdunkeln von ungenutzten Bereichen

Eine weitere wichtige Funktion einer Projektionssoftware ist die Möglichkeit ungenutzte Bereiche abzudunkeln. Dies ist sinnvoll, wenn über die Projektionsfläche oder -objekte hinaus projiziert wird, weil das Seitenverhältnis des Projektors mit dem Seitenverhältnis der Projektionsfläche nicht übereinstimmt und es nicht möglich ist, das Projektionsbild exakt an die Projektionsfläche anzupassen. Innerhalb der Software kann die Funktion je nach Entwickler unterschiedlich umgesetzt sein. Beispielsweise ist es möglich in mancher Software

schwarze Polygone zu erstellen, welche in der Form beliebig angepasst werden können und somit gezielt Flächen abzudunkeln. Eine andere Methode ist manche Flächen innerhalb der Software mit schwarzer Farbe zu „bemalen“. Das Abdunkeln geschieht in Echtzeit und vor Ort, weil erst dort die abzudunkelnden Flächen ersichtlich werden.

Anpassen des Seitenverhältnisses

Wenn ein verzerrungsempfindlicher Inhalt vorliegt, der nicht das passende Seitenverhältnis zur Projektionsfläche besitzt, dieser aber vollflächig dargestellt werden soll, treten Stauchungen bzw. Streckungen des Inhalts auf. Eine hilfreiche Funktion für diesen Fall ist die Möglichkeit das Seitenverhältnis zu verändern, welche bei mancher Projektionssoftware integriert ist, zum Beispiel bei MXWendler Stage Designer 6.0.

3.2.2 3D-Grafiksoftware

Eine 3D-Grafiksoftware wird für das Erstellen von Inhalten für die Projektion benötigt. Mit einer 3D-Grafiksoftware können Künstlerinnen und Künstler zum Beispiel dreidimensionale Szenen modellieren, Animationen erstellen und Bilder und Videos aus diesen Szenen rendern.

Für das Erstellen von beispielsweise Animationen auf einer Gebäudefassade, muss zunächst eine Grundlage erstellt werden. Diese kann mit Hilfe eines Fotos oder CAD-Software geschaffen werden. Für Näheres zur Aufbereitung eines Modells zur Erstellung von Projektionsinhalten siehe das folgende Kapitel 3.3. Die Foto-Grundlage bzw. dreidimensionale Modell der Fassade wird in der Grafiksoftware importiert und kann dann bearbeitet werden, die Art und Weise des Erstellens der Inhalte ist dabei der Künstlerin bzw. dem Künstler überlassen. Die dreidimensionale Fassade kann mit Texturen, Clips, selbstgezeichneten Elementen, Bildern oder beliebigen anderen Arten der Modellbearbeitung versehen werden. Die bestehenden Elemente aus der Grundlage können auch animiert oder anderweitig bearbeitet werden, ohne zusätzliche Inhalte hinzuzufügen, was während der Projektion Illusionen und optische Täuschungen erzeugen kann.

Die mit der Grafiksoftware erzeugten Videoclips oder Bilder werden als separate Dateien gespeichert, hierbei muss die Auflösung und das Seitenverhältnis beachtet werden, sodass die erstellte Datei der Auflösung der Projektoren bzw. des Projektors entspricht. Des Weiteren muss die Perspektive der erzeugten Inhalte entsprechend der Projektionsperspektive sein, also beispielsweise auf eine Frontalansicht eingestellt sein, sofern die Projektion aus einer Frontalperspektive erfolgen soll. Es muss außerdem sichergestellt sein, dass die Art der

erzeugten Dateien auch kompatibel mit der Projektionssoftware ist, um diese dann korrekt darzustellen. Beispiele für solche 3D-Grafiksoftware sind Autodesk 3ds Max (kostenpflichtig) oder Blender (open-source und kostenfrei).

3.2.3 CAD-Software

Eine CAD-Software (engl. CAD – Computer Aided Design) wird nicht zwangsweise zur Umsetzung von Projektionen benötigt, jedoch zur Vorbereitung des Projekts. Mit Hilfe von CAD-Software kann ein 3D-Modell oder eine orthogonale Ansicht einer Fassade oder eines anderen Objekts angefertigt werden, welches dann in der 3D-Grafiksoftware zur Erstellung von Inhalten importiert werden kann.

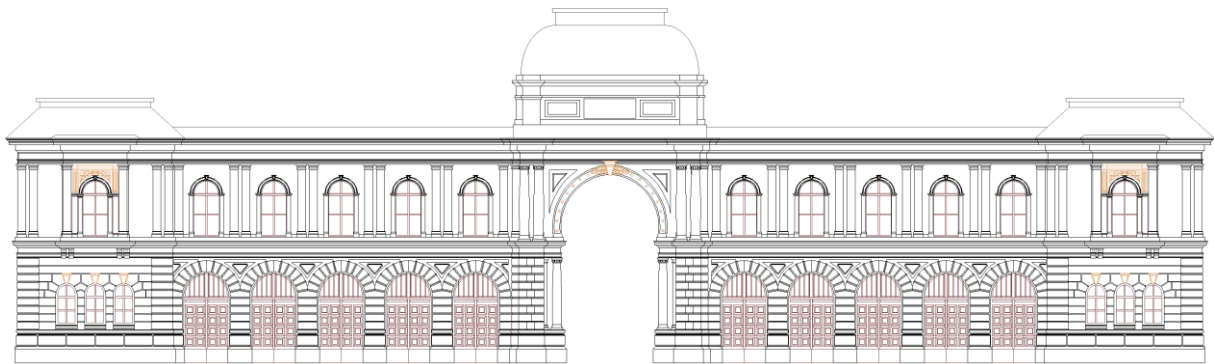


Abbildung 42: 2D-Zeichnung einer Fassade, orthogonale Ansicht, erstellt mit CAD-Software

Motiv: Marstall Weimar

Quelle: Zeichnung zur Verfügung gestellt von device+context

Um ein Modell von einer bestimmten Gebäudefassade zu erstellen, müssen die Abmessungen dieser bekannt sein. Diese können vom lokalen Bauamt oder technischen Büro eingeholt oder gemessen werden. Das direkte Messen der Gebäudefassade kann mit verschiedenen Mitteln durchgeführt werden, beispielsweise analog mit Maßbändern und Messrädern oder digital mit Laser-Entfernungsmessern. Aus den Messungen können dann mit Hilfe von CAD-Software maßstabsgetreue 3D-Zeichnungen der Fassade angefertigt werden. Um einen Gegenstand zu nutzen, kann dieser bei bekannten Maßen nachgezeichnet werden oder, bei komplexeren Geometrien, eine Photogrammetrie oder Scan verwendet werden, was im Kapitel 3.3.2.2 beschrieben ist. Bei einer frontalen Projektion kann es ausreichend sein, eine zweidimensionale, orthogonale Ansicht der Fassade bzw. des Objekts zu erstellen, wobei die Konturen hervorgehoben sind. Auch hierfür ist CAD-Software nötig, um die Fassade maßstäblich nachzuzeichnen.

CAD-Software kann auch genutzt werden, um eine graphische Übersicht der technischen Positionen zu gestalten oder für das Anfertigen eines geographischen Geländeplans für den Bereich der Projektion.

3.2.4 Bildbearbeitungssoftware

Eine Bildbearbeitungssoftware ist nur nötig, sofern die Grundlage für das Erstellen von Inhalten auf einem Foto basiert. Das Erstellen einer solchen Grundlage ist im folgenden Kapitel 3.3.1 genauer beschrieben. Mit der Bildbearbeitungssoftware kann das Foto auf das nötige Format zugeschnitten und nicht benötigte Bereiche des Fotos herausgeschnitten werden. Des Weiteren kann mit einer solchen Software eine Rektifizierung des Bildes durchgeführt werden, was die Proportionen im Foto wiederherstellt, welche aufgrund von einer Kameraneigung entstanden sind. Dieser Schritt ist nötig, um eine orthogonale, frontale Ansicht des Objekts oder der Fassade aus einem Foto zu erschaffen, welche dann als Grundlage für Inhalte genutzt wird. Beispiele für solche Software sind Adobe Photoshop (kostenpflichtig) oder GIMP (kostenfrei).

3.3 Aufbereitung einer Grundlage zur Erstellung von Projektionsinhalten

Sofern es sich nicht um eine plane Projektionsfläche, sondern ein dreidimensionales Objekt oder eine Gebäudefassade handelt, kann es notwendig sein, eine Grundlage für das Erstellen von angepassten Inhalten für das spezifische Objekt zu schaffen. Im Folgenden sind zwei Möglichkeiten zur Aufbereitung einer Grundlage dargestellt, wobei eine auf einer Fotografie und eine auf einem digitalen Modell basiert.

3.3.1 Foto als Grundlage zur Erstellung von Inhalten

Für ein kleineres Objekt bzw. Projektionsfläche, welche/s etwa die Größe eines durchschnittlichen Raumes nicht überschreitet und bei der Nutzung von nur einem Projektor, kann ein Foto in guter Qualität aus der Perspektive des Projektors ausreichend sein, um Projektionsinhalte zu erstellen. Hierfür wird zunächst der Projektor auf der gewünschten Position aufgestellt und darf danach nicht mehr bewegt werden. Es wird ein Foto aufgenommen, indem die Kamera direkt vor oder über die Linse des Projektors gesetzt wird, um den „Blickwinkel“ des Projektors zu simulieren. Das entstandene Bild kann dann mit Bildbearbeitungssoftware, beispielsweise Adobe Photoshop oder GIMP bearbeitet werden, sodass nur das gewünschte Motiv sichtbar ist. Dieses bearbeitete Bild kann anschließend in eine Animationssoftware importiert werden, beispielsweise in Adobe After Effects oder Blender und als Grundlage für Inhalte genutzt werden. Die erstellten Inhalte sind dann bereits an die Perspektive des

Projektors angepasst und befinden sich aus dessen „Sicht“ in einer korrekten Ausrichtung⁸¹, sodass im Optimalfall nur noch geringe Anpassungen mit der Projektionssoftware erfolgen müssen.

Diese Methode zur Erstellung einer Grundlage für Projektionsinhalte ist auch für größere Objekte bzw. Gebäudefassaden geeignet, jedoch müssen zusätzliche Aspekte beachtet werden, die in den folgenden Kapiteln beschrieben werden. Der erste Schritt ist, ähnlich wie zuvor, sich auf die vorher festgelegte Position des Projektors zu begeben, um das Foto zu erstellen. Des Weiteren sind einige Kenntnisse von Bildbearbeitungssoftware erforderlich. Diese sollten mindestens das Skalieren und Zuschneiden eines Fotos sowie das Reproportionieren bzw. Entzerren (Rektifizieren) des Motivs umfassen.⁸²

3.3.1.1 Aufnahme des Fotos

Bei der Aufnahme eines Fotos ist zu beachten, dass das Foto frontal und orthogonal zur Mitte des Motivs aufgenommen wird, auch weil der Projektor später frontal und orthogonal zur Projektionsfläche positioniert sein sollte. Das Ziel bei dieser Methode ist es, eine unverzerrte, realitätstreue Vorlage zu erschaffen.

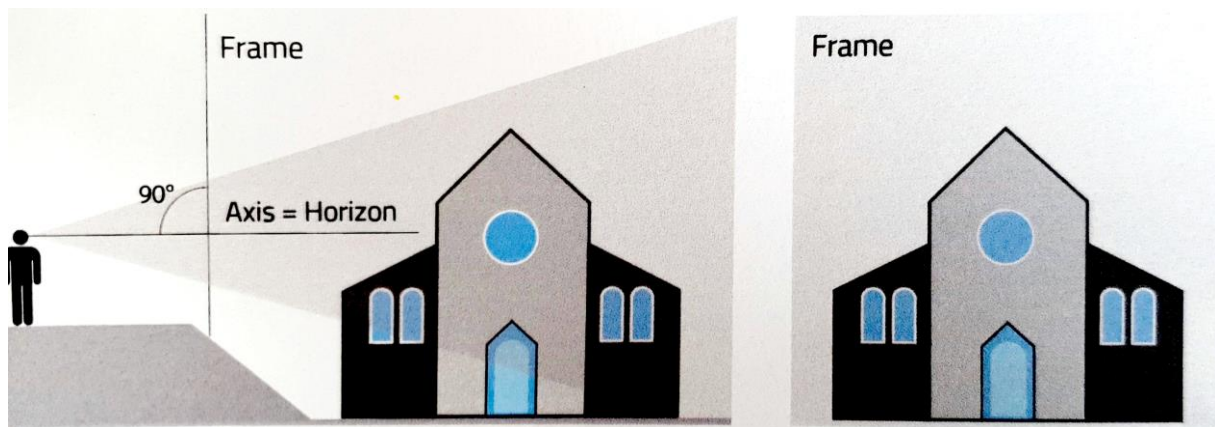


Abbildung 43: Beispiel für eine korrekte Aufnahme des Fotos ohne Neigung der Kamera

Quelle: Maniello, D. (2015), *Augmented reality in public spaces*. Brienza: Le Penseur, Fig. IX. 11 / S. 221

Wenn ein größeres Motiv wie eine Gebäudefassade vom Boden aus fotografiert wird, entsteht, je nach Entfernung zum Motiv, eine Neigung bzw. ein Kippen der Kamera und somit auch Neigungen des Bildes, welche ähnlich dem Trapez-Effekt bei einem Projektor sind. In diesem Fall bedeutet es, dass die fotografierte Fassade nicht proportional dargestellt wird, siehe hierzu Abb. 44. In der Realität parallele Linien bzw. Elemente einer Fassade verlaufen auf dem entstandenen Foto nicht parallel und sind verzerrt. Gleiches gilt für das Fotografieren

⁸¹ Vgl. Maniello, D. (2015), *Augmented reality in public spaces*, Brienza: Le Penseur, S. 62.

⁸² Ebda., S. 220.

von oberhalb der Mitte der Fassade, beispielsweise von einem Hügel aus. In diesem Fall ist das Motiv in die andere Richtung geneigt. Es ist also zu vermeiden, dass die Kamera geneigt wird, was erreicht werden kann, wenn sich die fotografierende Person auf einer erhöhten Position befindet, welche etwa so hoch ist, wie die Mitte der Gebäudefassade. Wenn keine derartige Position möglich ist, müssen mit Bildbearbeitungssoftware Korrekturen bezüglich der Proportionen des Fotos durchgeführt werden.

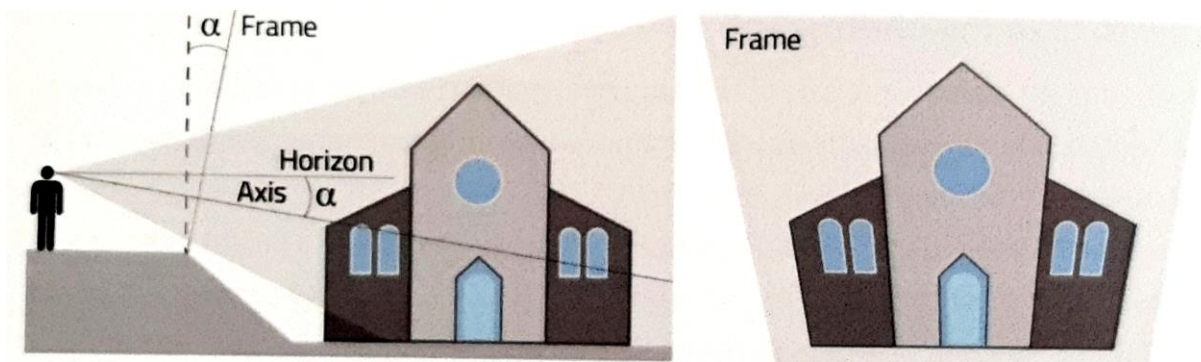


Figure IX.12

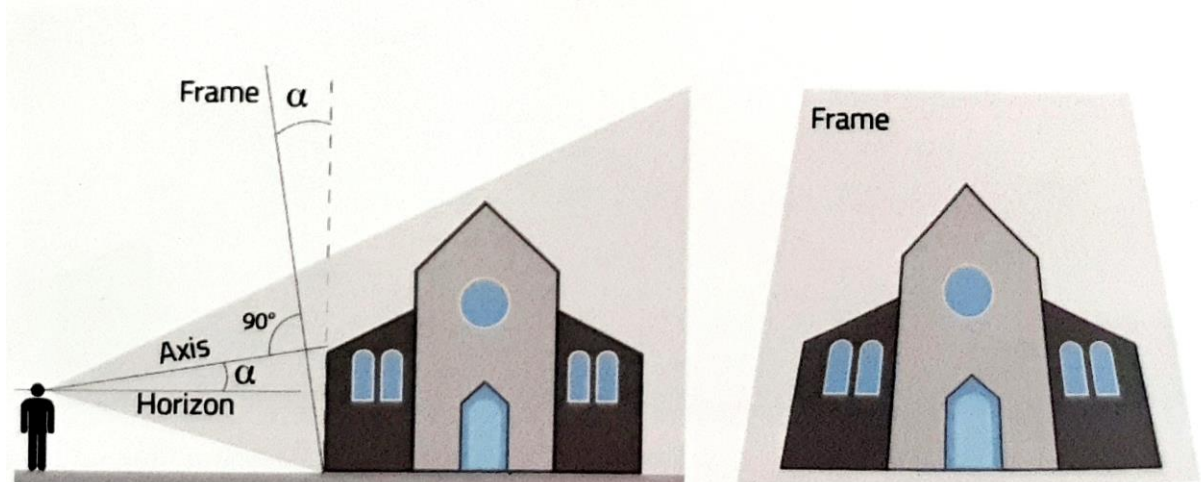


Abbildung 44: Resultierendes Bild aufgrund von Neigung der Kamera. Hierbei wären Korrekturen notwendig
 Quelle: Maniello, D. (2015), *Augmented reality in public spaces*. Brienza: Le Penseur, Fig. IX. 12 & Fig. IX 13 / S. 222

3.3.1.2 Skalieren des Fotos

Nachdem das Foto aufgenommen wurde, kann es mit Bildbearbeitungssoftware skaliert werden, damit es mit dem Seitenverhältnis der gesamten Projektion übereinstimmt. Hierfür wird das Seitenverhältnis und die Auflösung des Fotos in der Software pixelgenau an die gesamte Projektion angepasst und anschließend nicht benötigte Elemente herausgeschnitten.

3.3.1.3 Rektifizierung des Fotos

Das Verfahren zur Korrektur optischer Fehler aufgrund des Kameraobjektivs und der Neigung der Kameraachse wird als Bild-Rektifizierung bezeichnet. Es besteht darin, die vertikalen und horizontalen Linien zurück in eine parallele Position zu bringen und das Bild so zu korrigieren,

dass alle Elemente des Bildes wieder in einer korrekten Proportion dargestellt sind.⁸³ Manche Bildbearbeitungssoftware hat diese Funktion bereits integriert, beispielsweise GIMP oder Adobe Photoshop, es gibt jedoch auch spezielle Software zu diesem Zweck, beispielsweise XYRectify vom Entwickler Photometrix. Je nach Software können sich die Methodik und die Arbeitsschritte unterscheiden. Um das gewählte Motiv in korrekte Proportionen zu bringen, können dabei beispielsweise Längeneinheiten als eine bestimmte Anzahl von Pixeln definiert werden.



Abbildung 45: Beispiel für Rektifizierung: Ursprungsbild
 Quelle: Maniello, D. (2015), *Augmented reality in public spaces*. Brienza: Le Penseur, Fig. IX. 14 / S. 223

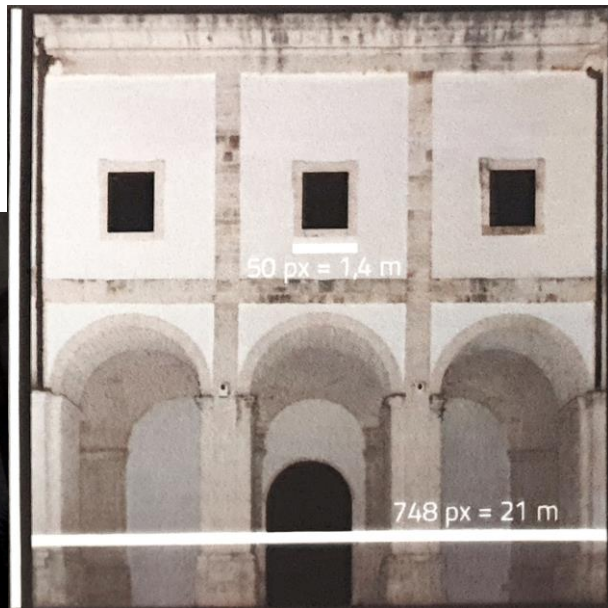


Abbildung 46: Beispiel für Rektifizierung: Resultat nach der Anpassung mit Software
 Quelle: Maniello, D. (2015), *Augmented reality in public spaces*. Brienza: Le Penseur, Fig. IX. 21 / S. 228 (Ausschnitt)

3.3.2 3D-Modell als Grundlage zur Erstellung von Inhalten

Zur Nutzung eines 3D-Modells für Projektionsinhalte muss dieses zunächst erstellt werden. Dieses kann gezeichnet, anhand eines Fotos nachmodelliert, mit Photogrammetrie oder einem Scan erstellt werden. Ein 3D-Modell kann genutzt werden, um Künstlerinnen und Künstlern eine bessere Übersicht und Vorstellung über das Objekt zu verschaffen. Mit einem 3D-Modell ist es auch möglich, direkt aus dem Modell in der Grafiksoftware eine frontale und orthogonale Ansicht zu erstellen. Es ist nicht immer zwingend nötig ein dreidimensionales Modell zu verwenden. In vielen Fällen wird frontal mit orthogonaler Aufstellung des Projektors projiziert. Schrägprojektionen sind aufgrund der negativen Effekte, die in Kapitel 2.3 beschrieben sind, ohnehin zu vermeiden. Im Gegensatz zu einer orthogonalen Zeichnung bzw. Darstellung des Objekts, kann ein 3D-Modell nützlich sein, um dreidimensionale Objekte aus

⁸³ Vgl. Maniello, D. (2015), *Augmented reality in public spaces*, Brienza: Le Penseur, S. 221

mehreren Richtungen gleichzeitig zu bespielen, wobei eine frontale, orthogonale Ansicht nicht ausreichen würde. Im Folgenden zwei Beispiele für 3D-Modelle einer Fassade.



Abbildung 47: Beispiel für ein 3D-Modell einer Fassade, dargestellt als Drahtkörper
Motiv: Notenbank Weimar
Quelle: Zeichnung zur Verfügung gestellt von device+context



Abbildung 48: Beispiel für ein 3D-Modell einer Fassade, dargestellt als 3D-Vollkörper
Motiv: Herderkirche Weimar, erstellt mit Blender
Quelle: Zeichnung zur Verfügung gestellt von device+context

3.3.2.1 Camera Matching und Nachmodellierung des Objekts

Die Methode in Kapitel 3.3.1 zur Nutzung eines Fotos als Grundlage für Inhalte kann auch dafür verwendet werden, das Foto als Grundlage für das Erstellen eines 3D-Modells zu nutzen. Hierfür ist es wichtig, die Kameraperspektive, aus der das Foto aufgenommen wurde, zu simu-

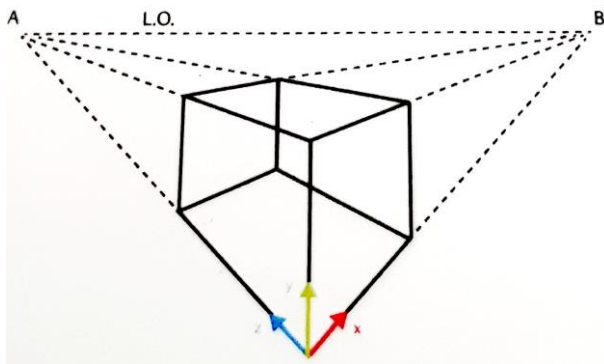


Abbildung 49: Beispiel zur Darstellung der Fluchtpunkte eines Körpers. Anhand solcher Fluchtpunkte und -linien wird die korrekte Position der virtuellen Kamera durch Software ermittelt. Quelle: Maniello, D. (2015), *Augmented reality in public spaces*. Brienza: Le Penseur, Fig. V.7 / S. 126

lieren. Manche 3D-Grafiksoftware hat eine solche Funktion bereits integriert, welche „camera matching“ oder „camera mapping“ genannt wird, beispielsweise die Software Cinema4D des Entwicklers Maxon.⁸⁴

Anhand der Definition der Achsen und Fluchtlinien im Foto kann die Software eine virtuelle Kamera setzen, die annähernd der realen Perspektive entspricht. Die genaue Vorgehensweise kann sich je nach Software

unterscheiden. Anschließend können dreidimensionale Elemente mit der Software modelliert und anhand des Fotos als Hintergrund eingefügt und in die richtige Position gebracht werden, das Motiv aus der Realität wird mit dieser Methode also schrittweise nachmodelliert und -gezeichnet. So kann aus einem Foto als Grundlage ein 3D-Modell als Grundlage geschaffen werden, welches dann weiterbearbeitet werden kann. Für Software, welche diese Funktion nicht integriert haben, zum Beispiel Blender, existiert externe Software mit welcher das camera matching durchgeführt werden kann. Anschließend kann die Datei in Blender übertragen werden, wo dann die Kamera automatisch korrekt gesetzt wird. Ein Beispiel für eine solche Software ist Fspy (kostenfrei).

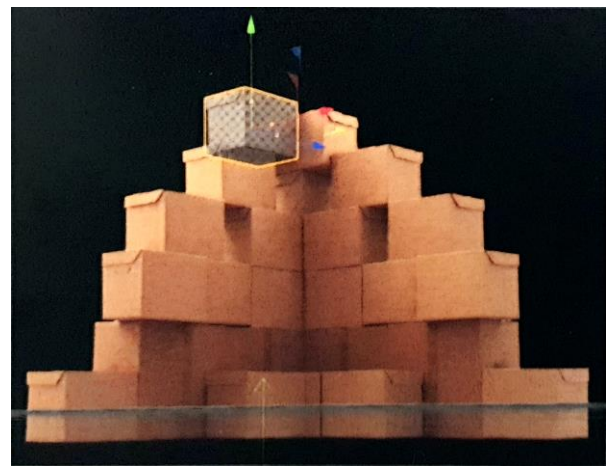


Abbildung 50: Beispiel für das Nachmodellieren einer Szene. Hierbei wurde die virtuelle Kamera an die Ausrichtung der echten Kamera angepasst. Erstellt mit Cinema4D. Quelle: Maniello, D. (2015), *Augmented reality in public spaces*. Brienza: Le Penseur, Fig. V. 14 / S. 130

⁸⁴ Vgl. Maniello, D. (2015), *Augmented reality in public spaces*, Brienza: Le Penseur, S. 121.

3.3.2.2 Photogrammetrie und Scannen von Objekten

Die Photogrammetrie bezeichnet laut dem digitalen Wörterbuch der deutschen Sprache ein „Verfahren für das Vermessen und Auswerten von Fotografien, um die räumliche Lage oder mehrdimensionale Form von Objekten oder (Ober)flächen zu bestimmen“⁸⁵ Bei dieser Methode wird mit Hilfe von Software eine Vielzahl von Fotos ausgewertet und auf Grundlage dieser ein 3D-Modell erstellt, welches sich dann mit weiterer Software wie 3D-Grafiksoftware nutzen lässt. Beispiel einer solchen Software ist „Meshroom“ vom Entwickler Alice Vision. Diese ist Open-Source basiert und kostenlos erhältlich. Eine professionelle und kostenpflichtige Software ist zum Beispiel ReCap Pro des Entwicklers Autodesk.

Ein Vorteil dieser Methode ist, dass diese auch Amateure nutzen können. Zu beachten ist hier, dass ausreichend Fotos vom Objekt aus unterschiedlichen Winkeln aufgenommen werden und das Objekt nicht von weiteren Objekten, wie im Wind wehenden Bäumen oder Zweigen, verdeckt wird. Das aus Fotos generierte 3D-Modell kann fehlerbehaftet und trotzdem brauchbar sein, auch mit Smartphones aufgenommene Fotos können genutzt werden. Beim Erstellen eines 3D-Modells mit dieser Methode kommt es weniger auf exakte Details an als auf die korrekten Seitenverhältnisse, Dimensionen und Tiefen des Objekts.⁸⁶

Eine weitere Möglichkeit ist, das Objekt mit einem digitalen Scanner, wie in Kapitel 3.1.4 erwähnt, zu scannen und daraus mit Hilfe von zugehöriger Software ein genaues 3D-Modell zu erstellen. Dies kann mit Scannern erfolgen, welche beispielsweise auf Baustellen zu Vermessungszwecken oder Ähnlichem eingesetzt werden.

3.3.2.3 Inhalte aus verschiedenen Perspektiven und virtuelle Kameras

Für die Ausgabe von Inhalten, die anhand von einem 3D-Modell erstellt wurden, können virtuelle Kameras innerhalb von 3D-Grafiksoftware gesetzt werden. Durch das Gleichsetzen der virtuellen Kamera mit der Ausgabe des Projektors werden die Inhalte vorverzerrt, ähnlich der Methode, bei der anhand eines Fotos die Grundlage für Inhalte geschaffen wird. Hierbei werden die Verzerrungen ebenfalls bereits berücksichtigt sind, weil das Foto aus der Perspektive des Projektors aufgenommen wurde. Mit der Nutzung eines 3D-Modells können mehrere virtuelle Kameras gesetzt und mehreren Projektoren zugeordnet werden. Wenn genau bekannt

⁸⁵ Siehe Digitales Wörterbuch der deutschen Sprache (o.A.), (o.D.): *Photogrammetrie*, <https://www.dwds.de/wb/Photogrammetrie>, abgerufen am 31.05.2021.

⁸⁶ Vgl. Luma Box auf Youtube.com, *House Projection Mapping Tutorial 2/5 Creating a Guide (2020)*, <https://youtu.be/VGPrRG-2I4>, Kanal Luma Box, abgerufen am 15.07.2021

ist, wo sich im Verhältnis zur Projektionsfläche die Projektoren befinden, können diese dann als Ausgabe genutzt werden. Der jeweilige Projektionsbereich der Projektoren wäre bezüglich der Entzerrung dabei bereits berücksichtigt und es müssten im Optimalfall nur noch wenige Korrekturen in der Projektionssoftware durchgeführt werden. Somit kann ein einzelnes 3D-Modell mit einem Verbund aus Projektoren für komplexere Projektionen genutzt werden, wobei jeder einzelne Projektor eine andere „Sicht“ auf das Modell hat.⁸⁷ Eine Voraussetzung für diese Methode ist jedoch, dass das 3D-Modell exakt mit der realen Projektionsfläche übereinstimmt.

Bei der Ausgabe der Projektionsinhalte ist auch der Blickwinkel der Zuschauerinnen und Zuschauer zu beachten. Alle Zuschauerinnen und Zuschauer befinden sich stets an einem anderen Ort, bewegen sich und haben jeweils unterschiedliche Betrachtungswinkel. Abhängig von den Projektionsinhalten und deren Gestaltung, können die Inhalte von einem anderen Blickwinkel als dem des Projektors anders und inkorrekt erscheinen. So könnte es sein, dass manche Flächen aus bestimmten Perspektiven nicht oder nur teilweise beleuchtet sind, ein Schattenwurf sichtbar wird oder beispielsweise Texte verzerrt sind. Dies kann während der Erstellung der Inhalte berücksichtigt werden, sofern mit einem 3D-Modell gearbeitet wird. Hier können virtuelle Kameras innerhalb der 3D-Grafiksoftware platziert werden, um zu erkennen und zu kontrollieren, wie das Motiv aus einer anderen Perspektive aussehen könnte, um so die unerwünschten Effekte zu reduzieren.

3.3.3 Erstellung von Inhalten

Sobald ein 3D-Modell oder orthogonale Ansicht verfügbar ist, kann dieses bzw. diese den Künstlerinnen und Künstlern zur Verfügung gestellt werden, welche dann mit Software und Methoden ihrer Wahl das 3D-Modell nutzen, um Animationen zu gestalten. Es kann dabei auch in der Grafiksoftware ein Lichtkegel simuliert werden, der dem des Projektors entspricht und somit verdeutlicht werden, welche Flächen vom Projektor erfasst werden.

Zusätzlich können Projektionsbereiche in einer Übersichtszeichnung verdeutlicht, Fotos zur Verfügung gestellt, sowie die zu nutzende Auflösung des Gesamtprojekts und die Videocodecs festgelegt werden, um Fehler und Ungenauigkeiten zu vermeiden. Eine passgenaue Grundlage ist für Künstlerinnen und Künstler von hohem Wert, weil diese sich möglicherweise nicht mit der technischen Umsetzung des Projekts beschäftigen, sondern lediglich mit der Erstellung

⁸⁷ Vgl. Greule, R. (2015), *Licht und Beleuchtung im Medienbereich*, München: Carl Hanser Verlag, S. 177-178.

von Inhalten und das Objekt womöglich nicht vor Ort betrachten können. Daher kann es wichtig sein, den Künstlerinnen und Künstlern so viele Informationen über das Projekt wie möglich zur Verfügung zu stellen. Zur Vereinfachung des „Mappings“ können Künstlerinnen und Künstler das Objekt in inhaltlich abgegrenzte Bereiche teilen und eine eigene Vorlage für das Objekt oder Fassade schaffen, welche dann während der Vorbereitung projiziert wird. Es wird so deutlicher, welche Bereiche noch einer Entzerrung bedürfen und ob die gesamte Projektion mit dem Objekt übereinstimmt. Diese Vorlage wird dann durch die eigentlichen Inhalte ersetzt und passen im Optimalfall ebenfalls exakt auf die Fassade.

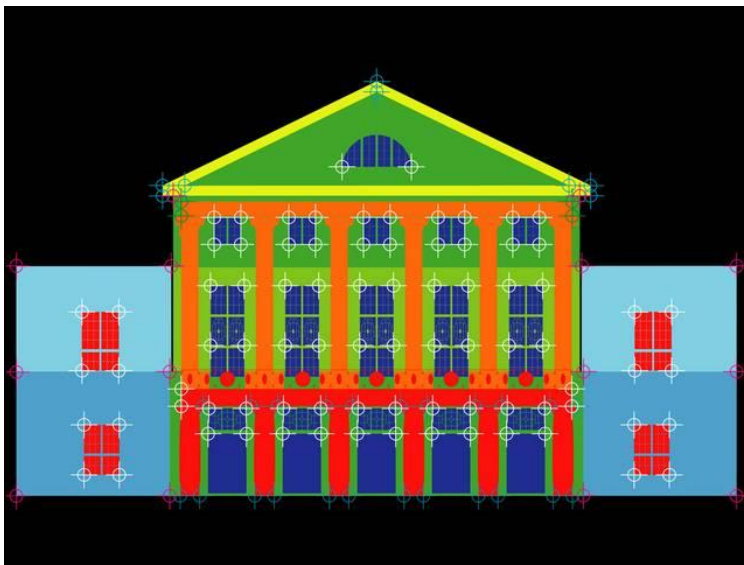


Abbildung 51: Von KünstlerInnen erstellte Vorlage zur Vereinfachung des Mappings beim Genius Loci Festival Weimar (2014)
Motiv: Deutsches Nationaltheater Weimar, bespielt von ruestungsschmie.de
Quelle: <https://www.mxwendler.net/case-studies/video-mapping/glw-2014-ruestungsschmiede-detail/>

3.3.4 Ausgabe der Projektionsinhalte

Für die Ausgabe der Projektion, ist zu beachten, dass die erstellten Inhalte vom Medienserver lesbar sind. Das erstellte Video muss dafür in einem entsprechenden Dateiformat erzeugt werden. Das Verwenden eines universell einsetzbaren Videoformats beziehungsweise -codecs erleichtert den Austausch zwischen Medienservern, stellt sicher, dass auch unterschiedliche Mediaplayer die Videos abspielen können und reduziert bei Verwendung eines Videocodecs mit effizienter Kompressionsmethode, wie dem h.264 Codec, die zu verarbeitenden Datenmengen.

Des Weiteren ist zu beachten, dass sofern ein einzelnes Video für die gesamte Projektionsfläche genutzt werden soll, das erstellte Video mit der Auflösung des zu nutzenden Projektors

übereinstimmt, also bei der Nutzung eines Full-HD 16:9-Projektors das Video im Format von 1920x1080 Pixeln generiert wird. Dies ist wichtig, um ein Herunterskalieren, ein Strecken bzw. Verzerren der Bildinhalte und schwarze, unbespielte Flächen zu vermeiden.

Bezüglich der Framerate (fps – frames per second), also der Bilder pro Sekunde im Video, sollte bei der Ausgabe mit der Projektionssoftware auch die Anzahl der Bilder pro Sekunde gewählt bzw. eingestellt werden, welche beim Erstellen des Videos genutzt wurden. Dies können zum Beispiel 24, 30 oder 60 Bilder pro Sekunde sein. Bei der Nutzung von 60 fps ist zusätzlich darauf zu achten, dass der Projektor eine entsprechende Bildwiederholrate in Hz besitzt, um die 60 fps auch nutzen zu können.

3.4 Methoden zur Realisierung

Für die Realisierung einer Projektion auf einer Gebäudefassade können verschiedene Methoden angewendet werden, drei Methoden werden im Folgenden vorgestellt: Das Erstellen und Projizieren eines einzelnen Inhalts auf die gesamte Projektionsfläche, das Kombinieren und Projizieren von mehreren Inhalten auf die Projektionsfläche und die Erzeugung von Inhalten auf einer Projektionsfläche in Echtzeit während der Projektion.

3.4.1 Einzelnes Bild oder Video für die gesamte Projektionsfläche erstellen

Es kann von einem Veranstalter gefordert sein, dass ein einzelnes Video für eine bestimmte Projektionsfläche erstellt wird, um zum Beispiel einen inhaltlichen Wettbewerb zwischen Künstlerinnen und Künstlern zu schaffen, wobei verschiedene Videoclips auf dieselbe Projektionsfläche projiziert werden sollen. Hierfür wird vom Veranstalter eine Vorlage in Form von einer orthogonalen Ansicht der Fassade oder einem 3D-Modell für die Inhalte erstellt, welche dann Informationen wie beispielsweise das Seitenverhältnis, die zu nutzende Auflösung und den exakten Projektionsbereich enthalten.

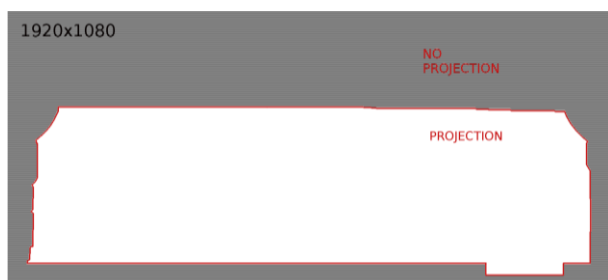


Abbildung 52: Beispiel 1 für die Festlegung des Projektionsbereichs

Motiv: Herderkirche Weimar

Quelle: Zeichnung zur Verfügung gestellt von device+context

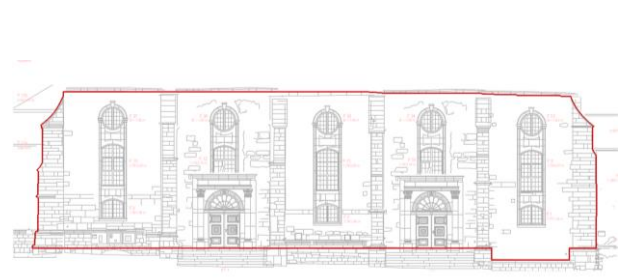


Abbildung 53: Beispiel 2 für die Festlegung des Projektionsbereichs

Motiv: Herderkirche Weimar

Quelle: Zeichnung zur Verfügung gestellt von device+context

Während der Erstellung von Inhalten können zusätzlich Masken erstellt werden, die die Projektionsfläche in inhaltlich abgegrenzte Bereiche teilen, um die Anpassung an die Projektionsfläche zu erleichtern (vgl. Abb. 51 in Kapitel 3.3.2.3). Ohne diese Masken kann es abhängig vom Inhalt schwieriger sein, diesen genau an die Projektionsfläche anzupassen, zum Beispiel

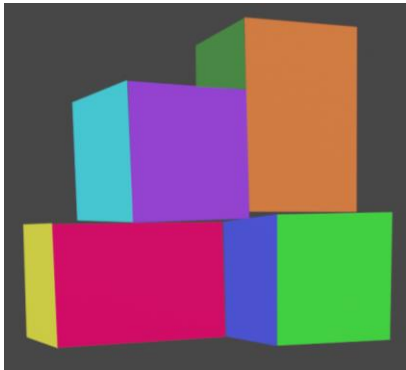


Abbildung 54: Beispiel für Mapping anhand eines einzelnen Bildes
Quelle: Eigene Darstellung

wenn es sich um abstrakte, bewegte Inhalte handelt die an manchen Stellen der Projektionsfläche schwer zuzuordnen sind. Mit dieser Methode wird also ein einzelner Videoclip oder einzelnes Bild generiert (gerendert), welches dann mit Projektionssoftware an die Projektionsfläche genau angepasst wird. Siehe Abbildung 54: Die Flächen wurden im Voraus eingefärbt und die gesamte Szene konnte anschließend mit Projektionssoftware als Einzelbild auf die Quader projiziert werden.

3.4.2 Einzelne Inhalte auf einzelne Bereiche projizieren

Es ist möglich, anstatt eines einzelnen Videoclips, der für die gesamte Projektionsfläche erstellt ist, mehrere Videoclips zu verwenden, welche dann jeweils nur für einen bestimmten Bereich der Projektionsfläche erstellt werden. Die verschiedenen Videoclips für die einzelnen Bereiche werden dann mit Projektionssoftware zusammengefügt und jeweils einzeln auf die gewünschten Flächen angepasst und projiziert. Den einzelnen Inhalten können dann Bereiche bzw. Ausschnitte der gesamten Projektionsfläche pixelgenau zugeordnet werden. Jeder Inhalt hat dann ein eigenes Seitenverhältnis und eine eigene Auflösung. Auch für einzelne, abgegrenzte Inhalte können Masken erstellt werden, um die Inhalte einfacher in die richtige Position zu bringen.

Weil es mit Projektionssoftware möglich ist beliebige Inhalte an beliebige Flächen anzupassen, ist es, je nach Anforderung, nicht zwingend nötig die Auflösung der einzelnen Inhalte zu beachten, um eine Projektion zu realisieren. Jedoch werden die Inhalte entsprechend der Gesamtauflösung skaliert, was zu Qualitätsverlusten führen kann.

Zu Abbildung 55: Zu beachten ist hier, dass die Gesamtauflösung 1920 x 1080 beträgt, dieser

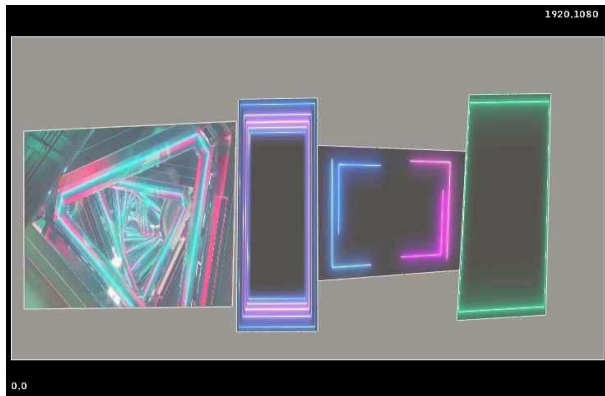


Abbildung 55: Beispiel für Mapping mit verschiedenen Einzelinhalten

Quelle: Eigene Darstellung, erstellt mit MXWendler Stage Designer 6.0

Bereich ist grau gekennzeichnet. Die einzelnen Inhalte werden als Elemente behandelt, die beliebig angepasst werden können. Diese haben ursprünglich unterschiedliche Auflösungen. Da die Inhalte auf jeweils unterschiedlichen Flächen innerhalb der Gesamtauflösung projiziert und gestreckt bzw. gestaucht werden, werden diese von der Software skaliert, sodass jeder Inhalt innerhalb des grauen Bereichs seine eigene,

neue Auflösung hat.

Diese Methode bietet Flexibilität, indem die Inhalte aus einzelnen Bereichen ausgetauscht werden können, ohne dass die gesamte Szene bearbeitet werden muss. Sie bietet auch die Möglichkeit Projektionen mit externen Inhalten umzusetzen, die nicht speziell an die jeweilige Projektionsfläche angepasst sind, siehe hierzu auch Kapitel 3.5.

3.4.3 Erstellen von Inhalten auf einer Projektionsfläche in Echtzeit

Eine weitere Methode für das Projizieren von Inhalten auf eine bestimmte Fläche ist das Erstellen von Inhalten, während der Projektor bereits auf die Fläche ausgerichtet und eingeschaltet ist.⁸⁸ So kann beispielsweise Präsentationssoftware oder eine einfache Zeichensoftware genutzt werden, um ein weißes Bild auf die gewünschte Fläche zu projizieren und anschließend mit den Werkzeugen der Software Inhalte direkt auf die Fläche zu zeichnen. So können zum Beispiel Konturen einer Fassade hervorgehoben werden oder einzelne Flächen bemalt werden. Wichtig hierbei ist eine gute Sicht auf das Objekt bzw. die Fassade während des Zeichnens. Bereiche, bei denen das Projektionsbild über das Objekt hinaus projiziert wird, können mit schwarzer Farbe abgedunkelt werden.

Ein Vorteil dieser Methode ist, dass keine Projektionssoftware notwendig ist und auch keine Anpassungen an die Projektionsfläche erfolgen muss, weil die Zeichnungen direkt auf der Projektionsfläche erfolgen und somit schon angepasst sind. Diese Methode ist auch für Amateure

⁸⁸ Vgl. Matt Champneys auf Youtube.com, <https://youtu.be/KKsKwHbuu3M> (2013), Kanal Matt Champneys, abgerufen am 15.07.2021

gut geeignet, weil keine Kenntnisse umfangreicher Software notwendig sind, um eigene Inhalte auf ein gewünschtes Objekt zu projizieren. Die gezeichneten Konturen können außerdem wiederverwendet und in andere Software zur Bearbeitung importiert werden, sofern sich die Position des Projektors und der Projektionsfläche nicht verändert. Die Limitierungen bei dieser Methode sind mögliche Zeichengenauigkeiten mit der Maus und Tastatur, eine Eingabeverzögerung je nach Qualität des Projektors und die Beschränkungen der Software zur Erstellung der Inhalte. So sind Animationen möglicherweise schwieriger umzusetzen, daher ist diese Methode primär für Standbilder geeignet.

3.5 Externe Inhalte und Erstellung von Kompositionen

Es ist möglich Projektionen mit extern erstellten Inhalten umzusetzen. Das Erstellen von professionellen Animationen und Videoclips ist zeitaufwändig und erfordert Fachkenntnisse in diesem Bereich. Dieser Aufwand kann gespart werden, indem vorgefertigte Bilder oder Animationen von externen Künstlerinnen und Künstlern verwendet werden.

Es existiert eine Vielzahl von online-Plattformen, welche kostenlose und kostenpflichtige Videos zur Verfügung stellen. Beispiele hierfür sind beeples-crap.com oder vjloopsfarm.com. Es können Clips in verschiedenen Formaten, Auflösungen und Seitenverhältnissen heruntergeladen und genutzt werden.

Ein Nachteil dieser Methode ist, dass die Projektionsinhalte nicht direkt an die Projektionsfläche angepasst, sondern für eine beliebige plane Fläche bestimmt sind. Dennoch können diese gut nutzbar sein, wenn beispielsweise auf einer Gebäudefassade leere, rechteckige Flächen zu finden sind oder eine exakte inhaltliche Anpassung an das Objekt oder Gebäudefassade nicht unbedingt nötig ist. Beim Nutzen dieser Methode würden beispielsweise die Fenster einer Fassade nicht direkt in den Animationen vorkommen.

Um externe Inhalte zu nutzen, kann eine Projektionssoftware wie beispielsweise MXWendler Stage Designer, Pixera oder VPT ausreichen. Mit der Software können die gewünschten Videoclips importiert und abgespielt werden. Manche Projektionssoftware bietet auch die Möglichkeit Videos in Echtzeit zu mischen, in Abfolgen abzuspeichern oder diese auf verschiedene Arten zu verändern. Durch grundlegende Funktionen einer solchen Software wie Keystone-Anpassungen und Mesh-Warp kann eine Anpassung an die Projektionsfläche erfolgen. Mit einer Sammlung von Videoclips und Bildern können also eigene Kompositionen

erstellt werden, welche dann angepasst an die Projektionsfläche ein eigenes Kunstwerk aus verschiedenen Elementen ergeben können.

3.6 Zusammenfassung zur Realisierung eines Projekts

Im Folgenden ist ein fiktives Beispiel für einen möglicher Ablauf zur Realisierung einer Projektion auf einer Gebäudefassade kurz zusammengefasst.

Zu Beginn des Projekts wird das Gebäude und der Betrachtungsbereich bzw. Vorplatz begutachtet, vermessen und fotografiert sowie die Position der Gäste festgelegt. Das Seitenverhältnis der Fassade wird mit Hilfe der Messungen und Fotos bzw. Pläne und Zeichnungen ermittelt. Dieses Seitenverhältnis bestimmt die Auflösung des gesamten Projekts und die Anzahl der zu nutzenden Projektoren. Zur Erstellung von Inhalten wird aus vorhandenen Plänen die Fassade dreidimensional nachgezeichnet oder vor Ort gescannt. Die örtlichen Gegebenheiten werden zu einem Übersichtsplan zusammengefasst, in dem die möglichen Positionen der Beleuchtungstürme sowie Arbeitsplätze für die Bedienenden festgehalten werden. Der Einfluss des Umgebungslichts wird gemessen.

Anhand der Positionen der Projektoren, der Abstände zur Fassade, Seitenverhältnis der Fassade sowie dem Umgebungslicht werden für das Projekt passende Projektoren gewählt und die theoretische Pixeldichte überprüft. Sobald die Fassade nachgezeichnet wurde, kann diese Grundlage an Künstlerinnen und Künstler verteilt werden, damit diese mit der Erstellung der Inhalte beginnen können. Wenn die Inhalte bereit sind und die Videoclips vorliegen, werden diese bezüglich der Auflösung und des Videoformats geprüft und gegebenenfalls Korrekturen bezüglich der Sichtbarkeit, zum Beispiel Kontrastanpassungen, durchgeführt. Es erfolgt dann ein technischer Probeaufbau, funktionaler Test und die Projektion von einem Prüfmuster und einer Maske auf die Fassade, mit deren Hilfe der Keystoning- bzw. Warping-Prozess durchgeführt wird, um sicherzustellen, dass keine ungewollten Verzerrungen vorhanden sein werden. Anschließend wird der gewünschte Inhalt in die Projektionssoftware importiert und nochmals überprüft, ob der Keystoning-Prozess korrekt durchgeführt wurde und somit ob die Projektion auf die Fassade exakt passt. Wenn dies der Fall ist, kann mit der Show begonnen und das gewünschte Video in der Projektionssoftware abgespielt werden.

4 Fazit

In dieser Arbeit sind die wichtigsten Aspekte zur Planung und Umsetzung von Fassadenprojektionen im Allgemeinen dargestellt. Die Wahl der Projektionsfläche bereitet für ein solches Projekt die Grundlage. Dabei stellt sich heraus, welches Seitenverhältnis die gesamte Projektion haben wird und wie viele Projektoren dabei genutzt werden sollen. Weiterhin spielen die Position und Lage der Projektoren eine besondere Rolle. Projektoren können zwar beliebig positioniert werden, jedoch entstehen bei einer Schrägprojektion meist unerwünschte Effekte, die vermieden werden können, wenn die Projektoren orthogonal zur Projektionsfläche aufgestellt werden. So sollten nur geringfügige Abweichungen von einer orthogonalen Position in Betracht gezogen werden oder die entstehenden Effekte explizit bedacht sein.

In Verbindung mit der Position der Projektoren, ist die Projektionsdistanz ein besonderer Faktor. Die Projektionsdistanz bestimmt die Größe und Helligkeit des resultierenden Bildes und somit auch die Sichtbarkeit der Projektionsinhalte. Die Sichtbarkeit der Projektionsinhalte ist wiederum auch abhängig von der Leistungsfähigkeit der Projektoren und des Umgebungslichts. Mit den dargestellten Berechnungsverfahren kann der nötige Lichtstrom eines Projektors ermittelt und ein für das Projekt passender Projektor gewählt werden. Hinzu kommt das ggf. variable Projektionsverhältnis, welches ebenfalls Einfluss auf die Projektionsdistanz und somit auch auf die Position des Projektors, die Helligkeit und die Bildgröße hat. Die Bildgröße hat wiederum Auswirkungen auf die Qualität des projizierten Bildes. Es wird also deutlich, dass eine Vielzahl eng miteinander verbundenen Faktoren für die Planung und Umsetzung einer Projektion zu beachten sind.

Um an die Projektionsfläche angepasste Projektionsinhalte zu erzeugen, können auf verschiedene Arten Vorlagen erstellt werden. Mit Hilfe dieser Grundlagen können Künstlerinnen und Künstler eigene Inhalte erzeugen, wobei die Grundformen einer Fassade mit einbezogen werden können. Letztlich werden die erzeugten Inhalte dann mit Hilfe von Projektionssoftware exakt an die Projektionsfläche angepasst.

Jedes Projekt ist einzigartig und hat jeweils unterschiedliche Ziele und Anforderungen. Diese Arbeit behandelt jedoch kein konkretes Projekt, sondern stellt allgemeine Hinweise zur Planung und Umsetzungsmöglichkeiten dar. Die Unterschiede in der Planung und Umsetzung zwischen einer Kleinformat-Projektion mit einem Projektor auf einer Veranstaltung, einer Produktpräsentation auf einer Messe oder einer Großformat-Projektion mit einer Vielzahl an

Projektoren können erheblich sein. Es ist daher schwierig eine allgemeingültige Vorgehensweise zu formulieren, auch weil sich die Methodik dabei unterscheiden kann. Deshalb wurden hier nur einige Möglichkeiten genannt. Des Weiteren existiert vergleichsweise wenig Fachliteratur zu dem noch jungen Thema. Es stellte sich als besondere Herausforderung dar, die Methoden, Rahmenbedingungen und insbesondere die Hinweise zur Erstellung von Inhalten ohne umfangreiche praktische Erfahrungen in dem Bereich zu beschreiben.

Es gibt jedoch auch allgemeingültige, physikalische Eigenschaften von beispielsweise dem Licht, den Projektoren, den Reflexionseigenschaften von Projektionsflächen oder Videoschnittstellen, die stets zu beachten sind. Diese sind in dieser Arbeit beschrieben.

Der Kern von Projektionen liegt im Projektionsinhalt. Auf eine Beschreibung der Vorgehensweise wie Inhalte genau zu erzeugen sind wurde in dieser Arbeit bewusst verzichtet, weil Grafikdesign und Animationen zwar mit Fassadenprojektionen fest verknüpft sind, dies jedoch ein separates Thema darstellt und auch hierfür eine Vielzahl von Methoden und Software existieren. Aus diesem Grund wird lediglich auf Beispiele zur Erstellung einer Grundlage eingegangen, welche von Künstlerinnen und Künstlern genutzt werden kann, um Inhalte zu erstellen. Dies gilt auch für Untermalungen von Projektionen mit Musik und Ton. Die Synchronisierung mit dem Bild und die Erzeugung von passenden Tönen stellt ein separates Thema dar, daher wird auf diese Aspekte in dieser Arbeit nicht eingegangen, obwohl dies für die meisten Projektionen genutzt wird.

Die Umsetzung von Projektionen mit Projektionssoftware kann sich ebenfalls stark unterscheiden, weil auf dem Markt eine Vielzahl von Projektionssoftware vorhanden ist, welche jeweils eine eigene Herangehensweise bietet. Ein konkreter Vergleich von Software kann also ebenfalls als separates Thema betrachtet werden.

Das Thema Projektionsmapping bietet noch weitere Aspekte, die wissenschaftlich untersucht werden könnten. Dazu zählen beispielsweise die Erstellung von Animationen auf einer bestimmten Fläche, die Verknüpfung von Bild und Ton, ein umfangreicher Vergleich bereits realisierter Projekte und der genutzten Software oder der genaue Ablauf eines konkreten Projekts mit einer Vielzahl von Projektoren. Weiterhin können Sonderformen von Projektionsmapping betrachtet werden, wie zum Beispiel Kuppel-Projektionen (dome-projection), für die besondere Anforderungen gelten.

5 Das Lehrprojekt

Zusätzlich zum vorliegenden Hauptteil dieser Masterarbeit wird ein Dokument für Lehrende und Studierende zur Verfügung gestellt, welches Praxisnahe Übungen mit Soft- und Hardware für Anfängerinnen und Anfänger beinhaltet. Mit grundlegenden Techniken zur Umsetzung von Projektionen im Medienlabor der Hochschule soll damit Studierenden ein Grundwissen zum Thema Projektionen auf Gebäuden und Gegenständen vermittelt werden. Hierfür wird die Projektionssoftware MXWendler Stage Designer 6.0 vom Entwickler device+context genutzt. Eine schrittweise Anleitung zum Erreichen verschiedener Ziele wird bereitgestellt, so dass Studierende auch ohne Vorkenntnisse der Software die Übungen durchführen können. Die Übungen beinhalten auch Erläuterungen zu den jeweiligen Schritten.

Für die praktischen Übungen im Medienlabor werden weiße Schachteln aus Pappe als Projektionsfläche/n verwendet, weil diese aufgrund der einfachen Form und planen Flächen ein einfaches Beispiel für den Einstieg in das Thema bieten. Die Dimensionen der Schachteln betragen 15,2 cm x 10,2 cm x 10,2 cm. Die Schachteln können außerdem beliebig angeordnet werden, was viel Flexibilität bzgl. der Position im Raum und der Position der Projektoren sowie unterschiedliche Schwierigkeitsgrade bieten kann. Es können damit Probleme aufgezeigt werden, die auch bei einer Fassadenprojektion auftreten könnten, beispielsweise bei einer Schrägprojektion. Des Weiteren sind die einzelnen Flächen der Schachteln gut mit vorproduzierten Inhalten zu bespielen, was das Erstellen von eigenen Inhalten unnötig macht.

Der Übungsteil mit dem Titel „Praktische Übungen zum Thema „Großbilddarstellung und Projektionsmapping“ mit der Software „MXWendler Stage Designer 6.0“ beinhaltet sieben Übungen mit folgenden Titeln:

1. Einzelne Inhalte einzelnen Flächen zuordnen und projizieren
2. Schräge Projektion
3. Projizieren von Inhalten mit verschiedenen Seitenverhältnissen
4. Inhalte schneiden, zusammenfügen und auf dreidimensionale Objekte projizieren
5. Edge blending mit zwei Projektoren: Hard edging
6. Edge blending mit zwei Projektoren: Soft edging
7. Projizieren eines eigenen Inhalts

Die Übungen sind für einen abgedunkelten Raum und zur Verwendung von maximal zwei Projektoren als Tischversuche und Wandprojektionen konzipiert. Die Übungen sind mit

ansteigendem Schwierigkeitsgrad gestaltet, können jedoch auch unabhängig von der Reihenfolge bearbeitet werden. Des Weiteren sind die Übungsinhalte so gestaltet, dass die Prinzipien ihre Gültigkeit bei zukünftigen Softwareupdates behalten und auch auf andere Software übertragbar sind. Die Übungen können bei Bedarf durch weitere Aufgaben ergänzt werden.

Literaturverzeichnis

Barco.com, Produktseite UDX-4K32, <https://www.barco.com/en/product/udx-4k32>, abgerufen am 10.07.2021

Computerbild.de (o.A.), (o.D.): *Native Auflösung*, <https://www.computerbild.de/glossar/Native-Aufloesung-4778038.html>, abgerufen am 08.07.2021

Designboom.com (o.A.), (o.D.): *obscura digital: sheikh zayed grand mosque projections*, <https://www.designboom.com/art/obscura-digital-sheikh-zayed-grand-mosque-projections/>, abgerufen am 04.07.2021.

Digitales Wörterbuch der deutschen Sprache (o.A.), (o.D.): *Photogrammetrie*, <https://www.dwds.de/wb/Photogrammetrie>, abgerufen am 31.05.2021

DIN 19045-1: 1997-05

Ebner, M. (2019): *Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung*, Berlin: Beuth Verlag GmbH

Extron Electronics (2017): *Handbuch für digitales Design*, 3. Ausgabe, <https://www.extron.de/article/digdesguidead>

Greule, R. (2015): *Licht und Beleuchtung im Medienbereich*, München: Carl Hanser Verlag

HDBaseT Alliance Whitepaper (2014): *single cablesolution provides 5play convergence for commercial installations*, <https://hdbaset.org/what-is-hdbaset/>, abgerufen am 12.07.2021.

ITWissen.info (o.A.), (2015): *Gain-Faktor*, <https://www.itwissen.info/Gain-Faktor-gain-factor.html>, abgerufen am 08.07.2021.

Kaesbauer, I. (07.11.2018): *Wie funktioniert ein Beamer? Einfach erklärt*, https://praxistipps.chip.de/wie-funktioniert-ein-beamer-einfach-erklart_40906, abgerufen am 16.02.2021.

Leonhardt-Schuster, S. (28.10.2020): *Was ist eigentlich Projection Mapping*, <https://www.mds.eu/blog/projection-mapping-auf-deutsch>, abgerufen am 16.04.2021

Luma Box auf Youtube.com, *House Projection Mapping Tutorial 2/5 Creating a Guide (2020)*, <https://youtu.be/VGPrrRG-2I4>, Kanal Luma Box, abgerufen am 15.07.2021

Maniello, D. (2015): *Augmented reality in public spaces*, Brienza: Le Penseur

Markgraf, D., Prof. Dr. (16.02.2018): *Definition: Was ist „Augmented Reality“?* <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/augmented-reality-53628/version-27670>, abgerufen am 16.04.2021

Matt Champneys auf Youtube.com, <https://youtu.be/KKsKwHbuu3M> (2013), Kanal Matt Champneys, abgerufen am 15.07.2021

Monroe M. M., Redmann W. G. (1994): *Apparatus and method for projection upon a three-dimensional object* (US5325473A), USPTO, <https://patents.google.com/patent/US5325473A/en>, abgerufen am 04.07.2021

MXWendler.net, Produktseite FXServer, <https://www.mxwendler.net/de/product/mediaserver.html>, abgerufen am 12.05.2021

Naimark, M. (o.D.): *Displacements 1980-84 / 2005*, <http://www.naimark.net/projects/displacements.html>, abgerufen am 27.07.2021

Neumannmueller.com (o.A.), (o.D.): *Interaktive Projektion „MS Dockville“-Festival, Hamburg*, <https://www.neumannmueller.com/de/wir/referenzen/interaktive-projektion-auf-dem-ms-dockville-festival#c14050>, abgerufen am 06.07.2021.

Panasonic, online Schulung (2016): *Grundwissen über Projektoren*

Panasonic, Whitepaper (2019): *Risikogruppen-Informationen für Laserprojektoren*, https://business.panasonic.co.uk/visual-system/system/files/files/fields/field_file/psd/2019/05/29/Laser_risk_group_whitepaper_May_2019_German_1559139310.9411.pdf, abgerufen am 01.08.2021

Printzen, M. (2017): *Mehr Klarheit durch Farblightleistung?* <https://www.av-views.com/2017/09/23/mehrklarheit-durch-farblightleistung/>, abgerufen am 15.05.2021

Prnewswire.com, (o.A.), (2011): *Obscura Digital rückt die Kunst der Architekturprojektion in ein völlig neues Licht*, <https://www.prnewswire.com/news-releases/obscura-digital-rueckt-die-kunst-der-architekturprojektion-in-ein-vollig-neues-licht-135045408.html>, abgerufen am 04.07.2021

Reichelt.de, Produktseite *GC M0250 AOC Hybrid HDMI® 2.0 Kabel*, <https://www.reichelt.de/de/de/aoc-hybrid-hdmi-2-0-kabel-schwarz-100m-gc-m0250-p269110.html?r=1>, abgerufen am 25.07.2021

Raskar, R. (2001): *Shader Lamps: Animating Real Objects With Image-Based Illumination*, University of North Carolina at Chapel Hill / Mitsubishi Electric Research Laboratories, <https://web.media.mit.edu/~raskar/Shaderlamps/shaderlampsRaskar01.pdf>, abgerufen am 06.05.2021

Ries, M. (2014): *Warum sind Laser Beamer die Zukunft der Projektion?* <https://www.professional-system.de/basics/laser-beamer-mit-laser-in-die-zukunft/>, abgerufen am 29.04.2021

Roth, A. (01.06.2017): *DLP*, <https://www.prad.de/lexikon/dlp-1-3-chip-technologie/>, abgerufen am 09.07.2021

Schmidt, K. (08.08.2018): *Projection Mapping: Kreative Möglichkeiten auf Fassaden und in Ausstellungen*, <https://www.professional-system.de/kommunikationsraum/projection-mapping-kreative-moeglichkeiten-auf-fassaden-und-in-ausstellungen/>, abgerufen am 16.04.2021

Stone, M. D. (30.01.2019): *Understanding Lens Offset and Lens Shift*, <https://www.projector-central.com/Understanding-Lens-Offset-and-Lens-Shift.htm>, abgerufen am 27.04.2021

The Video Electronics Standards (VESA) (2019): *Vesa publishes displayport™ 2.0 video standard enabling support for beyond-8k resolutions, higher refresh rates for 4k/hdr and virtual reality applications*, <https://vesa.org/press/vesa-publishes-displayport-2-0-video-standard-enabling-support-for-beyond-8k-resolutions-higher-refresh-rates-for-4k-hdr-and-virtual-reality-applications/>, abgerufen am 10.07.2021

Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG) gesetzliche Unfallversicherung (o.D.): *Farbgestaltung in Büroräumen*, https://www.vbg.de/wbt/farbmodul/daten/html/3_1.htm#f2, abgerufen am 19.04.2021.

Wendler, H. von der Fa. device+context, mündliche Informationen vom 02.03.2021

Wendler, H. (o.D.): *Über Genius Loci Weimar*, <https://www.genius-loci-weimar.org/ueber.html>, abgerufen am 15.06.2021.

Wertgarantie.de (o.A.), (o.D.): *16 zu 9*, <https://www.wertgarantie.de/lexikon/tv/16-zu-9>, abgerufen am 09.07.2021

Wertgarantie.de (o.A.), (o.D.): *4 zu 3*, <https://www.wertgarantie.de/lexikon/tv/4-zu-3>, abgerufen am 09.07.2021

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: „Grim Grinning Ghosts“, Disneyland Anaheim, 1969 Foto: Unbekannt, Quelle: https://joshwilltravel.wordpress.com/2015/10/30/happy-halloween-from-the-grim-grinning-ghosts/	3
Abbildung 2: „Displacements“ von M. Naimark, Kalifornien, 1980. Foto: Scott Fisher, Quelle: https://www.digitalartarchive.at/database/general/work/displacements.html	4
Abbildung 3: Beispielbild aus US-Patent von Disney, 1994, Quelle: https://patentimages.storage.googleapis.com/3b/2c/53/46bb7c2195150e/US5325473-drawings-page-4.png	5
Abbildung 4: Versuchsaufbau zu „Shader Lamps“, 2001, Quelle: https://web.media.mit.edu/~raskar/Shaderlamps/Taj/	6
Abbildung 5: Mit Textur versehenes Modell bei "Shader Lamps", Quelle: https://web.media.mit.edu/~raskar/Shaderlamps/Taj/	6
Abbildung 6: Projektion auf die Herderkirche Weimar während des Genius Loci Festival 2017 Inhalt: Flightgraf, Umsetzung: device+context, Foto: Henry Sowinsky, Quelle: https://www.genius-loci-weimar.org/id-2017_en.html	7
Abbildung 7: Projektion auf die Scheich Zayed Moschee, Abu-Dhabi, Vereinigte Arabische Emirate, 2011, Inhalt und Umsetzung: Obscura Digital, Foto: Unbekannt, Quelle: https://in.pinterest.com/pin/862369028639849575/	8
Abbildung 8: Interaktive Projektion beim "MS Dockville"-Festival in Hamburg, 2018 Inhalt und Umsetzung: Neumann & Müller, Foto: Unbekannt, Quelle: https://www.neumannmueller.com/de/wir/referenzen/interaktive-projektion-auf-dem-ms-dockville-festival#c14050	9
Abbildung 9: Projektion auf die Galerie der Gegenwart, 2009, Foto und Inhalt: urbanscreen, Quelle: https://www.urbanscreen.com/de/555-kubik/	10
Abbildung 10: Beispiel für eine Fassade mit verhältnismäßig geringem Detailgrad, Motiv: Galerie der Gegenwart, Hamburg, Foto: Razvan Orendovici, Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galerie_der_Gegenwart.jpg?uselang=de#filelinks	10
Abbildung 11: Beispiel für eine detailreichere Fassade, Motiv: Cranachhaus Weimar, Quelle: Foto zur Verfügung gestellt von device+context	11

Abbildung 12: Projektion auf das Cranachhaus, 2017, Inhalt: Desilence, Quelle: Ausschnitt aus Video unter https://vimeo.com/229754150	11
Abbildung 13: Skizze zum Rechenbeispiel für Projektionsverhältnis, Quelle: Eigene Darstellung	13
Abbildung 14: Beispiel für eine Aufteilung der Fassade auf mehrere Projektoren, Motiv: Deutsches Nationaltheater Weimar, 2014, Quelle: https://www.mxwendler.net/case-studies/video-mapping/glw-2014-ruestungsschmiede-detail/	13
Abbildung 15: Beispiel einer Verwendung von Inviscreen der Firma Gerriets, Foto: NAKED, Quelle: https://www.gerriets.com/de/produkte/screens/visuial-effects/inviscreenr-fp-rueckprojektion	16
Abbildung 16: Grafik 1 zur Position des Projektors: Orthogonale Projektion, Quelle: Eigene Darstellung, in Anlehnung an: https://www.gobogobo.de/zusatzinformationen/fotometrie/	18
Abbildung 17: Grafik 2 zur Position des Projektors: Schrägprojektion, Quelle: Eigene Darstellung, in Anlehnung an: https://www.gobogobo.de/zusatzinformationen/fotometrie/	20
Abbildung 18: Beispiel für einen verzerrungsempfindlichen Inhalt. Dieses Bild ist gestaucht und dies ist sofort sichtbar, Quelle: Victor Grabarcz auf unsplash.com	22
Abbildung 19: Beispiel für einen verzerrungsunempfindlichen Inhalt. Dieses Bild ist ebenfalls gestaucht, dies wird jedoch nicht sofort sichtbar. Quelle: Ash Edmonds auf unsplash.com ..	22
Abbildung 20: Funktionsschema eines 1-Chip DLP-Projektors, Quelle: Panasonic Business, online Schulung (2016): Grundwissen über Projektoren, S. 16	25
Abbildung 21: Funktionsschema eines 3-Chip DLP-Projektors, Quelle: Panasonic Business, online Schulung (2016): Grundwissen über Projektoren, S. 17	26
Abbildung 22: Funktionsweise eines LCD-Projektors, Quelle: Panasonic Business, online Schulung (2016): Grundwissen über Projektoren, S. 15	27
Abbildung 23: Barco UDX-4K32 Projektor, Quelle: https://www.barco.com/de/product/udx-4k32	29
Abbildung 24: Skizze zum Projektionsverhältnis, Quelle: Ebner, M. (2019), Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S. 171	35
Abbildung 25: Beispiel für ein ultra short throw Objektiv, 0,4:1, Quelle: Barco.com Produktseite https://www.barco.com/en/product/tld-plus-040	36

Abbildung 26: Beispiel für ein long throw Objektiv, ca. 7,0-10:1 Quelle: Barco.com Produktseite https://www.barco.com/en/product/tld-693---103#accessories	36
Abbildung 27: Links: Orthogonale Projektion, rechts: schräge Projektion aufgrund von Kippen des Projektors, Quelle: Ebner, M. (2019): Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S.174	37
Abbildung 28: Links: Resultierendes Bild aufgrund von vertikaler Neigung des Projektors, rechts: Resultierendes Bild aufgrund von zusätzlich seitlicher Schrägprojektion, Quelle: Ebner, M. (2019): Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S.175	37
Abbildung 29: Schematische Darstellung eines Schlussteins, Quelle: Von Nutzer Amada44 - Eigenes Werk, gemeinfrei, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3504670 .	38
Abbildung 30: Lens offset von 0% bzw. +50%, je nach Definition, Quelle: Ebner, M. (2019): Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S. 176	39
Abbildung 31: Definition des Lensshift-Grades (vertikal), Quelle: Ebner, M. (2019): Live Videotechnik, Projektion, Streaming, Aufzeichnung, Berlin: Beuth Verlag GmbH, S. 176	40
Abbildung 32: DVI-Stecker (Dual Link), Foto: Hartmut Krummrei, Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DVI-Stecker.JPG	46
Abbildung 33: HDMI-Stecker, Foto: Nutzer/in D-Kuru, Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HDMI_connector-male-ar_5to4- fs_PNr%C2%B00270.jpg	46
Abbildung 34: DP-Stecker mit Verriegelung, Foto: Belkin / Nutzer/in Abisys, Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DisplayPort-rid.jpg	47
Abbildung 35: HD-SDI Koaxialkabel mit BNC-Stecker, Quelle: Produktanzeige auf https://www.bpm-media.de/produkte/kabel/videokabel/bnc-kabel/bpm-video- kabeltrommel-hd-sdi-bnc-stecker/bnc-stecker-100-m/	48
Abbildung 36: HDBaseT-Kabel, Quelle: Produktanzeige auf https://www.reichelt.de/cat-6a- ultra-flex-patchkabel-hdbaset-15-m-schwarz-uf-cat6a-15-hd-p243832.html	49
Abbildung 37: Beispiel für ein Prüfmuster, Quelle: Ordner MXWendler Stage Designer 6.0 .	52
Abbildung 38: "Warpen" eines Elements mit der Software MXWendler Stage Designer 6.0, Quelle: Eigene Darstellung / Screenshot.....	52

Abbildung 39: Beispiel für die "mesh warp"-Funktion mit MXWendler Stage Designer, Quelle: Eigene Darstellung / Screenshot	52
Abbildung 40: Beispiel für eine mögliche Ver- bzw. Entzerrung mit Hilfe von "mesh warp" im MXWendler Stage Designer, Quelle: Eigene Darstellung / Screenshot	52
Abbildung 41: Beispiel für ein softedge-Element mit MXWendler Stage Designer, Quelle: Eigene Darstellung / Screenshot	53
Abbildung 42: 2D-Zeichnung einer Fassade, orthogonale Ansicht, erstellt mit CAD-Software Motiv: Marstall Weimar, Quelle: Zeichnung zur Verfügung gestellt von device+context.....	55
Abbildung 43: Beispiel für eine korrekte Aufnahme des Fotos ohne Neigung der Kamera, Quelle: Maniello, D. (2015): Augmented reality in public spaces. Brienza: Le Penseur, Fig. IX. 11 / S. 221.....	57
Abbildung 44: Resultierendes Bild aufgrund von Neigung der Kamera. Hierbei wären Korrekturen notwendig, Quelle: Maniello, D. (2015): Augmented reality in public spaces. Brienza: Le Penseur, Fig. IX. 12 & Fig. IX 13 / S. 222	58
Abbildung 45: Beispiel für Rektifizierung: Resultat nach der Anpassung mit Software, Quelle: Maniello, D. (2015): Augmented reality in public spaces. Brienza: Le Penseur, Fig. IX. 21 / S. 228 (Ausschnitt)	59
Abbildung 46: Beispiel für Rektifizierung: Ursprungsbild, Quelle: Maniello, D. (2015): Augmented reality in public spaces. Brienza: Le Penseur, Fig. IX. 14 / S. 223	59
Abbildung 47: Beispiel für ein 3D-Modell einer Fassade, dargestellt als Drahtkörper, Motiv: Notenbank Weimar, Quelle: Zeichnung zur Verfügung gestellt von device+context	60
Abbildung 48: Beispiel für ein 3D-Modell einer Fassade, dargestellt als 3D-Vollkörper, Motiv: Herderkirche Weimar, erstellt mit Blender, Quelle: Zeichnung zur Verfügung gestellt von device+context	60
Abbildung 49: Beispiel zur Darstellung der Fluchtpunkte eines Körpers. Anhand solcher Fluchtpunkte und -linien wird die korrekte Position der virtuellen Kamera durch Software ermittelt. Quelle: Maniello, D. (2015): Augmented reality in public spaces. Brienza: Le Penseur, Fig. V.7 / S. 126.....	61
Abbildung 50: Beispiel für das Nachmodellieren einer Szene. Hierbei wurde die virtuelle Kamera an die Ausrichtung der echten Kamera angepasst. Erstellt mit Cinema4D. Quelle: Maniello, D. (2015): Augmented reality in public spaces. Brienza: Le Penseur, Fig. V. 14 / S. 130.....	61

Abbildung 51: Von KünstlerInnen erstellte Vorlage zur Vereinfachung des Mappings beim Genius Loci Festival Weimar (2014): Motiv: Deutsches Nationaltheater Weimar, bespielt von ruestungsschmie.de, Quelle: https://www.mxwendler.net/case-studies/video-mapping/glw-2014-ruestungsschmiede-detail/	64
Abbildung 52: Beispiel 1 für die Festlegung des Projektionsbereichs, Motiv: Herderkirche Weimar, Quelle: Zeichnung zur Verfügung gestellt von device+context	65
Abbildung 53: Beispiel 2 für die Festlegung des Projektionsbereichs, Motiv: Herderkirche Weimar, Quelle: Zeichnung zur Verfügung gestellt von device+context	65
Abbildung 54: Beispiel für Mapping anhand eines einzelnen Bildes, Quelle: Eigene Darstellung	66
Abbildung 55: Beispiel für Mapping mit verschiedenen Einzelinhalten, Quelle: Eigene Darstellung, erstellt mit MXWendler Stage Designer 6.0	67

Alle Abbildungsquellen, die aus dem Internet stammen, wurden am 01.08.2021 abgerufen.

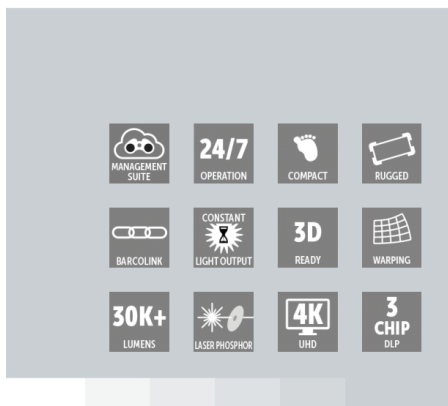
Anhang

Beispieldatenblatt des Projektors UDX-4K32 der Firma Barco auf der folgenden Seite.

Projektor UDX-4K32

UDX-4K32

31,000 lumens, 4K UHD, 3-chip DLP laser phosphor large venue projector



- **Quicker installation, lower costs, optimal asset management**
- **Unmatched colors, 4K resolution, and best-in-class processing**
- **Unbelievable experiences thanks to exceptional performance**
- **24/7 operation**

The UDX range delivers stunning experiences and savings on installation and shipping time, reducing costs significantly. The most compact, high-brightness laser projectors with integrated cooling on the market, the UDX projectors bring reliable and razor-sharp 4K images to every type of event and venue.

The UDX-4K32 features 4K UHD resolution and 31,000 lumens light output to ensure flawless shows with accurate colors at all times. The Constant Light Output (CLO) functionality also guarantees peace of mind by providing constant brightness and color over time. The UDX platform offers the widest color spectrum in the industry. Without compromising on brightness, the UDX color quality matches the renowned Xenon quality and outperforms the Rec. 709 color space.

Cut costs with laser projection

Thanks to their laser phosphor light source, lamp-related costs and maintenance as well as image flicker, belong to the past. The UDX series delivers a long lifetime and high reliability to ensure minimum downtime. The UDX's compact and rugged design allows you to reduce shipping and labor costs. The modular components can be removed quickly to limit servicing time. You can also reuse your TLD+ lenses.

Pick your brightness and resolution

The unique FLEX² feature will allow you to tune and lock your brightness and resolution to a specific show. You'll now need less projectors to cover a wider range of brightness levels and resolutions.

Faster processing for sharper images

The Barco Pulse 4K electronics offer an intuitive interface and flexible, user-friendly, embedded control software. Its Single Step Processing (SSP) allows for sharper images and less latency.

PRODUCT SPECIFICATIONS	UDX-4K32
Projector type	4K UHD 3-chip DLP digital projector
Technology	0.9" DMD™ x3
Resolution	3,840 x 2,400 (4K UHD) / 2,560 x 1,600 (native) / 5,120 x 3,200 (processing)
Brightness	31,000 (WQ)/30,000 (4K UHD) center lumens* // 30,000 (WQ)/29,000 (4K UHD) ansi lumens // 33,000 ISO
Contrast ratio	Full field 2200:1 / Barco Dyna Black 20000:1
Brightness uniformity	95%
Aspect ratio	16:10
ScenergiX	Horizontal and vertical edge blending
Lenses	TLD+ 0.37, 0.65-0.85, 0.8-1.16:1 ; 1.25-1.6:1 ; 1.5-2.0:1 ; 2.0-2.8:1 ; 2.8-4.5:1 ; 4.5-7.5:1 ; 7.5-11.5:1
Optical lens shift	Vertical between -100% to +130%, depending on lens Horizontal up to +/-40%, depending on lens Motorized zoom and focus (with lens memory on TLD lenses) Motorized lens shift (with position memory on all lenses)
Color correction	P7
Light source	laser phosphor with inorganic phosphor wheel
Light source lifetime	25,000 hrs
Optical dowser	Digital
Picture-by-picture	Two sources simultaneously
Orientation	360°
Sealed DLP™ core	standard
DMX 512	standard
WARP	Direct adjust OSD + toolset
Image processing	Embedded warp & blend
Keystone correction	Yes
Integrated web server	Yes
CLO (constant light output)	Standard
3D	Active eye wear (optional), passive circular (optional); 2 flash up to 200Hz*; optional Dual Eye Point 240Hz
Inputs	Single HDBaseT; HDMI2.0 (HDCP2.2, HDR10); DP 1.2 (HDCP 1.3); Quad 3G/12G SDI / BarcoLink ULTRA

PRODUCT SPECIFICATIONS	UDX-4K32
Optional Inputs	Quad DP1.2 / Fiber SFP
Input resolutions	From NTSC up to 4K (4,096 x 2,160) refresh rates: 24hz to 120hz 4K/4KUHD (4096 x 2160/ 3860 x 2400) to 240hz WQXGA (2560 x 1600)
Max. pixel clock	600 MHz
Software tools	Projector Toolset + Android** app + iOS** app
Control	XLR wired + IR, RS232, Wifi** (opt), GSM** (opt)
Network connection	10/100 base-T, RJ-45 connection, Wifi** (optional)
Power requirements	120-160 V (reduced power) / 200-240V (+/-10%), 20A, 50-60Hz
Max. power consumption	2,900W nom/3,100W max / STBY less than 10W
Noise level (typical at 25°C/77°F)	52dB(A)
Operational ambient temperature	0-40°C / 32°-104°F
Operational humidity	0-80% (non condens)
Dissipation BTU	Max. 9,895 BTU/h
Dimensions (WxLxH)	660 x 830 x 350 mm / 25.98 x 32.67 x 13.77 inches
Shipping Dimensions	(WxLxH) 800 x 1,200 x 685 mm / 31.49 x 47.24 x 26.96 inches
Weight	92kg (202 lbs)/shipping weight from factory: 110kg (242 lbs)
Standard accessories	Power cord, wireless/XLR wired rugged remote control
Certifications	Compliant with UL60950-1 and EN60950-1 complies with FCC rules & regulations, part 15 Class A and CE EN55032 Class A, Rohs
Warranty	3 years
*	+/-10%

Last updated: 03 Jun 2021

Technical specifications are subject to change without prior notice. Please check www.barco.com for the latest information.