

Oberfläche als Gestaltungsmittel
verwirklicht durch perspektivisch
korrigierte Projektion auf
dreidimensionale Objekte

VERONIKA PAUSER

DIPLOMARBEIT

eingereicht am
Fachhochschul-Masterstudiengang

DIGITALE MEDIEN

in Hagenberg

im Dezember 2010

© Copyright 2010 Veronika Pauser

Alle Rechte vorbehalten

Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus anderen Quellen entnommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe.

Hagenberg, am 1. Dezember 2010

Veronika Pauser

Inhaltsverzeichnis

Erklärung	iii
Vorwort	vi
Kurzfassung	vii
Abstract	viii
1 Einleitung	1
1.1 Überblick	3
2 Projektionismus – Alles ist Leinwand!	4
2.1 Projektion – Projektor – Projektionismus	4
2.2 Inhalt – Material – Materialästhetik	7
2.3 Wahrnehmung und Botschaft	10
2.4 Raum und Zeit	12
3 Realisierungsmöglichkeiten	19
3.1 Vorkorrigierter Content	19
3.2 Nachträgliches Video-Mapping	21
3.3 Relief Projection	23
3.4 Verzerrung als Stilmittel	26
3.5 Spatial AR	27
4 Konzept	30
4.1 Typische Vorgehensweise in der Praxis	30
4.2 3D Nachbildung	31
4.2.1 Stereoskopie	32
4.2.2 Structured Light Scanning	33
4.2.3 Shape from Focus	34
4.3 Einsatz von Sensoren	35
4.4 Geometrische Korrektur	36
4.4.1 Homografische Matrizen	36
4.4.2 Projective Texture Mapping	38

4.4.3	Pixel Displacement Mapping	40
4.5	Ausrichtung der Projektoren	41
4.6	Farb- und Helligkeitsausgleich	42
4.6.1	Color-Mixing Matrix	43
4.6.2	Dynamische Anpassung	44
4.6.3	Bildinhaltsabhängiger Ausgleich	45
5	Implementierung	46
5.1	Systemaufbau	47
5.2	Gray-Code Projektion	49
5.3	Streifenlichtdekodierung	50
5.4	Geometrische Korrektur	52
5.5	Farb- und Helligkeitsausgleich	53
6	Resümee	56
6.1	Zusammenfassung	56
6.2	Ausblick	61
A	Inhalt der DVD	62
A.1	Diplomarbeit und Projekt	62
A.2	Sonstiges	62
	Literaturverzeichnis	63

Vorwort

Gemeinsam mit meinem Kollegen Robert Leitner habe ich vor einiger Zeit das VJ-Kollektiv „eye.candy“ gebildet, unter dem wir regelmäßig, auch über die Grenzen von Österreich hinaus, auftreten. Als Visual Artists sind wir stets auf der Suche nach Ideen, um unsere Darbietungen interessanter zu gestalten. Eine Möglichkeit dafür stellt die Nutzung von alternativen Projektionsflächen dar.

Aus dieser Überlegung heraus entstand schließlich auch das Thema für diese Arbeit, in der ich nun die Ergebnisse meiner Recherchen und praktischen Erfahrungen der letzten Monate veranschauliche. Ziel ist es, dem interessierten Leser ein Basiswissen über den Bereich der Projektion auf nicht plane Oberflächen zu vermitteln.

Während der Entstehung dieser Arbeit, als auch im Laufe meines Studiums, habe ich Unterstützung von einer Vielzahl an Personen erhalten, bei denen ich mich hiermit bedanken möchte.

Für die Betreuung dieser Arbeit und dem zugrundeliegenden Projekt gilt mein Dank Mag. Volker Christian.

Bei meinen Freunden möchte ich mich für ihre moralische Unterstützung und vor allem für ihre Geduld bedanken, da ich aufgrund meiner Studien und sonstigen Aktivitäten leider nicht immer genügend Zeit für sie aufbringen konnte. Besonderer Dank gilt hierbei Anna Kroiß und Robert Leitner, die mir in Höhen und Tiefen stets zur Seite stehen und es schaffen, mich auch in antriebslosen Stunden immer wieder neu zu motivieren.

Ein weiteres großes Dankeschön möchte ich an meine Mutter und meine Geschwister aussprechen, die immer an mich geglaubt haben und mich in jeder Situation und Lebenslage unterstützen.

Kurzfassung

In gleicher Weise wie in den vergangenen Jahren Digitalkameras den Einzug in die Consumer-Elektronik gefunden haben, bewegt sich heute der Trend in Richtung Projektoren. Immer preiswertere und mobilere Geräte stürmen den Markt und durch die Erforschung alternativer Projektionsflächen eröffnen sich viele neue Gestaltungsmöglichkeiten. Dabei bietet sich vor allem in der neuen Kunstform des Projektionismus eine interessante Diskussionsgrundlage, welche anhand von zahlreichen Beispielen illustriert werden kann.

Für eine entsprechende Realisierung von Projektionen auf nicht plane Oberflächen gibt es eine Reihe unterschiedlicher Verfahren. So kann die Korrektur durch direkte Behandlung des Bildmaterials im Vorhinein erfolgen oder dieses im Nachhinein mittels Mapping an die Oberfläche angepasst werden. Auch eine bewusste Verzerrung mag aus stilistischer Sicht durchaus in manchen Fällen erwünscht sein.

Soll hingegen eine möglichst genaue Anpassung an die Oberfläche erfolgen, zeigt sich wie wichtig Projektor-Kamera-Systeme in Kombination mit passenden Bildkorrekturtechniken sind. Dabei müssen zunächst die Oberflächengegebenheiten durch Erfassung der zu bespielenden Objekte bestimmt werden, um dann, je nach Komplexität, unterschiedliche Formen der geometrischen Korrektur einzusetzen. Ein besonderes Augenmerk ist zudem auf die Ausrichtung der Projektoren zu legen und auch Farb- und Helligkeitskorrektur spielen eine entscheidende Rolle für ein gelungenes Endergebnis.

Eine praktische Auseinandersetzung mit diesen aktuellen Techniken spiegelt sich in Form eines eigenen Projektes wider, welches auf den Einsatz in einem Clubszenario hin optimiert wurde. Aber auch neben der modernen Musikvisualisierung erschließen sich vielerlei Einsatzgebiete für Projektionen abseits von dafür optimierten Leinwänden. Wenn überall auf komplexe Oberflächen projiziert werden kann, so werden diese selbst zum Gestaltungsmittel erhoben.

Abstract

As in previous years digital cameras have been introduced in consumer electronics, today the trend is moving towards projectors. Cheaper and more mobile devices enter the market and the exploration of alternative projection surfaces presents several new design possibilities. As a result, the new art form of projectionism offers an interesting basis for discussion which can be illustrated by numerous examples.

There are several different procedures for the actual implementation of projections on non-planar surfaces. On the one hand the pictorial material can be corrected by direct manipulation in advance; on the other hand it can be adapted to the surface afterwards by mapping the pictures accordingly. In some cases even a deliberate distortion might be preferable in a stylistic point of view.

However, if a precise adjustment to the surface is desired, the importance of projector-camera systems in combination with suitable image correction techniques is getting obvious. Therefore, first of all, the surface conditions must be determined by registering the objects to be projected on. According to this information different forms of geometrical correction can be utilized depending on the complexity of the surface. Special attention has to be paid as well to the positioning of the projectors. In the same way color- and brightness correction play a crucial role for a successful result.

A practical implementation of these current techniques has been realized in form of a personal project, optimized for the use within a club scenario. Nevertheless, apart from modern music visualization there are various applications for projections which do not require surface optimization. If projection onto complex surfaces is possible everywhere, the surface itself can be considered as means of design.

Kapitel 1

Einleitung

Üblicherweise werden für jegliche Art von Projektion möglichst ebene und normal zum Projektor ausgerichtete Projektionsflächen, wie Leinwände oder dergleichen, eingesetzt. Die Vorteile sind dabei offensichtlich. Auf Grund der glatten Oberfläche kommt es innerhalb der Projektionsfläche kaum zu Verzerrungen. Allenfalls müssen die Ecken mittels Trapezkorrektur minimal berichtigt werden, um eine korrekt rechteckige Fläche zu erhalten.

Projektionen auf dreidimensionale Objekte erfordern hingegen Überlegungen, die bei Darstellungen auf flachen Oberflächen keiner großen Beachtung bedürfen. Hinsichtlich des Setups und der Projektionsfläche ist beinahe jede nicht plane Projektion einzigartig und erfordert daher einen hohen Vorbereitungs- und Planungsaufwand.

Die Projektionsmöglichkeiten sind dabei an die äußeren Gegebenheiten, wie die Größe, Form, Farbe, das Material und die Oberfläche des realen Objektes gebunden. Wird Frontprojektion eingesetzt, kann es zudem, entweder aufgrund der äußeren Gestalt des zu bespielenden Objektes selbst oder durch Zuseher, die sich durch den Projektionsstrahl bewegen, zu störenden Schatten kommen. Diese können am besten durch ein gut durchdachtes Multi-Projektor-Setup behoben werden. Mit einer höheren Anzahl an Projektoren erhöht sich jedoch gleichzeitig auch die Komplexität für die Kalibrierung. Zudem steigt der Rechenaufwand, wodurch man beispielsweise bei einer gleichzeitigen Ausgabe von vier Full-HD-Videos auf einem Rechner, mit dem heutigen Stand der Technik, durchaus bereits an die Grenzen stoßen kann.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der Unterschied zwischen Betrachtungs- und Projektorenstandort. Ungeachtet dessen, wie Projektor und Projektionsfläche zueinander ausgerichtet sind, bleibt ein Problem bestehen: Wird auf ein komplexes 3D Objekt projiziert, so ist diese Projektion meist verzerrt und, da das Bild oft teilweise verdeckt wird, nicht vollständig einsehbar. Aus der Sicht des Projektors hingegen erscheint die Projektion korrekt und frei von jeglicher Verzerrung. Um diesem Aspekt entgegen zu wirken, muss man

den Standort des Publikums für die Projektion berücksichtigen und diesen derart konzipieren, dass der Betrachter zwangsläufig den angedachten Blickwinkel auf die Projektion erhält.

Dies ist auch für das Funktionieren von 3D Illusionen ausschlaggebend. Ein Objekt, das aus der Projektionsfläche virtuell hervorgehoben wird, erscheint in Folge dessen nur aus einer bestimmten Perspektive korrekt. Sobald man dieselbe Projektion von einem anderen Blickwinkel aus betrachtet, ist sie verzerrt und kann nicht mehr als real wahrgenommen werden.

Die Bildschärfe stellt eine weitere Schwierigkeit bei Projektionen auf nicht plane Oberflächen dar, da konventionelle Projektoren nur auf eine einzige, konstante Distanz zum Projektor fokussiert werden können. Je größer der Abstand zwischen nahestem und entferntestem Punkt der Projektionsoberfläche, desto komplizierter ist es, eine durchgehend scharfe Projektion zu erreichen. Eine Ausnahme stellen hierbei Laser Projektoren dar, die von diesem Effekt nicht betroffen sind, da hier der einzelne Laserpunkt und in Folge dessen das gesamte projizierte Bild stets gestochen scharf bleibt.

Bei handelsüblichen Projektoren ist der technische Aufbau jedoch sehr eingeschränkt. Hier kann man oft nur versuchen, die Position des Projektors so zu verändern, dass der Tiefenunterschied innerhalb der Projektionsfläche möglichst gering ist. Des Weiteren sollte die Brennweite der Projektorlinse so eingestellt werden, dass der größtmögliche Teil der Projektionsfläche als scharf zu erkennen ist.

Auch hinsichtlich des Bildinhaltes ist eine Projektion auf dreidimensionale Oberflächen mit deutlich mehr Aufwand verbunden. Im Bereich der Musikvisualisierung beispielsweise versucht ein guter VJ natürlich in jedem Fall auf die Musik einzugehen, bei nicht planen Oberflächen eröffnen sich ihm jedoch wesentlich mehr Möglichkeiten, da er hier auch die Eigenheiten der Projektionsfläche in seine Visualisierung mit einbeziehen kann.

Genau dieser Aspekt ist es auch, welcher den Reiz an alternativen Projektionen ausmacht. Bei Hausfassaden können etwa architektonische Elemente, wie darin enthaltene Türen, Fenster oder Säulen einzeln erleuchtet und dadurch animiert werden.

Im Vorprojekt für meine Diplomarbeit habe ich mich mit eben diesen Problematiken auseinandergesetzt, um ein Softwaretool zu realisieren, welches es ermöglicht, jedwede Oberfläche als Screen für Videoprojektionen zu verwenden. Somit sollen Videos auf einer alternativen Projektionsfläche (beispielsweise einer Statue, einem Auto, einer Hausfassade) verzerrungsfrei, also perspektivisch korrekt und auch in Farbe und Intensität angepasst, dargestellt werden können, sodass ein einheitlicher Übergang und in der Folge eine Verschmelzung zwischen realer und virtueller (projizierter) Welt entsteht.

Diese Diplomarbeit stellt nun neben dem technischen Hintergrund auch eine medientheoretische und kunstgeschichtliche Auseinandersetzung mit der Thematik dar.

1.1 Überblick

In Kapitel 2 wird zunächst auf das Wesen des Projektionismus aus unterschiedlichen Gesichtspunkten eingegangen. Der Grundgedanke dieser neuen Kunstform besteht in der Verwendung jeglicher Oberfläche als Projektionsfläche. Dadurch wird es ermöglicht, dem projizierten Bildmaterial eine neue Bedeutung zu geben. Einblicke in die Hintergründe dieser aktuellen Entwicklung werden vor allem durch die Definition des Projektionsbegriffes gewährt. Einige ausgewählte Projekte, die in diesem Zusammenhang entstanden sind, illustrieren die unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten rund um alternative Projektionsflächen. Außerdem wird vertieft auf Aspekte der inhaltlichen Gestaltung und der Wahrnehmung durch das Publikum eingegangen.

Kapitel 3 befasst sich mit verschiedenen Realisierungsmöglichkeiten für die Projektion auf nicht plane Oberflächen und veranschaulicht diese anhand von praktischen Beispielen. Die vorgestellten Lösungsansätze kommen dabei aus den unterschiedlichsten Gebieten, angefangen bei professionellen Softwarefirmen, die kommerzielle Produkte anbieten, über Medienkünstler, die sich mehr auf gestalterische Aspekte und den Interaktionsprozess konzentrieren, bis hin zu aktuellen Ansätzen aus dem Bereich der wissenschaftlichen Forschung, die nach immer neuen und besseren Lösungen strebt.

Eine Erläuterung der zugrundeliegenden Ideen für eine mögliche Umsetzung von Projektionen auf unebene Flächen findet sich in Kapitel 4. Dabei werden die unterschiedlichen Ansätze diskutiert und ein Überblick über den aktuellen Stand der Technik gegeben. Die Überlegungen umfassen dabei verschiedene Möglichkeiten für die Erfassung der zu bespielenden Objekte, unterschiedliche Ansätze für das Mapping der Bild- oder Videotexturen und verschiedene Lösungswege für die Korrektur in Geometrie und Farbgebung.

In Kapitel 5 wird schließlich auf die eigentliche Umsetzung des dieser Diplomarbeit zugrunde liegenden Projektes im Detail eingegangen. Die Programmierung erfolgte dabei in der Programmiersprache C++ unter Verwendung der OpenCV-Library. Die Anpassung an eine beliebige Oberfläche wurde mit Hilfe eines Pixel Displacement Mappings durchgeführt. Zur Ermittlung der dafür benötigten Korrekturparameter wurde ein Structured Light Scanning Verfahren implementiert, bei dem die Streifenmuster in Form einer Gray-Code Sequenz projiziert werden. Diese Daten konnten auch für eine zusätzliche Farbanpassung verwendet werden, die schließlich über arithmetische Bildoperationen erfolgte.

In Kapitel 6 finden sich eine Zusammenfassung und ein abschließendes Resümee zu dieser Arbeit. Dabei wird auf die wichtigsten Aussagen eingegangen, um diese dem Leser nochmals in kompakter Form zu veranschaulichen. Des Weiteren werden die unterschiedlichen aktuellen und zukünftigen Einsatzmöglichkeiten für Projektionen auf nicht plane Oberflächen angesprochen und es wird ein Ausblick auf mögliche künftige Entwicklungen gewährt.

Kapitel 2

Projektionismus – Alles ist Leinwand!

Der Titel dieses Kapitels nimmt Bezug auf ein Zitat des austro-britischen Filmemachers Frederick Baker, welcher in seinem Buch „The Art of Projectionism“ [2] den Begriff des Projektionismus als die Kunst, ein Bild auf eine Fläche zu projizieren und damit ein anderes Bild zu kreieren, definiert:

Im Projektionismus gibt es keine Leinwand im traditionellen Sinn. Stattdessen ist jede Oberfläche eines jeden Gegenstandes an jedem Ort eine mögliche Leinwand. [2, S. 194]

Dadurch, dass jede Art von Körper als Projektionsfläche genutzt werden kann, entsteht in gewisser Form eine Verschmelzung zwischen dem Objekt und dem darauf projizierten Bildinhalt. Es werden demnach nicht nur Bilder gezeigt, sondern neue Bilder erschaffen.

In den folgenden Abschnitten soll aufgezeigt werden, welche Hintergründe zur Entstehung dieser neuen Kunstform geführt haben und welche Möglichkeiten sich durch die Nutzung alternativer Projektionsflächen erschließen.

2.1 Projektion – Projektor – Projektionismus

Projektoren sind heute auch abseits vom Kinosaal überall für jedermann zugänglich. Ihre immer billiger und besser werdende Technik erlaubt es, mehr und mehr Menschen von ihnen Gebrauch zu machen. Der Ursprung der Projektion liegt jedoch weit vor der heutigen modernen Veranstaltungstechnik.

Das Spiel von Licht und Schatten wurde bereits in der antiken Philosophie thematisiert und findet sich hier beispielsweise in den Ausführungen Platons als bildliche Darstellung zu seinem Höhlengleichnis¹ wieder. Hier gab es zwei Quellen für die Projektion: das Feuer und die Sonne. Die Schatten,

¹<http://gutenberg.spiegel.de/platon/politeia/politeia.htm>

die durch das Feuer entstehen, entsprechen dabei der sinnlichen Wahrnehmung, während die Welt im Tageslicht die Ideen und Gedanken repräsentiert. Diese Ideen sind infolgedessen das Wirkliche der Welt und die uns erscheinende Raumwelt besteht nur aus Schattenbildern dieser. Die Aussage des Höhlengleichnisses kann daher gedeutet werden, als dass die Denkkraft nicht auf das sinnlich Wahrnehmbare der uns unmittelbar umgebenden Welt zu lenken sei. Hingegen sollte man sich auf das, was hinter dieser Welt liegt, beziehungsweise auf den ideellen Ursprung dieser Welt, konzentrieren².

Abseits dieses erkenntnistheoretischen Beispiels, spielen Schatten auch in der Kulturgeschichte eine wichtige Rolle. In Malerei, Fotografie und Film sind Schatten wirkungsvolle Ausdrucksmittel und in der darstellenden Kunst repräsentiert das Schattentheater sogar ein eigenes Genre.

Durch Licht entstehen jedoch nicht nur Schatten, es lässt auch Farben erstrahlen. In Annäherung an natürliche Farbprojektionen, wie etwa das Polarlicht oder Regenbögen, wird durch die kunstvolle Bemalung von Glasfenstern ein beeindruckendes Farbschauspiel erzielt, welches bereits seit der Zeit der Römer, vor allem im sakralen Bereich, seine Verwendung findet.

Das Projekt „1st Light“ [18] des in Amerika lebenden Chinesen Paul Chan aus dem Jahr 2005 erinnert sehr an diese Tradition. Gleichsam wie die Fenster von gotischen Kathedralen beschränkt sich Chans Narration auf wenige, ausdrucksstarke Bilder. Es handelt sich dabei um eine Anspielung auf die Anschläge des 11. Septembers 2001, welche in der Kunst der 0er Jahre ein zentrales Thema darstellten.

Das computeranimierte Video beschäftigt sich mit Glauben und Erlösung in einer Zeit, die von Krieg, Konsum und Terror regiert wird. In der Bodenprojektion fallen die schattenhaften Silhouetten von Körpern und Alltagsobjekten zu Boden und steigen gleichermaßen gen Himmel auf (siehe Abb. 2.1).

Die eigentliche Geschichte der heutigen Projektionstechnik begann mit der Entwicklung der „Camera Obscura“, die vom Prinzip her ähnlich einer Lochkamera funktioniert und somit den Ursprung von Fotografie, Film und der Projektion von Bildern darstellt [10].

Nach dem umgekehrten optischen Prinzip funktioniert die „Laterna Magica“, eine Projektionsvorrichtung, die Mitte des 17. Jahrhunderts vermutlich vom niederländischen Physiker Christiaan Huygens erfunden wurde. Ausgehend von Rasmussen Walgenstein wurde die Laterna Magica durch die „Laternisten“ schließlich in ganz Europa bekannt [20].

Beliebtestes Motiv waren damals Geisterdarstellungen, die sogenannten „Phantasmagorien“ [15, S. 137–161]. Aufgrund der Wirkung dieser Projektionen war die Laterna Magica auch unter „Laterne der Angst“ bekannt.

Auch in modernen Medienkunstwerken wird diese Idee aufgegriffen. Das

²<http://de.wikipedia.org/wiki/H%C3%B6hlengleichnis>

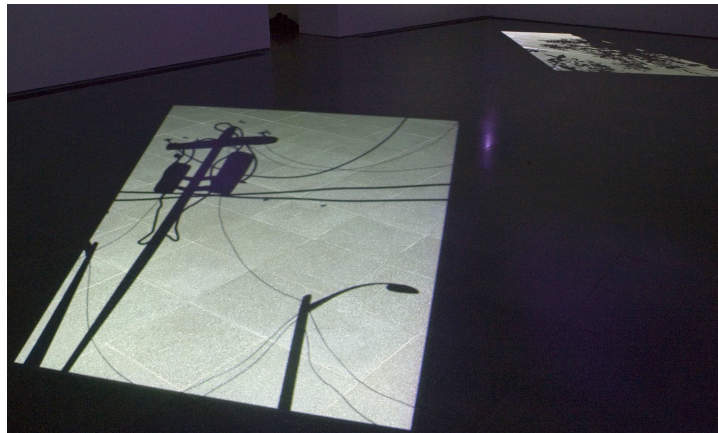


Abbildung 2.1: Ausschnitt aus der 14-minütigen Videoprojektion „1st Light“ von Paul Chan. (Bildquelle: <http://www.serpentinegallery.org/Paul%20Chan%20.jpg>)

Werk „Influencing Machine“³ von Zoe Beloff erzählt die Geschichte einer Wiener Philosophiestudentin, welche Anfang des 20. Jahrhunderts schilderte, dass ihre Gedanken von einem seltsamen elektrischen Apparat manipuliert und kontrolliert werden würden.

Zoe Beloff erweckt diese ominöse Maschine, die für die Halluzinationswelt der Studentin verantwortlich sein soll, in Form einer interaktiven Stereoprojektion zum Leben. Eine Mischung aus frühen medizinischen Filmen, Heimkino, populären Songs der 1920er und -30er Jahre, Werbefilmen, Kurzwellensounds, sowie Aufnahmen atmosphärischer und geomagnetischer Störungen, erlaubt das Eintauchen in die mentale Topografie einer Schizophrenen.

Projektion kann jedoch nicht nur als die Übertragung eines Bildes auf eine Projektionsfläche verstanden werden. Die Übertragung von Gefühlen und Gedanken steht damit ebenso in Verbindung. Diese können auch dazu beitragen ein inneres, mentales Kino zu erschaffen, in welchem, durch den Einsatz von Vorstellungskraft, Bilder vor dem geistigen Auge entstehen. Dadurch und durch ein hohes Maß an Kreativität gelingt es Medienkünstlern, die Arten von Inhalten und Botschaften zu kreieren, die es erlauben, die Möglichkeiten der Projektion und in der Folge des Projektionismus auf höchstem Niveau auszuschöpfen.

Der Geist mag dazu neigen, seine Meinungen zu verbreiten (im wörtlichen und übertragenen Sinn), aber die Sichtweise wird immer von dem Standpunkt des Betrachters abhängen – beispielsweise die Frage, wer als schön gilt. Oder auch: Es hängt davon ab, auf welche Oberfläche das gesendete Bild trifft. [2, S. 193]

³<http://www.zoebeloff.com/influencing/>

2.2 Inhalt – Material – Materialästhetik

Die projizierten Bilder und Videos stellen häufig eine Remediation von bekannten Inhalten dar. Unter dem Begriff des Projektionismus versteht man insbesondere auch die Projektion eines alten Films auf eine Reihe verschiedener Oberflächen mit anschließendem Filmen des daraus resultierenden Ergebnisses. Projektionismus ist demzufolge eine Kunstform, die Film- oder Videoprojektionen einsetzt, um neue Filme zu gestalten. Bestehendes wird verwendet, um etwas Neues daraus zu erschaffen.

Ein weiterer zentraler Aspekt im Projektionismus ist die Verwendung der Oberflächenbeschaffenheit als zusätzliche Ausdrucksform. Jedes Objekt besitzt eine Oberfläche, deren Beschaffenheit sich aus einem nahezu unendlichen Vorrat an Strukturen und Farben bedient. Dabei kann jeder Gegenstand, in Abhängigkeit von Licht und Beleuchtung, endlose Darstellungsformen beziehungsweise Farben annehmen. Die Oberfläche verleiht dem auf sie projizierten Bild eine Bedeutung. Daher ist es besonders wichtig, das am besten geeignete Bild für die gewählte Oberfläche zu finden.

Diese beiden Punkte sind auch im aktuellen Werk der deutschen Medienkünstlerin Susanne Weirich „Angels in Chains“⁴ zu finden, welches sich mit der Geschichte des Sektenführers Charles Manson auseinandersetzt. Weirich zeigt darin Parallelen zwischen den drei Frauen, die damals die Tate/La Bianca-Morde für Manson durchgeführt haben und der Krimiserie und dem späteren Kinohit „Charlies Angels“ auf. So erzielten auch die drei Mörderinnen einen gewissen Medienrum und ihre Auftritte in der Öffentlichkeit wirkten professionell inszeniert. Charly war in der Serie nie direkt zu sehen, gleichsam wie Charles Manson, der immer im Hintergrund blieb und die Aufträge erteilte. Es findet demnach auch hier in gewisser Form eine Remediation statt. Für die Installation verwendete Weirich zudem Technik aus dem Jahre 1969, dem Jahr in dem die Morde passierten.

Zentrales Element ist eine Videoprojektion der drei Frauen, gemimt von Schauspielerinnen unterschiedlichen Alters, die ein Lied von Charles Manson wiedergeben, welches die Mörderinnen damals auch im Gerichtssaal sangen. Das Videomaterial wird dabei auf spezielle Scheiben projiziert, wodurch eine Art Glaskugeleffekt erzielt wird, welcher der Darstellung etwas Entferntes, Unwirkliches, Mysteriöses verleiht (siehe Abb. 2.2). Die Oberfläche schenkt demnach auch in diesem Fall dem auf sie projizierten Bild eine Bedeutung. Hier soll ausgedrückt werden, dass sich die Frauen im Gefängnis und daher fernab von der wirklichen Welt befinden.

Eine andere Gestaltungsform für Projektionen ist die Verwendung als eine Art Graffiti, was beispielsweise durch das Tagtool Projekt⁵ in sehr ausgereifter Form ermöglicht wird (siehe Abb. 2.3). Hierbei können Bilder auf

⁴<http://www.susanneweirich.com/work/work-index.html>

⁵<http://www.tagtool.org/wp/>

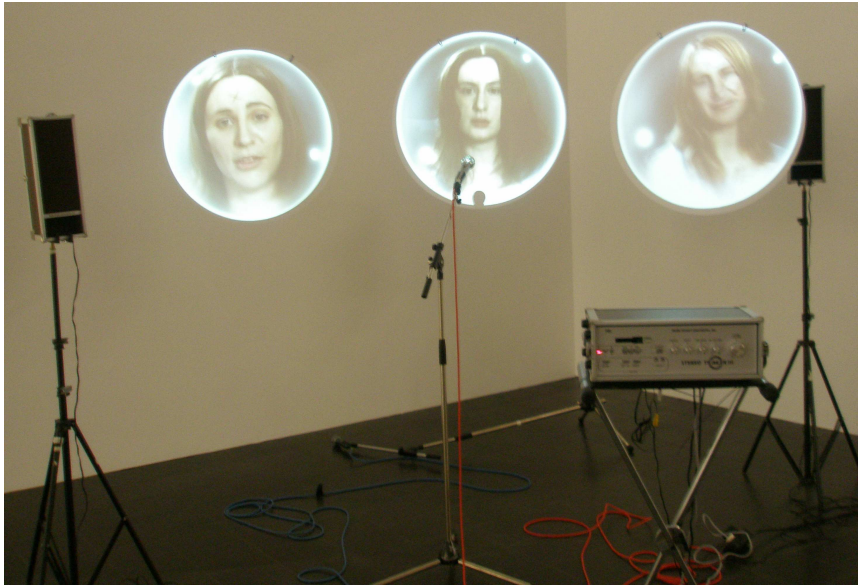


Abbildung 2.2: Die Videoprojektionen auf kreisrunden Scheiben zeigen die wechselnden Gesichter der Sängerinnen in Kristallkugeln. Sie verschmelzen mit den Darstellerinnen der TV-Serie und den Kino-Remakes von „Charlie’s Angels“. (Bildquelle: http://farm4.static.flickr.com/3618/3579026339_3bf738cfba_o.jpg)

einem Grafiktablett gezeichnet werden, welche dann mit Hilfe eines Gamepads animiert werden. Die so entstandenen Animationen können schließlich über einen angeschlossenen Projektor auf eine beliebige Oberfläche übertragen werden.

Graffiti werden bekanntlich auch häufig dazu eingesetzt, politische Ansichten zu verbreiten. In dieser Tradition kann Projektion auch als Form politischen Protests eingesetzt werden, indem beispielsweise Graffiti auf Wände projiziert werden, von denen diese entfernt wurden. Frederick Baker griff diese Idee für seine dreiteilige Dokumentation „Erosion und Wi(e)derstand“⁶ auf, in der die Entwicklung des Widerstandes gegen die Regierung „Schwarz-Blau“ gezeigt wird. Er projiziert darin verschwundene Graffiti zurück auf die früher damit verzierten Häuserfassaden und Straßenschilder (siehe Abb. 2.4).

Diese verwendeten Oberflächen haben somit einen gewissen Bezug zur Geschichte des projizierten Materials, sind sogar ein Teil von ihr. Durch Positionierung am selben Ort aber zu einer anderen Zeit und mit anderer Technologie wird in Form von Remediation auch hier ein neues Bild aus bestehenden Komponenten erschaffen.

⁶http://www.czernin-verlag.com/baker/baker_imagegallery/gallery_erosion/

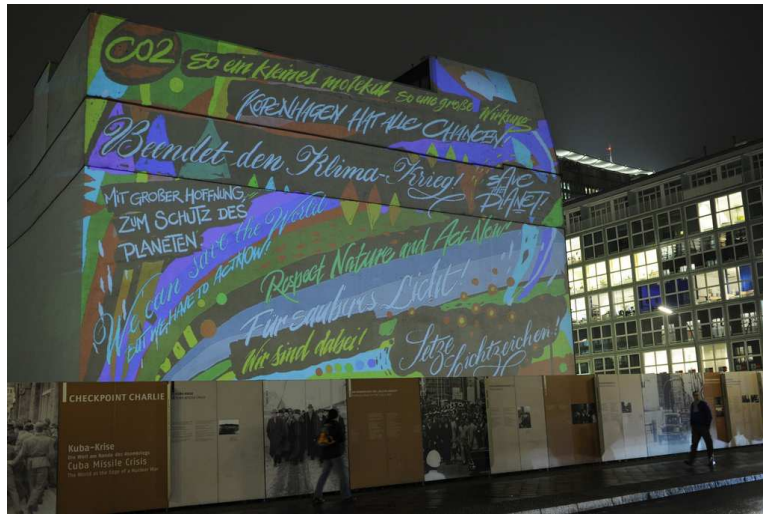


Abbildung 2.3: Tagtool Performance am Checkpoint Charlie in Berlin im Dezember 2009. (Bildquelle: <http://www.tagtool.org/wp/2009/12/14/checkpoint-charlie/>)

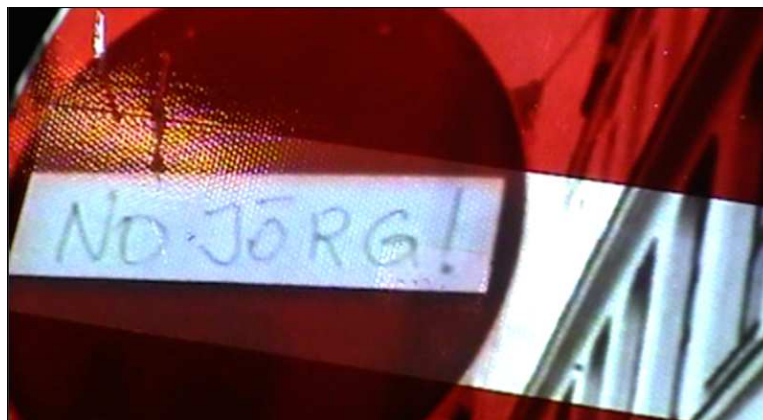


Abbildung 2.4: Für Frederick Bakers dreiteilige Dokumentation „Erosion und Wi(e)derstand“ wurden verschwundene Graffiti zurück auf die früher damit verzierten Häuserfassaden und Straßenschilder projiziert. (Bildquelle: http://www.czernin-verlag.com/baker/baker_imagegallery/gallery_erosion/)

Frederick Baker sieht im Projektionismus eine Art *Archäologie der Zukunft* [2, S. 202], da es die Projektion ermöglicht, Bedeutungen aufzudecken. Hier jedoch nicht durch das Freilegen, sondern durch die Zugabe von neuen Schichten.

2.3 Wahrnehmung und Botschaft

Der Gedanke, dass das Design selbst zum Kommunikationsmittel werden kann, ist auch eine grundlegende Ansicht in den Theorien von Marshall McLuhan (siehe [16, S. 39–76]). Medien, so McLuhan, sind Techniken und Methoden, Wissen und Erfahrungen in neue Modi zu übertragen – sie sind Metaphern. Deshalb sind für ihn die Formen und nicht die Inhalte das zentrale Thema. Das Medium, nicht dessen Inhalt hat Auswirkungen auf die menschliche Situation, auf die Wahrnehmungen und Empfindungen. Daher auch seine Botschaft: *The medium is the message!*

Medien sind folglich nicht nur Überbringer der Botschaft, sondern auch selbst die Botschaft. McLuhans Medienbegriff ist dabei sehr weit gefasst – er inkludiert fast alles, was der Kommunikation und Verbindung dient. So kann das Medium selbst wiederum aus anderen Medien bestehen, die gleichsam die Message sind. Auf den Projektionismus bezogen bedeutet dies, dass hier nicht nur das projizierte Video- oder Bildmaterial als Medium zu nennen ist, sondern auch der Projektor, der selbst als aktives Subjekt agiert, kann als eigenständiges Medium betrachtet werden.

Eine der ersten Diaprojektionen in der Kunst stellt „Project for Slide Projector“ [18, S. 5] von Dan Graham dar, der sich verstärkt mit medien-theoretischen Untersuchungen zum Wahrnehmungsvorgang auseinandersetzte. Sein Werk erhob somit den Diaprojektor vom reinen Präsentations- und Dokumentationsmittel zu einem künstlerischen Medium.

Mit dem Projekt begann er bereits 1966, fertigte Versuchsaufnahmen an und veröffentlichte ein Konzeptpapier. Erst 2005 kam es schließlich zu einer vollständigen Realisierung, bei der ein Glasquader insgesamt fünfmal von allen vier Seiten abfotografiert und nach jeder Umrandung ein neuer Quader eingefügt wurde. Die daraus entstandenen Dias werden in vier Kopien nacheinander in das Magazin des Projektors eingelegt, wobei der zweite und vierte Satz der Dias spiegelverkehrt eingelegt wird, wodurch der Eindruck einer zweifachen Zoom-Bewegung ins Innere des Objekts und wieder hinaus vermittelt wird (siehe Abb. 2.5).

Neben dem Inhalt der Projektion und dem Projektionsgerät stellt nun natürlich auch die Projektionsfläche selbst ein drittes wichtiges Kommunikationsmedium dar, in dem sie als Kontaktmedium eingesetzt wird.

In diesem Sinne werden im Video der Pet Shop Boys „Se A Vida E (That’s the way life Is)“⁷ aus dem Jahre 1996 die Interpreten selbst zum Medium für ihre Botschaft, indem ihre Körper als Projektionsflächen verwendet werden.

Durch diese zusätzliche Ausdrucksform, welche die Oberfläche liefert, ist deren Wahl im Projektionismus ebenso wichtig, wie die des zu projizierenden Bildmaterials selbst. Die Projektionsfläche kann beispielsweise Verzerrungen

⁷<http://www.youtube.com/watch?v=JEiSeih-gaU>



Abbildung 2.5: Installation von „Project for a Slide Projector“ von Dan Graham aus dem Jahr 2005. (Bildquelle: http://www.orchard47.org/images/photos/Dan_Graham_Part2.jpg)

verursachen, wodurch ähnliche Effekte wie im Kubismus oder speziell bei Picasso entstehen. Dies mag jedoch nicht immer gewollt sein, da dadurch die Verschmelzung zwischen Oberfläche und Projektion behindert werden könnte und es in Folge dessen zu einer Verfremdung der vom Künstler gewünschten Botschaft kommt.

Im Idealfall sollten Oberfläche und Projektion stimmig sein und miteinander interagieren. Erst dadurch wird es möglich den projizierten Bildern eine neue Bedeutung beizumessen. Über die Verfremdung, die dabei entsteht, wenn berühmte und bekannte Sequenzen auf neue Hintergründe treffen, bekommen diese „abgedroschenen“ Szenen eine neue Wirkung. Der Betrachter kann das Bild in seinem eigenen Kontext sehen, wodurch für ihn eine neue Sichtweise und in der Folge eine neue Bedeutung geschaffen wird.

Projektionismus ist somit in gewisser Form auch ein visuelles Spiel mit dem Publikum. Wenn das projizierte Bildmaterial Ideen und Geschichten transportiert, besteht auch Raum für Interpretationen, sodass sich der Betrachter sein eigenes Bild machen kann. Essentiell ist demnach nicht nur die physische Position des Projektionsstrahls, sondern gleichermaßen die emotionale Position des Betrachters.

Vielleicht ist der Projektionismus dadurch auch eine Lösung für den vom deutschen Philosophen Walter Benjamin so stark kritisierten *Verfall der Aura* [4, S. 136–169]. Benjamin sieht im herkömmlichen Film die Verwirklichung des Programms des Dadaismus. Er hebt dabei besonders die Unterschiede zwischen Filmschauspielerei und Bühnenschauspielerei hervor. Der Bühnenschauspieler, der direkt vor seinem Publikum spielt, kann auf dieses eingehen.

Durch seine Bühnenpräsenz wird eine Aura ausgestrahlt und dem Zuseher wird es dadurch besser ermöglicht, sich in ihn hinein zu versetzen.

Der Filmdarsteller hingegen spielt vor einer Apparatur, wodurch keine Reaktion vom und kein Kontakt zum Publikum möglich ist. Zudem spielt er nur Bruchstücke einer Rolle, da der Handlungsablauf später auf technischem Wege zusammengesetzt wird.

Obwohl beim Projektionismus zumeist herkömmliches Filmmaterial verwendet wird, wird dieses meist live vor Publikum abgemischt und projiziert, wodurch eine Reaktion auf, oder sogar eine Interaktion mit den Zusehern entstehen kann. Folglich werden die von Benjamin beschriebenen Vorzüge des traditionellen Theaters im Projektionismus in gewisser Weise auch für den Film ermöglicht.

Benjamin kritisiert die neuen Vervielfältigungsmedien seiner Zeit jedoch nicht nur im negativen Sinne, sondern auch positiv in Form der Verbreiterung der Bildungsmöglichkeiten und der größeren Zugangsmöglichkeiten der Menschen zu Kultur und Kunst. *Die Kathedrale verlässt ihren Platz* [4, S. 13] und kommt zu den Menschen.

Benjamin erkennt ganz klar den Zusammenhang zwischen der Veränderung der Wahrnehmung und der gesellschaftlichen Umwälzung, also zwischen Medientechniken und sozialen und politischen Verhältnissen. Speziell beim Film spricht er hier die Verringerung der Distanz zum Alltag an, da, seiner Ansicht nach, jeder zum Schauspieler oder Produzenten werden kann.

Dies ist auch für den Projektionismus der Fall. Dadurch, dass Projektoren heute für immer mehr Menschen zugänglich sind, kann jeder seine Botschaft im Großformat in die Welt hinaus projizieren.

2.4 Raum und Zeit

Gerade im heutigen Zeitalter der reproduzierbaren Medien wird durch individuelle mediale Gestaltungskonzepte von öffentlichen Räumen ein klarer Bezug von Zeit und Raum geschaffen. Dadurch stellen diese Medieninstallationen in gewisser Form unverwechselbare Unikate dar.

Im einundzwanzigsten Jahrhundert besteht der Trick darin, die Produkte von reproduzierbareren Kunstformen auf eine einzigartige Weise zu reproduzieren. [2, S. 244]

Besonders der Faktor Zeit spielt hierbei eine wesentliche Rolle. So sind Projektionen, die im Freien stattfinden, natürlich auch von der Tageszeit abhängig, da möglichst wenig Streulicht vorhanden sein sollte. Das optimale Timing ist jedoch auch im Hinblick auf das zu projizierende Material grundlegend. Verschiedene Techniken führen hier zu unterschiedlichen Ergebnissen in der Wahrnehmung. Standbilder können beispielsweise dazu eingesetzt werden, um wie eine Tapete eine zusätzliche Schicht über eine Oberfläche

zu legen. Sehr häufig werden jedoch auch kurze Clips in Form von Loops, also Serien von sich wiederholenden Videosequenzen, eingesetzt. Durch die Wiederholung entsteht dabei ein Wiedererkennungswert beim Publikum, wodurch das Gesehene leichter in dessen Bewusstsein übergeht. Des Weiteren können auch interessante Effekte durch die Rückprojektion von Echtzeit-Kameraaufnahmen erzielt werden.

Neben dem optimalen Timing ist auch die zeitliche Abfolge der gezeigten Bilder essentiell. Abseits der klassischen Kinoprojektion ist hierbei wesentlich mehr Spielraum geboten. Der Einsatz von Effekten wie Zeitraffer oder Standbild macht die Zeit dabei manipulierbar. Durch die Projektion auf parallele Oberflächen kann sogar eine Verknüpfung innerhalb von Zeit und Raum erzielt werden. Projiziert man beispielsweise die Geschichte eines Gebäudes auf dessen Fassade, so kann dadurch ein geistiger Raum entstehen, der sich über die Grenzen der Zeit erstreckt. Die Örtlichkeit selbst ist ebenfalls nicht starr, sondern veränderlich. Durch die Projektion können Räume zum Leben erweckt werden und es ist dadurch sogar möglich, eine wahrnehmungsmäßige Transformation an einen anderen Ort zu erzielen.

Im Allgemeinen lassen sich Objekte nur in bewegter Form vollkommen wahrnehmen. Dabei beeinflusst die Art und Weise der Bewegung die Erfahrung des Objektes wesentlich. Es macht einen entscheidenden Unterschied, ob ein Objekt nur kurz beim Vorbeilaufen oder für längere Zeit, beispielsweise während einer Ausstellung, betrachtet wird. Genauso ändert sich die Wahrnehmung, wenn ein Objekt nur aus der Ferne beobachtet oder in der eigenen Hand gehalten wird. Jedes Mal entsteht ein anderes Bild.

Die Erfahrung wird demnach stark von den relativen Abständen zwischen Betrachter und Objekt und deren Bewegungsabläufen beeinflusst. Für realitätsnahe Simulationen von Objekten in Raum und Zeit bedeutet das, dass jeder Darstellung eine durchdachte Dramaturgie zugrunde liegen muss, die die relativen Beziehungen zwischen Betrachter und Objekt nicht nur berücksichtigt, sondern bewusst strukturiert.

Raum und Zeit sind auch die zentralen Aspekte in der künstlerischen Forschung und den damit verbundenen Projekten des spanischen Medienkünstlers Pablo Valbuena. Seine Ausbildung in Form eines abgeschlossenen Architekturstudiums in Madrid spiegelt sich sehr stark in seinen Arbeiten wider. Virtuelle Räume werden dabei auf real existierende Räume, entweder in Form von bestehenden Gebäuden oder von ihm selbst erschaffenen Gebilden, projiziert. Der Künstler greift hierbei Teile der existierenden Architektur auf und erweitert diese durch Linien und Formen.

Kanten von Objekten bilden im 3D Raum unzählige Linien. Durch diese imaginären Verbindungen werden räumliche Tiefe und Abstände definiert, wodurch bei gezieltem Einsatz, Strukturen gebildet werden können, die nahezu jeden vorstellbaren Raum simulieren. Bereits mit wenigen dieser Linien kann dabei eine einfache räumliche Struktur angedeutet werden, ergänzt durch Flächen ist die Darstellung von komplexen Raumgebilden möglich.

Flächen können dabei in gleicher Weise imaginär auftreten, beispielsweise als Negativform von Umgebungsflächen oder aus dem Zusammenspiel mehrerer kleinerer Gestaltungselemente. Einfache Flächenausformungen, wie Quadrat, Kreis oder Dreieck, bilden die Grundlagen jeder komplexen Struktur im zweidimensionalen Raum.

Durch eine Momentaufnahme mehrerer in die dritte Dimension verschobener beziehungsweise verdrehter Gestaltungselemente entsteht schließlich Volumen. Diese Definition von umschlossenem Raum eröffnet gleichzeitig eine Vorstellung von unendlichem, den eingeschlossenen Bereich umgebenden, Raum. Die gesamte Umwelt wirkt dabei als Negativform des dargestellten Objektes.

Valbuena nützt diese Gestaltungselemente, um damit einen projizierten Raum entstehen zu lassen, der den existierenden Raum mit der gedanklichen Form einer neuen Realität vereint, wodurch in der Folge eine veränderte Wahrnehmung der physischen Geometrie erzielt wird.

I am interested in using light as a physical material, suitable for building space like concrete or bricks. I use video projection with perspective and anamorphosis techniques to build “perceptual extensions” of the actual physical space, extending the limits of what is physically real to what is perceptually real.⁸

Sein Werk „Augmented Sculpture Series“ (siehe Abb. 2.6) wurde unter anderem 2007 beim Ars Electronica Festival⁹ gezeigt. Es handelt sich dabei um eine Medieninstallation, die sich mit der zeitlichen Qualität von Raum und seiner konstanten Veränderung auseinandersetzt:

This project is focused on the temporary quality of space, investigating space-time not only as a three dimensional environment, but as space in transformation.¹⁰

Ein etwas anderes Konzept verfolgt das Projekt MobiSpray¹¹ von Jürgen Scheible. Dabei geht es weniger um das Mapping an sich, als vielmehr um das Bemalen von Gebäuden (siehe Abb. 2.7).

Mit Hilfe eines Handys, das die Funktion einer virtuellen Spraydose übernimmt, können hierbei in Echtzeit großflächige Freihandzeichnungen angefertigt werden. Dafür wählt man zunächst im Menü die gewünschte Farbe und den Spraykopf mit der passenden Textur aus. Die Handgestik wird dann durch den integrierten Bewegungssensor im Handy aufgenommen und per Bluetooth oder W-LAN an einen Projektor übertragen, der das Graffiti auf

⁸<http://www.v2.nl/archive/people/pablo-valbuena>

⁹http://www.aec.at/festival_about_de.php

¹⁰<http://www.pablovalbuena.com/>

¹¹<http://www.mobispray.com/>

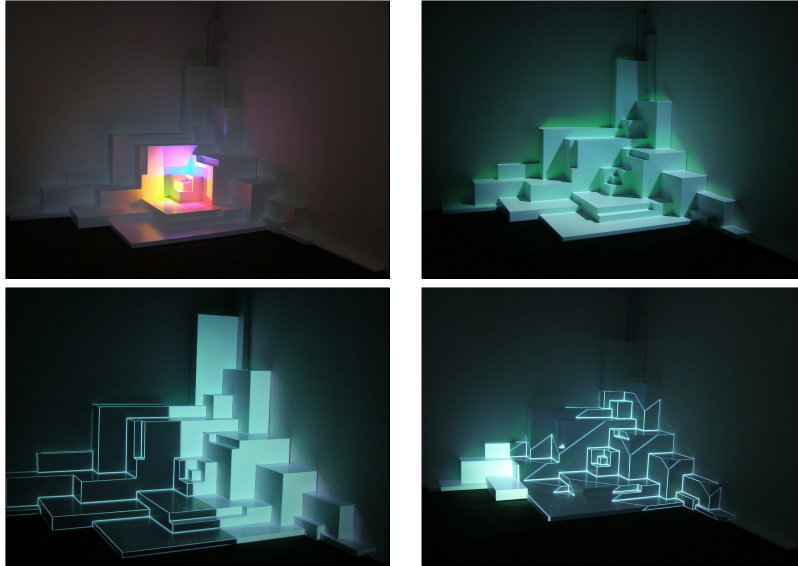


Abbildung 2.6: Ausschnitte aus „Augmented Sculpture Series“ von Pablo Valbuena. Durch die Projektion auf eine dreidimensionale, aus Kuben bestehende Skulptur wird ein derartiges Zusammenspiel aus Licht, Schatten und Farbe erzielt, sodass die Illusion eines transformierten Raumes entsteht. (Bildquelle: http://www.aec.at/bilderclient_en.php?iAreaID=491)



Abbildung 2.7: MobiSpray Performance beim CASZUIDAS Urban Screen Festival im September 2009 in Amsterdam. (Bildquelle: <http://www.festival.caszuidas.nl/files/file/mobispray.jpg>)



Abbildung 2.8: Die zehn Tonnen schwere Beschattungsanlage für die Nurglas-Fassade des Kiefer Technic Schauraums wurde mit dem Internationalen Architecture Award 2008 des amerikanischen Museums für Design und Architektur ausgezeichnet. (Bildquelle: <http://www.worldarchitecture.org/world-buildings/world-buildings-detail.asp?position=detail&no=1757>)

die gewünschte Oberfläche projiziert. Dadurch können ganze Häuser virtuell angesprüht werden. Ziel ist wiederum die veränderte Wahrnehmung:

By adding something new (the painting) to something that already exists (a building or rock), a new whole is created. [29, S. 7]

Aber auch abseits von Medieninstallationen gewinnt das Prinzip der Oberfläche als Gestaltungselement immer mehr an Bedeutung. So gibt es auch in der Architektur zurzeit den Trend hin zu dynamischen Fassaden, bei denen auch die Nutzung von Projektionen diskutiert wird. In diesem Fall geht es jedoch nicht nur um einen passiven Gebrauch der Fassade als Projektionsfläche, sondern durch bewegliche Fassaden kann auch eine aktive Interaktion ermöglicht werden. Die Diskussion geht hierbei vor allem um die Divergenz zwischen funktionaler und mechanischer Rolle der Fassade gegenüber ihrem ästhetischen Anspruch.

Eine sehr gute Umsetzung eines derartigen Konzepts stellt der Kiefer Technic Schauraum in Bad Gleichenberg¹² dar. Die Beschattungsanlage für die Glasfassade dieses Gebäudes besteht aus 112 Metallkassetten, welche durch 56 Motoren individuell, stufenlos und lautlos bewegt werden können (siehe Abb. 2.8). Neben dem funktionellen Aspekt des Sonnenschutzes wird hierdurch auch ein hohes Maß an Gestaltungsfreiheit geboten.

¹² <http://www.kiefertechnic.at/>

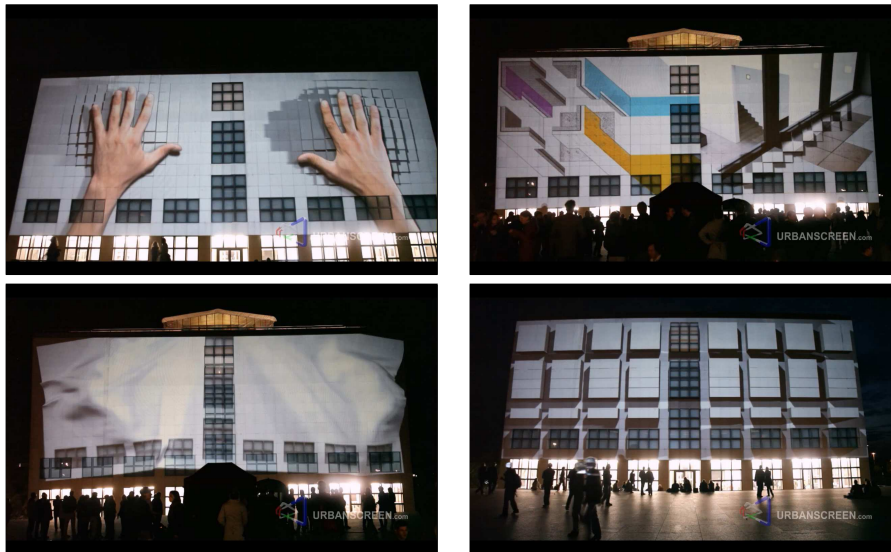


Abbildung 2.9: Ausschnitte aus der Fassadenprojektion auf die Hamburger Kunsthalle im Rahmen des Projekts „555 KUBIK – How it would be, if a house was dreaming“ von Urbanscreen. (Bildquelle: <http://vimeo.com/5595869>)

Den kreativen Umgang mit Architektur als Projektionsfläche machte auch die Gruppe Urbanscreen¹³ zu ihrem zentralen Konzept. Unter dem von ihnen geprägten Begriff der „Lumentekur“ entstehen passgenaue Medieninstallationen in Form von Großraumprojektionen auf urbanen Oberflächen. Zentraler Ausgangspunkt jeder ihrer Produktionen ist dabei die Architektur beziehungsweise der räumliche Kontext.

Aus den Begriffen Lumen (photometrische Einheit des Lichtstroms) und Architektur zusammengesetzt, beschreibt Lumentekur die Erweiterung architektonischer Gestaltung um eine Lichtprojektion, die auf die Funktion des Gebäudes abgestimmt ist. [3]

Das Projekt „555 KUBIK – How it would be, if a house was dreaming“¹⁴ (siehe Abb. 2.9) ist ein sehr eindrucksvolles Beispiel ihrer Arbeit. Dabei wurde die Fassade der Hamburger Kunsthalle in ein neues Licht getaucht. Das Konzept leitet sich auch hier aus der zugrundeliegenden Architektur ab.

Die Grundidee der Erzählung ist dabei das Auflösen und Durchbrechen der strengen Architektur des Kunsthauses. Durch exakte Vermessung wird die Projektion genau an den Aufführungsort angepasst. Reale Strukturen erfahren demzufolge eine Überlagerung mit einer passgenauen virtuellen Haut.

¹³<http://www.urbanscreen.com>

¹⁴<http://www.vimeo.com/5595869>

Dadurch wird eine direkte Bezugnahme und Interaktion mit dem Hintergrund ermöglicht. Die Fassade ist hier nicht mehr nur passive Leinwand, sondern wird selbst zur aktiven Spielfläche.

Für die technische Umsetzung des Projekts kam das System „MXWendler“¹⁵ vom deutschen Unternehmen device+context zum Einsatz. Es besteht aus einem Medienserver, konzipiert für komplexe Bühnenbilder, Fassadenprojektionen und LED-Wände und der dazugehörigen Software (siehe [11]).

Die Verwendung eines Medienservers mit entsprechenden perspektivischen Korrekturfunktionen stellt jedoch nur eine mögliche Umsetzungsform dar. Es gibt noch eine Reihe anderer Lösungen für Projektionen auf nicht plane Oberflächen, die im folgenden Kapitel näher beschrieben werden.

¹⁵<http://www.mxwendler.net/>

Kapitel 3

Realisierungsmöglichkeiten

Bei der Projektion auf nicht plane Oberflächen unterscheidet man grundsätzlich zwischen mehreren verschiedenen Herangehensweisen, welche in den folgenden Abschnitten erläutert werden.

3.1 Vorkorrigierter Content

Stehen die räumlichen Verhältnisse der Projektoren und Projektionsflächen bereits im Vorhinein klar fest, ist es möglich, diese auszumessen und dadurch die gesamte Projektion entsprechend zu entwerfen und zu kontrollieren.

Die erste Aufgabe besteht daher in der Anfertigung eines möglichst detaillierten Planes der realen Umgebung. Die wichtigsten Parameter, die hierbei gemessen werden müssen, sind die Entfernung und der Höhenunterschied zwischen Projektor und Projektionsfläche, die Höhe und Breite dieser und die Position von Elementen, die in der Projektionsfläche vorkommen und später in der Animation berücksichtigt werden sollen. Ein Beispiel hierfür wären die Fenster und Türen in einer Häuserfassade.

Mit Hilfe dieser Werte wird in der Folge ein virtuelles 3D Modell der realen Projektionsfläche erstellt. Dadurch wird es beispielsweise ermöglicht, die realen Kanten der zu bespielenden Elemente einzeln zu beleuchten. Je näher dabei das virtuelle Modell dem realen Objekt kommt, desto beindruckender wird das Projektionsergebnis. Damit dieses auch perspektivisch mit den realen Gegebenheiten übereinstimmt, werden die gemessenen Ausrichtungsdaten des Projektors verwendet, um eine virtuelle Kamera genau an dessen Stelle zu platzieren. Der Kamerawinkel wird dabei durch die Höhe und Breite der Projektionsfläche vorgegeben.

Rendert man die Szene nun aus Sicht dieser Kamera, erzielt man eine perspektivisch korrekte Darstellung der Animation, welche dann, ohne weitere Anpassung an die realen Gegebenheiten, über den Projektor abgespielt wird.

Dadurch, dass man bei der eigentlichen Projektion keinen Einfluss mehr



Abbildung 3.1: Bikini-Gala in Wien, bei der die Künstlergruppe Lichttapete die Wände mit Diaprojektoren bestrahlten. Jeweils drei Apparate waren an einer Seite angebracht und auf die gegenüberliegende Seite ausgerichtet. (Fotograf: Tim Schmelzer)

auf das Mapping hat, ist eine Reaktion auf veränderte Gegebenheiten zu diesem Zeitpunkt nicht mehr möglich. Das Bild- und Videomaterial wird demnach immer nur für ein bestimmtes Szenario erstellt, wodurch sich diese Methode besonders gut für Festinstallationen eignet. Korrekte Messdaten und ein fehlerfreies virtuelles Modell sind hierbei Grundvoraussetzung, um eine genaue Abbildung und dadurch ein gelungenes Endergebnis zu erzielen.

Die erwähnte Technik wird beispielsweise vom Lichtkünstler-Kollektiv Lichttapete¹ eingesetzt, die mit Hilfe von Diaprojektoren Raumlichtgestaltungen realisieren. Von ihnen werden jedoch nicht nur die technischen Mittel zur Verfügung gestellt, indem sie die Projektoren installieren. Sie erarbeiten vielmehr auch ein Beleuchtungskonzept und erstellen individuelles Bild- und Diamaterial. *Mittels dieser Lichttapeten wird das Umfeld neu kreiert und in Räume der Ruhe, Begegnung und Kommunikation transformiert.* [33]

Für ein kürzlich stattgefundenes Bikini-Gala Event des „Sportmagazins“ wurden beispielsweise HDR Bilder zum Thema „Cuba“ mittels Adobe Photoshop perspektivisch verzerrt und dadurch korrekt an die Raumgegebenheiten angepasst (siehe Abb. 3.1).

¹<http://www.lichttapete.org/>

3.2 Nachträgliches Video-Mapping

Lässt sich die Projektion im Vorfeld nicht zur Gänze planen, ist eine Umsetzung mittels vorkorrigiertem Content ausgeschlossen. In diesem Fall kann jedoch eine perspektivisch korrekte Projektion, durch im Nachhinein erfolgende Verzerrung des fertigen Bild- beziehungsweise Videomaterials, erzielt werden.

Auch bei dieser Methode findet ein Mappingvorgang statt, bei dem die Projektionsfläche im Vorhinein analysiert wird, um die real vorkommenden Objekte möglichst exakt als virtuelles Modell abbilden zu können.

Als Grundlage für eine einfache Art der Umsetzung reicht dabei ein gut ausgeleuchtetes Foto mit hoher Auflösung aus der Perspektive beziehungsweise Position des Projektors, mit möglichst gleichem Objektiv. Diverse Softwarelösungen wie beispielsweise die VJ-Software Modul8 von GarageCUBE², bieten dann die Möglichkeit, ausgehend von diesem Foto, ein sogenanntes „Projection-Mapping“ durchzuführen.

Bei Modul8 erfolgt das Mapping anhand von PNG-Masken, die durch das Freistellen der Elemente im Foto erzeugt werden. Mittels Aktivierung des Punktes „Perspective Transform“ im Filter-Modul wird es ermöglicht, die Kanten per Drag and Drop an die realen Kanten anzupassen, um das Videomaterial entsprechend zu verzerren und somit eine perspektivisch korrekte Projektion zu erzielen (siehe Abb. 3.2). Mit Hilfe des „Transformer“-Werkzeuges ergibt sich zusätzlich die Möglichkeit, Ebenen virtuell in die Form eines Zylinders oder einer Kugel zu bringen. Es wird demnach auch hier in gewisser Form ein virtuelles 3D Modell der realen Situation nachgebaut.

Allerdings ist diese Softwarelösung, wie bereits erwähnt, lediglich für einfache Mapping-Situationen zielführend, da sie schnell an ihre Grenzen stößt. Aufgrund der Ebenenbeschränkung in Modul8 können nur maximal 10 Flächen zur selben Zeit gemappt werden. Die Einstellmöglichkeiten für die Mapping-Funktion sind ebenfalls äußerst beschränkt. Vor allem deshalb, weil die Eckpunkte nur per Drag and Drop und nicht durch Zahlenwerte einzustellen sind, erweist sich eine exakte Anpassung der virtuellen Eckpunkte an die realen Gegebenheiten, gerade bei kleineren Flächen, als äußerst schwierig.

Weitaus ausgereifter ist hingegen die Mediaplayer-Anwendung WarpMap von Telenoika³. Ausgangspunkt ist hierbei ebenfalls ein Foto der zu bespielenden Objekte. Im nächsten Schritt erstellt man eine Szene innerhalb eines Compositing-Programms, wie beispielsweise Adobe After Effects, bei der die Auflösungseinstellungen jenen des Projektors entsprechen. Das Foto wird nun dermaßen skaliert, dass die Szene von den zu bespielenden Objekten

²<http://www.garagecube.com/modul8/>

³<http://www.telenoika.net/>

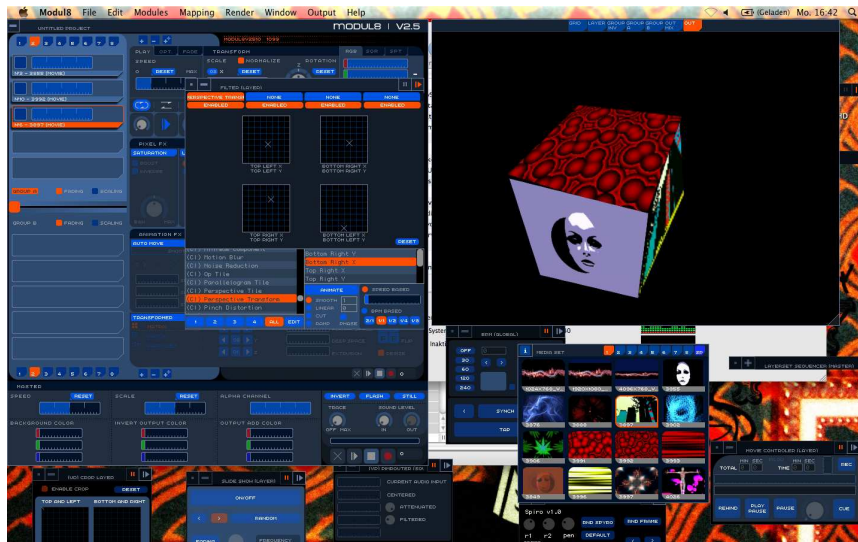


Abbildung 3.2: Mapping von drei Videoebenen auf einen Würfel mit Hilfe der VJ-Software Modul8 von GarageCUBE.

möglichst ausgefüllt wird. Darauf erstellt man dann die gewünschte Animation, welche in der Folge mit schwarzem Hintergrund gerendert wird.

Der Projektor kann nun beliebig platziert werden. Genaue Position und Winkel sind in diesem Fall wenig ausschlaggebend, er muss lediglich in Richtung der zu bespielenden Objekte ausgerichtet werden.

Im nächsten Schritt wird das vorproduzierte Video zur Liste im XML-File von WarpMap hinzugefügt. Innerhalb der Software erfolgt zuerst mit den vier sogenannten Quad-Points, welche die Eckpunkte der Bildfläche darstellen, eine grobe Ausrichtung. Genauere perspektivische Korrekturereinstellungen können über die einzelnen Mesh-Points getroffen werden (siehe [14]). Dies erfordert einiges an Zeit und Geschick. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass alles möglichst genau überlappt und dass das projizierte Gitternetz quadratisch aussieht. Am PC ist dieses natürlich entsprechend verzerrt (siehe Abb. 3.3).

Probleme treten hierbei vor allem beim Hintergrund auf, der, da der Fokus auf den Objekten liegt, dementsprechend verschoben ist. Außerdem können Objekte, die aufgrund der Projektorposition im Schatten liegen, klarerweise nicht bespielt werden.

Generell handelt es sich bei WarpMap jedoch um eine sehr gute Lösung für nachträgliches Video-Mapping. Es ist allerdings nicht für die Live-Mischung von Bild- und Videomaterial geeignet, da nur vorgefertigte Playlisten abgespielt werden können. Ein direktes Eingreifen ins Geschehen wird dadurch verhindert.

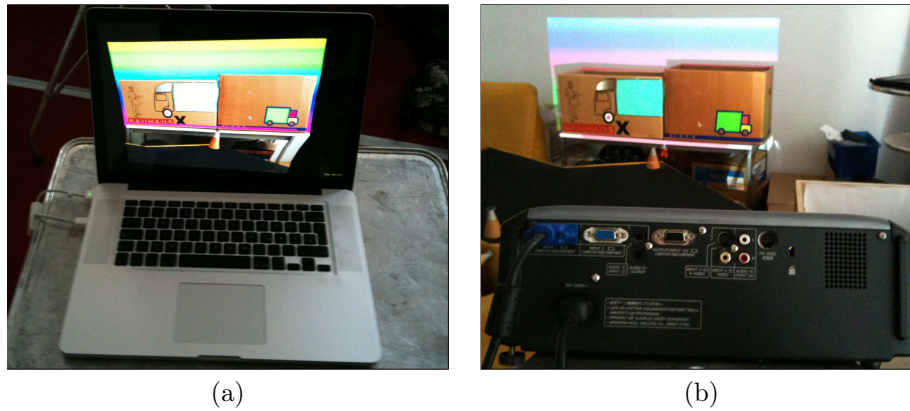


Abbildung 3.3: Testaufbau mit WarpMap. Die verzerrte Darstellung am Computerbildschirm (a) resultiert in einer korrekten Projektion (b).

3.3 Relief Projection

Unter dem Begriff der „Relief Projection“ versteht man die Projektion eines Bildes, welches dieselbe Form/Oberfläche beinhaltet, als jene auf die projiziert wird.

Ein sehr interessantes Projekt, welches diese Methode anwendet, ist die Rauminstallation „Displacements“⁴ von Michael Naimark, welche zwischen 1980 und 1984 dreimal produziert wurde. Dabei wurde ein typisch amerikanisches Wohnzimmer in einem Ausstellungsraum nachgebaut, in dem sich zwei Personen aufhielten, sich bewegten und interagierten. Anschließend wurde diese Szene von einer 16 mm Filmkamera, die auf einem langsam rotierenden Plattenteller im Zentrum des Raumes befestigt war, gefilmt.

Nach den Dreharbeiten wurde der gesamte Raum mit allen darin befindlichen Möbeln weiß gestrichen und die Kamera durch einen Projektor ersetzt, der das zuvor aufgezeichnete Video in Form eines Loops abspielte. Die Projektion wurde dermaßen wiedergegeben, dass jeder Einrichtungsgegenstand wieder auf sich selbst projiziert wurde. Durch die verwendete Technik wirkte die Projektion beeindruckend dreidimensional. Die nicht mehr vorhandenen Akteure hingegen erschienen, durch die Projektion auf die Oberfläche der weißen Einrichtung, gespenstisch und unwirklich (siehe Abb. 3.4).

This effect, a “spatial correspondence” between the record space and the playback space, requires that the angular movements, frame rates, and focal lengths match. [22]

2005 produzierte Naimark gemeinsam mit Brenda Laurel eine vierte Version von „Displacements“. Das junge Paar aus den Originalinstallationen hat nun

⁴<http://www.naimark.net/projects/displacements.html>



Abbildung 3.4: Für die Installation „Displacements“ von Michael Naimark wurde zunächst eine kurze Filmszene gedreht, der Raum anschließend vollständig weiß gesprayed und das Videomaterial schließlich wieder an seine ursprüngliche Stelle im nun weißen Raum zurück projiziert. (Bildquelle: <http://www.naimark.net/writing/projection.html>)

eine Tochter im Teenager-Alter. Die Mutter erscheint nach wie vor nachdenklich, der Vater schaut noch immer Fern und die Tochter wirkt neugierig. Im Gegensatz zu den Versionen aus den 80er Jahren wurde 2005 mit digitalen Videokameras gefilmt, wobei sich herausstellte, dass diese Technik weitaus schwieriger zu handhaben ist.

Doch bereits vor seinen „Displacements“ experimentierte Naimark mit Projektionen auf nicht plane Oberflächen. Mit seinen 1977 bis 1979 entstandenen Environmental Media Studies⁵ erforschte er neue Wege, um Landschaften zu repräsentieren. Er verwendete dabei meist bewegliche Projektoren oder Projektionsflächen.

Bei seinen Forschungen stellte Naimark sehr früh fest, dass sowohl die Bildtechnologie, als auch die Wahrnehmung durch den Zuseher gleichermaßen ausschlaggebend sind, um ein Bild als real erscheinen zu lassen. Eine räumliche Übereinstimmung tritt zudem nur dann auf, wenn die Winkelbewegungen von Kamera und Projektor und deren Brennweiten gleich sind. Seitliche Bewegungen im Bild führen hingegen zu Paralaxenverschiebungen, wodurch sich Objekte im Vordergrund schneller bewegen als jene im Hin-

⁵<http://www.naimark.net/projects/envmedia.html>

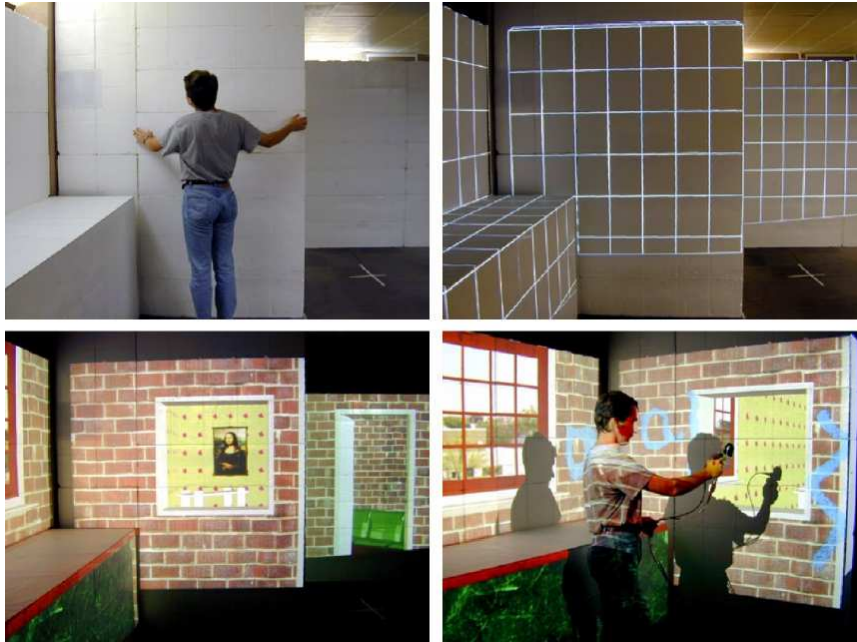


Abbildung 3.5: Bilder vom Prototyp von „Life-Sized Projector-Based Dioramas“. Zuerst wird die Projektionsfläche mit Klötzen aus Styropor aufgebaut. Damit das reale Modell der Szene im Computer entspricht, können Feinkorrekturen am realen Modell mit Hilfe einer Projektion von Gitternetzlinien durchgeführt werden. Anschließend werden Farbe und Details mittels Projektion hinzugefügt und dem Benutzer wird es mittels Tracking ermöglicht mit der Szene zu interagieren. Aus [19].

tergrund. Um dem entgegen zu wirken, sollte die Kamerabrennweite auf die weitestmögliche Brennweite des Projektors eingestellt werden (siehe [21]).

Ein interaktives Beispiel, welches Naimark's Ideen erweitert und generalisiert, stellen die, an der Universität von North Carolina entwickelten, lebensgroßen, projektorbasierten Dioramas („Life-Sized Projector-Based Dioramas“, siehe [19]), dar. Inspiriert von „Displacements“ handelt es sich dabei um einen projektorbasierten Ansatz, um reale und künstliche Orte nachzubauen, welche sowohl visuell als auch aus räumlicher Sicht realistisch wirken.

Mit Hilfe weißer Bauklötze aus Styropor wird dabei ein statisches, geometrisch vereinfachtes Modell als physischer Nachbau einer entfernten realen oder künstlichen Stätte erstellt, welcher dieser in Größe, Form und räumlicher Anordnung entspricht. Durch die Projektion von dynamischen Bildern auf diese, aus Klötzen zusammengestellte, Projektionsfläche wird das leblose physische Modell mit Hilfe von sechs Projektoren in eine visuell glaubhafte Reproduktion des realen Ortes verwandelt (siehe Abb. 3.5). Fotografien der ursprünglichen Umgebung können dabei als Texturen verwendet werden.

Dadurch, dass die Projektionsfläche der (virtuellen) geometrischen Szene entspricht, erfährt der Benutzer einen beachtlichen räumlichen Realismus. Nachdem es ihm ermöglicht wird, sich physisch durch den Raum zu bewegen, erhält er zudem eine natürliche Art der Interaktion mit der Szene. Dies wird durch den Einsatz zweier Tracker⁶ unterstützt. Einer folgt dabei dem Kopf des Benutzers, um dadurch das Sichtfeld an ihn anpassen zu können und somit für ihn perspektivisch korrekte Bilder zu generieren. Der zweite steuert hingegen die Position einer virtuellen Spraydose, durch welche eine zusätzliche Form der Interaktion geboten wird.

Das vereinfachte Modell der Szene erleichtert gleichermaßen die Planung und Konstruktion. Für das Szenenmodell im Computer wurde ein Programm implementiert, mit dessen Hilfe die Anordnung der Blöcke manuell entworfen werden kann. Nach erfolgter Kalibrierung der Projektoren wird ein Drahtgitterbild des Szenenmodells auf die realen Klötze projiziert, um Feinkorrekturen am realen Setup zu erleichtern.

Durch die Projektoren werden daraufhin Oberflächendetails und Farben hinzugefügt. Dabei müssen die geometrischen Unterschiede zwischen der virtuellen Szene und der vereinfachten physischen Oberfläche ausgeglichen werden. Alle Bilder für die Projektoren werden dabei in Echtzeit generiert.

Dort wo die Geometrie der Projektionsfläche jener der virtuellen Umgebung exakt entspricht, ist das Bild, das darauf projiziert wird, von Natur aus in stereoskopischem 3D, ohne eine spezielle 3D Stereoprojektion zu benötigen. Andere Teile müssten hingegen entsprechend stereoskopisch nachgebildet werden, um ein perfektes dreidimensionales Ergebnis zu erzielen.

Die physische Anordnung der Projektionsflächen stimmt räumlich mit der Szenengeometrie übereinstimmt. Deshalb ist es auch relativ einfach, reale Objekte zur virtuellen Umgebung hinzuzufügen, wodurch zusätzlicher Realismus entsteht.

3.4 Verzerrung als Stilmittel

Bei den drei bereits vorgestellten Methoden wird versucht, alles genau zu kontrollieren und jegliche Verzerrung zu eliminieren, um eine möglichst naturgetreue Projektion zu erzielen. Es gibt jedoch auch die Möglichkeit in eine völlig andere Richtung zu gehen, den Zufall entscheiden zu lassen und mit den Oberflächengegebenheiten in Interaktion zu treten.

Wie bereits kurz in Kapitel 2 erwähnt, können durch die Projektionsfläche verursachte Verzerrungen durchaus auch erwünscht sein, da hierbei ähnliche Effekte wie im Kubismus entstehen können. Durch die Projektion auf eine dreidimensionale Fläche wird das projizierte Bild dermaßen verzerrt, dass das Originalbild in eine Reihe von Ebenen aufgespalten wird. Ziel ist dabei

⁶Signalgeber zur Positionsbestimmung

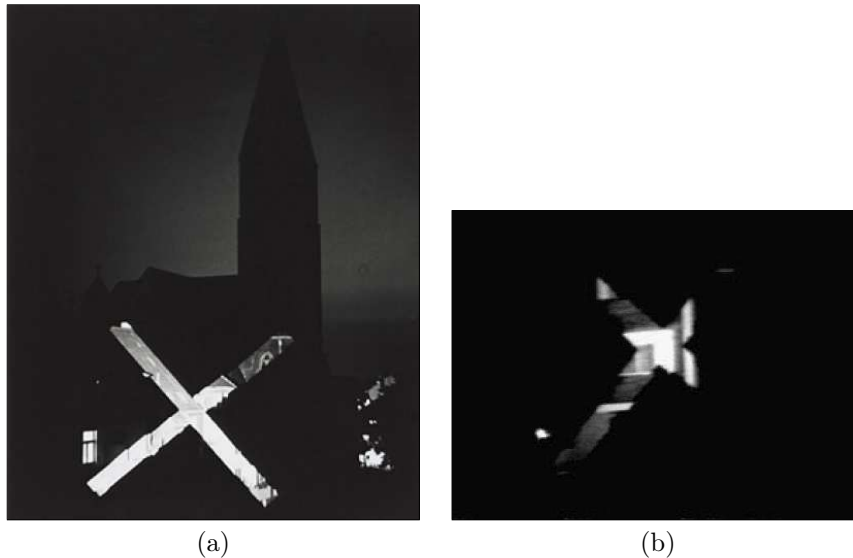


Abbildung 3.6: In Projektion X wird eine Nachtfahrt durch Darmstadt durch die Veränderungen eines auf Häuserwände projizierten Kreuzes dokumentiert. (Bildquellen: http://www.hlmd.de/ar.print/data/m/MG_0324_234.jpg (a), <http://www.medienkunstnetz.de/assets/img/data/141/bild.jpg> (b))

nicht nur das ursprüngliche Bild zu verzerren, sondern auch die Betonung der dreidimensionalen plastischen Natur der Fläche steht im Vordergrund.

Eines der ersten Projekte, bei denen diese Technik bewusst eingesetzt wurde, ist das 1972 entstandene Projekt „Projection X“⁷ von Imi Knoebel (siehe Abb. 3.6). Er projizierte dabei geometrische Formen auf die nächtlichen Fassaden der Darmstädter Häuser und produzierte somit vorsätzlich, klar erkennbare Verzerrungen.

3.5 Spatial AR

Im Bereich der Augmented Reality gibt es ebenfalls den Trend, das Display vom User weg, hin zu einer Einbettung in die reale Umgebung zu transferieren, was als Spatial AR (siehe [7]) bezeichnet wird. Dabei werden optische, elektronische und mechanische Komponenten eingesetzt, um Bilder irgendwo auf der optischen Achse zwischen den Augen des Betrachters und dem physischen Objekt, erscheinen zu lassen. Abhängig von den verwendeten Optiken kann das Bild auf einer ebenen oder einer komplexeren unebenen Fläche geformt werden.

⁷<http://www.medienkunstnetz.de/werke/projektion-x/>

Früher mussten für Augmented Reality Lösungen zumeist Head Mounted Displays, in Form von Optical- oder Video See Through Systemen, getragen werden. Seit Handys und PDAs mit ausreichend großen Displays und Videokameras ausgestattet sind, kommt es zudem vermehrt zum Einsatz dieser mobilen Geräte. Durch Spatial AR braucht der Benutzer nun hingegen selbst nichts mehr am Körper tragen, was sich in erhöhtem Komfort, besserer Anzeigequalität und größerem Realismus widerspiegelt.

Wie weit ein Benutzer tatsächlich in eine virtuell erweiterte Welt eintauchen kann, ist stark von seinem Sichtfeld abhängig. Dieses ist bei einer Projektion natürlich deutlich größer, als bei einer herkömmlichen Bildschirmwendung.

The user's physical environment is augmented with images that are integrated directly in the user's environment, not simply in their visual field. [28]

Um das Sichtfeld individuell an den jeweiligen Benutzer anpassen zu können, ist bei Spatial AR zusätzliches Head-Tracking⁸ erforderlich. Es können jedoch nur die Bewegungen eines einzigen Benutzers verfolgt werden, da die Überlagerung direkt im physischen Raum erfolgt und nicht nur im Sichtfeld des Benutzers, wie bei traditionellen Systemen. Das Tracking ist zudem, im Vergleich zu Lösungen mit Head Mounted Displays, weitaus problematischer, da bereits kleine Trackingfehler bei der Projektion im realen Raum wesentlich stärker bemerkbar sind. Eine exakte, räumliche Kalibrierung und eine genaue Erfassung der Projektionsfläche sind hier essentiell.

Zur Berechnung einer korrekten Projektion im Sinne von Spatial AR müssen grundsätzlich drei Parameter bekannt sein: das Projektionsmodell des Projektors, der Standort des Betrachters und der Teil der Projektionsoberfläche, der durch den Projektor beleuchtet wird.

Um die Bilder nahtlos, direkt auf die Oberflächen der physischen Objekte zu projizieren, wird zumeist eine einfache Frontprojektion eingesetzt. Stereoskopische Projektion ist nicht erforderlich, um ein dreidimensionales Bild zu erzeugen, solange die Oberflächeneigenschaften (Farbe, Beleuchtung, Textur) des realen Objektes durch darüber liegende Bilder verändert werden können. In diesem Fall ist eine korrekte Tiefenwahrnehmung bereits durch die physische Tiefe der realen Objektoberfläche gewährleistet. Es sei denn, man will dreidimensionale Grafiken vor oder hinter der realen Objektoberfläche in realistischer Form darstellen. Hierbei ist eine stereoskopische Projektion unumgänglich.

Im Gegensatz zu See-Through Systemen tritt bei Spatial AR eine Einschränkung bei der Verdeckung von Objekten auf. Hier kann ein reales Objekt zwar seinen virtuellen Gegenpart verdecken, die umgekehrte Form ist

⁸Verfolgung der Kopfbewegungen mittels Kameras oder aktiver Signalgeber.

jedoch nicht möglich. Ein weiteres Problem bei der Benutzerinteraktion stellen die durch den Benutzer erzeugten Schatten dar, was jedoch durch den Einsatz von Mehrprojektorsystemen teilweise zu lösen ist.

Spatial AR stellt einen gut durchdachten wissenschaftlichen Zugang für die Realisierung von Projektion auf nicht plane Oberflächen dar. Das dieser Diplomarbeit zugrunde liegende Projekt folgt einem sehr ähnlichen Prinzip. Genauere Überlegungen hinsichtlich der Konzeption werden dazu in Kapitel 4 beschrieben. Die Details zur tatsächlichen Umsetzung und die daraus resultierenden Ergebnisse werden in den Folgekapiteln veranschaulicht.

Kapitel 4

Konzept

Die Idee hinter dem Projekt, das dieser Diplomarbeit zu Grunde liegt, besteht darin, auf einfache Art und Weise, jedwede Art von Körper als Projektionsfläche möglichst verzerrungsfrei nutzen zu können. Um dies zu verwirklichen, kam es bereits im Vorfeld zu einer detaillierten Recherche in Bezug auf die geeigneten Methoden und Verfahren für ein derartiges System. Die Ergebnisse dieser Überlegungen werden in der Folge näher erläutert.

4.1 Typische Vorgehensweise in der Praxis

Um die Videoprojektion später genau auf dem realen Objekt abbilden zu können, benötigt man zunächst Daten über dessen Form und Ausmaße. Dafür ist es wichtig zu wissen, wie viele Seiten des Objektes bespielt werden sollen und aus wie vielen unterschiedlichen Teilen das zu bespielende Objekt (zum Beispiel Säulen vor einem Theater) besteht. Für die Anpassung an ein bestimmtes Zielobjekt wird hierbei in der derzeitigen Praxis zumeist auf eine aufwändige manuelle Nachbildung zurückgegriffen (siehe Abb. 4.1).

In einfacheren Softwarelösungen dienen dabei häufig Fotografien der realen Objekte als Ausgangsbasis, um eine Vorstellung über Form und Größe zu erhalten, wobei jedoch jegliche Tiefeninformation vernachlässigt bleibt.

Hingegen kommen in kommerziellen Systemen auch häufig Raster mit entsprechenden Anfassern zum Einsatz, die ebenfalls eine manuelle Anpassung an die Oberflächengegebenheiten erlauben. Dabei handelt es sich jedoch wiederum um einen langwierigen Prozess. Mehrere Wiederholungen sind notwendig, um zum gewünschten Ergebnis zu gelangen, was auch die Versuche mit dem in Kapitel 3 beschriebenen Tool „WarpMap“ gezeigt haben.

Die Methode der Anpassung per Raster ist nicht neu. Ein derartiges Verfahren wurde bereits 1991 von Dorsey et al. in [12] beschrieben. Bei diesem Ansatz wird zunächst ein regelmäßiges Raster auf die zu bespielende Oberfläche projiziert. Dieses erscheint aus der Sicht des Betrachters als dement-



Abbildung 4.1: Beim diesjährigen Amber Festival in Istanbul wurde das Logo mithilfe von passgenauer Projektion zum erstrahlen gebracht. Die Anpassung erfolgte auch hierbei auf manuellem Wege, was einen beträchtlichen Zeitaufwand bedingte.

sprechend verzerrt. Durch umgekehrte Transformation mittels Warping und Interpolation wird das Bild anhand der verzerrten Rasterlinien berichtigt, sodass es als korrekt wahrgenommen wird, wenn es auf die unebene Fläche projiziert wird.

Je dichter dabei das Raster ist, desto genauer wird die Verzerrung auf die Projektionsoberfläche angepasst. Dadurch steigt jedoch auch der Rechenaufwand, was Einfluss auf die Echtzeitfähigkeit des Verzerrungsausgleichs hat.

4.2 3D Nachbildung

Eine Korrektur kann auch anhand einer vollständigen Abbildung des Zielobjekts im System erfolgen. Diese kann durch die exakte oder auch nur angenäherte Nachbildung mittels 3D Modellierungssoftware erzielt werden. Hierzu muss jedoch eine genaue Vermessung der Dimensionen am Realobjekt vorgenommen werden.

Viele Zielobjekte lassen sich in Grundprimitive wie Würfel, Kugeln oder Zylinder zerlegen, was sehr für diesen Ansatz spricht. Dabei stellt sich jedoch die Frage, wie genau ein reales Objekt nachgebildet werden muss, damit die Abbildung noch glaubwürdig erscheint. Die manuelle Vermessung der Zielobjekte ist zudem mit einem enormen Aufwand verbunden und es kann durch Ziffernstürze oder sonstige typisch menschliche Fehler schnell zu Ungenauigkeiten kommen.

Um dem entgegen zu wirken, wäre eine automatische Nachbildung der Zielobjekte mit Hilfe von 3D Rekonstruktionsverfahren vorstellbar. Einige dafür denkbare Methoden werden in der Folge vorgestellt.

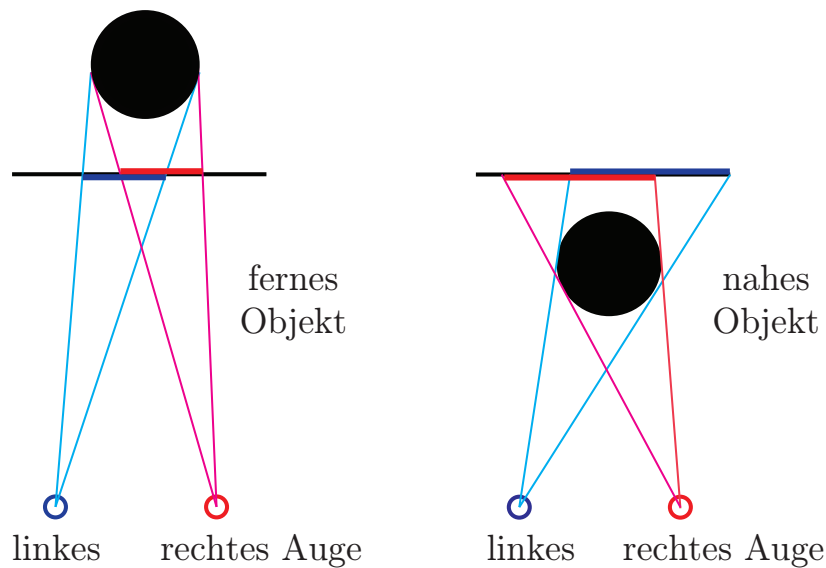


Abbildung 4.2: Auf Grund der stereoskopischen Eigenschaften des menschlichen visuellen Systems sieht man mit dem rechten Auge einen nahen Gegenstand auf andere Punkte projiziert als mit dem linken.

4.2.1 Stereoskopie

Eine derartige Möglichkeit stellt die Ermittlung der Form mittels zweier Kameras durch Stereoskopie dar. Hierbei handelt es sich um eine passive Methode der Objektrekonstruktion, da für ein derartiges System keine besondere Beleuchtungseinheit benötigt wird.

Die geometrische Beziehung der beiden Kameras zueinander und deren Bildeigenschaften werden zuerst durch einen entsprechenden Kalibrierungsvorgang bestimmt. Für die eigentliche Rekonstruktion wird anschließend das menschliche visuelle System nachgeahmt (siehe Abb. 4.2). Das zugrunde liegende Prinzip beruht darauf, dass durch die unterschiedlichen Blickwinkel beider Augen zwei unterschiedliche Bilder erzeugt werden. Die Linsenkrümmung des Auges passt sich in Folge dessen der Entfernung des gesehenen Objektes an, um eine scharfe Abbildung auf der Netzhaut zu erzeugen.

Beim Stereo-Rekonstruktionsverfahren wird die 2D Position eines bestimmten Punktes innerhalb der beiden Kamerabilder identifiziert. Anhand der daraus resultierenden Bildkoordinaten lassen sich, unter Kenntnis von innerer und äußerer Orientierung der Kameras, die 3D Koordinaten des Objektpunktes mittels Triangulation bestimmen (siehe Abb. 4.3).

Der Tiefenabstand T zum Objektpunkt lässt sich dabei aus den beiden Winkeln α und β , die jeweils zwischen Kamera und Basis liegen, und dem

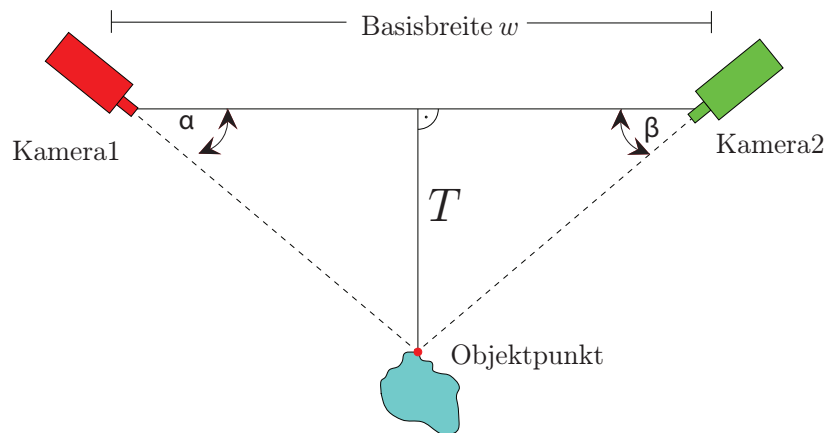


Abbildung 4.3: Mit Hilfe von Triangulation kann der Tiefenabstand zu einem bestimmten Objektpunkt ermittelt werden.

Abstand w zwischen den beiden Kameras anhand folgender Gleichung berechnen:

$$T = \frac{w \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta}{\sin (180 - \alpha - \beta)} . \quad (4.1)$$

Die Schwierigkeit bei diesem Ablauf besteht im Auffinden von übereinstimmenden Bildpunkten in beiden Kamerabildern, vor allem wenn es sich beim Bildinhalt um eben- und regelmäßige Texturen handelt. Zudem muss für optische Verfahren immer genügend Licht vorhanden sein. Da jedoch bei dieser Methode keine kontrollierte Lichtquelle zum Einsatz kommt, ist der gesamte Vorgang sehr stark an eine geeignete Umgebungsbeleuchtung gebunden, was in vielen Fällen, denke man beispielsweise an ein Clubszenario, ein großes Problem darstellen kann.

4.2.2 Structured Light Scanning

Es gibt jedoch auch aktive optische Verfahren, bei denen das Übereinstimmungsproblem durch kontrollierte Beleuchtung überwunden wird. Eine beliebte Methode hierfür ist die Streifenlichtprojektion, beschrieben in [25], die nach einem sehr ähnlichen Prinzip wie die Stereoskopie arbeitet. Hierbei wird eine der beiden Kameras durch einen Projektor ersetzt, der das Licht in Form der Projektion von Streifenmustern auf dem Realobjekt zur Verfügung stellt.

Dafür werden Sequenzen aus unterschiedlichen Binärbildern, in der Regel Gray-Code-Sequenzen, verwendet, wobei die Streifendichte von Bild zu Bild verdoppelt wird. Eine Binärisierungsschwelle zur besseren Unterscheidung der Streifengrauwerte wird am Anfang der Messung mit einem gänzlich weißen Hellbild und einem gänzlich schwarzen Dunkelbild bestimmt.

Die so entstehenden Schnittlinienbilder werden mit der Kamera unter einem Beobachtungswinkel (dem Triangulationswinkel) aufgenommen. Abhängig von der Form des Objekts erscheinen die Streifen entsprechend deformiert. Auf Grund der Verwendung von Binärsequenzen erhält man aus der Abfolge heller und dunkler Grauwerte für jeden Kamerapixel ein Bitmuster. Bei der Verwendung von Gray-Codes bestimmt dieses gleichzeitig die Ordnungszahl, sprich die Nummer der korrespondierenden Lichtebene, in eindeutiger Form. Anhand des Triangulationsdreiecks zwischen Objektpunkt, Projektor und Kamera ist es schließlich möglich, die 3D Punkte der Oberfläche zu rekonstruieren. Um hohe Genauigkeiten zu erreichen, muss die Zuordnung zwischen Punkten auf den Bildebenen von Kamera und Projektor subpixelgenau erfolgen.

Die Präzession des Systems hängt zudem von der Anordnung der Systemkomponenten, vom Auflösungsvermögen des Projektors und der Kamera, sowie anderen Einflussfaktoren, wie beispielsweise von der Umgebungsbeleuchtung, ab. Die Kamera sollte dabei die gleiche oder eine höhere Auflösung haben als der Projektor. Ansonsten wird das rekonstruierte Modell auf die Kameraauflösung beschränkt.

Dieser Ansatz klingt sehr vielversprechend. Bei größeren Zielobjekten, wie beispielsweise Häuserfassaden, stellt sich jedoch die Frage, ob eine manuelle Annäherung mit Grundprimitiven nicht ausreichend und zielführender ist. Ein weiteres Problem bei dieser Methode ist, dass durch die Trennung von Lichtquelle und Kamera verdeckte Regionen nicht rekonstruiert werden können.

4.2.3 Shape from Focus

Eine weitere Möglichkeit zur Objektrekonstruktion stellt die Verwendung des Kamerafokus dar. Hierbei wird das Prinzip der Tiefenschärfe ausgenutzt. Auf Grund der begrenzten Schärfentiefe optischer Systeme erscheinen nur Objekte die sich nahe der Fokusebene befinden als scharf. Entferntere Objekte wirken hingegen unscharf und verwischt. Der Grad der Schärfe steht folglich mit der Distanz der Objekte in Zusammenhang, wodurch in der Folge auf die Entfernung zu einem bestimmten Szenenpunkt geschlossen werden kann.

Bei der von Nayar und Nakagawa in [23] beschriebenen Methode wird zunächst eine Bildsequenz des Zielobjektes bei unterschiedlichen Fokuseinstellungen aufgenommen. Jeder Punkt der Oberfläche muss dabei in mindestens einem der Bilder fokussiert sein. Mit Hilfe des „Summenmodifizierenden Laplace Operators“ in der Form

$$\sum_{(x,y) \in U(x_0,y_0)} (|I(x+S,y) + I(x-S,y) - 2I(x,y)| + |I(x,y+S) + I(x,y-S) - 2I(x,y)|) \quad (4.2)$$

werden die unterschiedlichen Fokuswerte jedes einzelnen Bildpunktes aus der Bildsequenz ermittelt, woraus schließlich mittels Tiefenbestimmungs-Algorithmus zwischen den Fokussmesswerten dermaßen interpoliert wird, dass eine sehr genaue Ermittlung der Tiefenwerte erzielt werden kann.

Nach demselben Prinzip funktioniert die Unschärfeanalyse, auch „Shape from Defocus“ genannt. Hierbei muss das gewünschte Objekt in der Szene jedoch nicht fokussiert abgebildet werden, um die Distanz berechnen zu können, wodurch im Vergleich zur „Shape from Focus“-Analyse nur wenige Bilder benötigt werden. Der Rechenaufwand ist dementsprechend geringer, die Methode jedoch in der Regel weniger zuverlässig.

Eine Methode mit der dieser scheinbare Nachteil umgangen werden kann, wird von Zhang und Nayar in [32] vorgestellt. Dabei wird die Unschärfe eines Projektors durch ein lineares System nachgebildet. Ausgehend von diesem Modell wird eine zeitbasierte Methode zur Unschärfeanalyse eingesetzt, um die Tiefenwerte jedes Kamerapixels zu rekonstruieren. Die Parameter der Projektionsunschärfe werden dabei im Frequenzraum bestimmt. Hierdurch wird erreicht, dass, im Vergleich zu den meisten Tiefenbestimmungsverfahren, dieser Ansatz wesentlich genauer auf Tiefenunregelmäßigkeiten reagiert.

All diese 3D Rekonstruktionsverfahren haben jedoch gemeinsam, dass sie mit einem enormen Aufwand, vor allem in Hinsicht auf die Kalibrierung, verbunden sind, wodurch sich die Frage stellt, ob dies wirklich eine zielführende Lösung darstellen kann. Im Vordergrund steht schließlich eine perspektivisch korrigierte Projektion, was nicht zwangsweise mit einer exakten Abbildung des Objekts als 3D-Modell einhergeht.

4.3 Einsatz von Sensoren

Eine weitere interessante Herangehensweise für die perspektivische Korrektur von Projektionsbildern findet sich in [17]. Bei diesem Ansatz wird die Projektionsfläche mit Lichtsensoren bestückt. Dabei werden Fiberglasfasern verwendet, um Licht von jeder Ecke der Oberfläche zu einem Sensor-Board zu leiten, welches die Daten an einen PC weitergibt. Auch hierbei wird Streifenlichtprojektion benutzt, um die Sensorposition und in der Folge die räumliche Beziehung zwischen Projektor und Projektionsfläche zu bestimmen.

Durch den Einsatz vieler dieser Lichtsensoren kann die Technik in gleicher Form auch auf nicht plane Oberflächen angewendet werden (siehe Abb. 4.4), beziehungsweise kann auch ein Projektor eingesetzt werden, um mehrere kleine Bilder gleichzeitig zu beleuchten. Die Dauer der Kalibrierung ist hierbei jedoch von der Anzahl der eingesetzten Sensoren abhängig und dauert bei unebenen Flächen dementsprechend lange.



Abbildung 4.4: Automatische Projektor-Kalibrierung mit Hilfe von Lichtsensoren. Durch Streifenlichtprojektion werden die Sensorpositionen ermittelt. Diese Information wird dann zur Korrektur der Projektion herangezogen, um diese genau an die physischen Eigenschaften der Objektoberfläche anzupassen. (Bildquelle: <http://johnnylee.net/academic/projcal.mov>)

4.4 Geometrische Korrektur

Die geeignete Methode für eine korrekte Abbildung auf nicht planen Objekten zu finden, ist kein triviales Problem. Ein Hauptaugenmerk ist dabei vor allem auch auf das genaue Einsatzgebiet der Projektion zu legen, wodurch es für das eigene Projekt sinnvoll ist, sich auf einen speziellen Anwendungsfall zu konzentrieren.

Natürlich hat auch die Geometrie des zu bespielende Objektes selbst großen Einfluss auf die Projektion. So hängt der Grad der geometrischen Verzerrung des projizierten Bildes einerseits davon ab, wie stark die Projektionsfläche von einer ebenen Fläche abweicht und andererseits vom Winkel, aus dem das Bild projiziert wird.

Um diese Deformationen auszugleichen, müssen die Texturen in Form von Bildern oder Videostreams perspektivisch korrigiert werden, sodass keine Krümmungen auf der zu projizierenden Oberfläche sind. Wird beispielsweise auf eine Kugel projiziert, so muss der Bildinhalt dermaßen verzerrt werden, als würde in eine Kugel projiziert werden. In Summe heben sich diese Verzerrungen auf und für den Betrachter entsteht ein ebenmäßiges Bild.

Für eine korrekte Abbildung ist außerdem zu beachten, dass das projizierte Bild am Ende den Proportionen des Zielobjekts entspricht und somit nicht über die Ränder hinaus projiziert wird.

Eventuell ist auch eine Rücksichtnahme auf die Struktur der jeweilig vorhandenen Oberfläche von Nöten. Da verschiedenen Materialien, wie Stein, Fliesen, Beton, Holz oder Glas, das projizierte Licht unterschiedlich reflektieren lassen, können so eventuell auch Teile ausgespart werden oder es muss durch Farb- und Helligkeitskorrektur entsprechend darauf reagiert werden.

4.4.1 Homografische Matrizen

Auch die Projektorenausrichtung hat Einfluss auf eine korrekte Darstellung. Steht der Projektor nicht exakt rechtwinklig zur Projektionsfläche, so erscheint das Bild an einer Seite breiter beziehungsweise höher als auf der

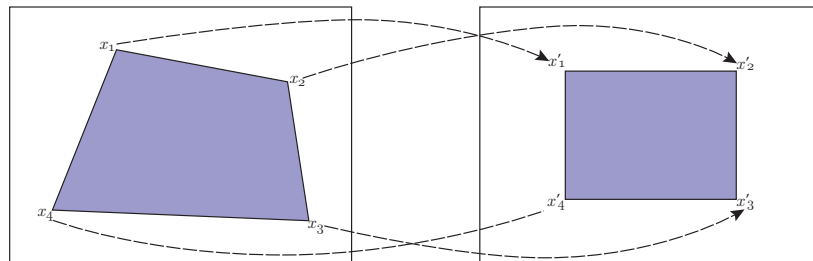


Abbildung 4.5: Die verzerrte Projektion kann durch Koordinatentransformation der entsprechenden Eckpunkte im Kamerabild über eine homografische Matrix in die gewünschte korrekt rechteckige Abbildung überführt werden.

gegenüberliegenden. Um dennoch ein rechteckiges Bild zu bekommen muss eine künstliche Verzerrung im Bild geschaffen werden, welche die ursprüngliche Verzerrung ausgleicht und für den Betrachter somit ein korrektes Bild erzeugt.

Am Projektor selbst gibt es meist die Möglichkeit einer sogenannten Trapezkorrektur, die entweder in optischer oder digitaler Form erfolgen kann. Beim optischen Verfahren kommt es zu einer Objektivverschiebung, was als „Lens shift“ bezeichnet wird, um die Verzerrungen auf Grund der schiefwinkligen Projektion auszugleichen. Bei der zweiten Möglichkeit wird das Bild hingegen elektronisch verändert. Dabei geht jedoch auch Bildinformation verloren, da eine Seite des Bildes digital gestaucht wird ohne dabei die Auflösung zu erhöhen.

Soll die Korrektur hingegen seitens der Software erfolgen, so kann dies bei ebenen Flächen in Form einer geometrischen Korrektur mittels Koordinatentransformation gelöst werden. Dafür muss die entsprechende Projektionsmatrix gefunden werden, welche das Projektorbild schiefwinklig auf der Projektionsfläche abbildet. Es handelt sich dabei um eine projektive Abbildung, welche zur Folge hat, dass Geraden wieder in Geraden abgebildet werden. Die Abstandsverhältnisse zwischen Punkten auf der Geraden werden jedoch im Allgemeinen verändert (siehe Abb. 4.5). Die dafür benötigte homografische Matrix kann, wie in [26] beschrieben, durch den Vergleich eines projizierten Musterbildes mit dem daraus resultierenden Kamerabild ermittelt werden.

Dafür müssen zunächst die Koordinaten der vier Eckpunkte der Projektion im Kamerabild bestimmt werden. Um diese in eine rechteckige Form aus Benutzersicht überführen zu können, erfordert die zugehörige Matrix

$$\begin{pmatrix} \hat{x}' \\ \hat{y}' \\ h' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h'x' \\ h'y' \\ h' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4.3)$$

insgesamt acht Freiheitsgrade $a_{11} \cdots a_{32}$. Diese unbekannt Parameter können aus den vier korrespondierenden 2D Punktpaaren $(x_1, x'_1) \cdots (x_4, x'_4)$, mit jeweils einem Punkt $\mathbf{x}_i = (x_i, y_i)$ im Ausgangsbild der Kamera und dem dazugehörigen Punkt $\mathbf{x}'_i = (x'_i, y'_i)$, der das gewünschte rechteckige Ergebnis repräsentiert, durch Lösung des folgenden Gleichungssystems

$$\begin{pmatrix} x'_1 \\ y'_1 \\ x'_2 \\ y'_2 \\ x'_3 \\ y'_3 \\ x'_4 \\ y'_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1x'_1 & -y_1x'_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -x_1y'_1 & -y_1y'_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_2x'_2 & -y_2x'_2 \\ y_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_3x'_3 & -y_3y'_3 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 1 & -x_3y'_3 & -y_3y'_3 \\ x_4 & y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_4x'_4 & -y_4x'_4 \\ 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & 1 & -x_4y'_4 & -y_4y'_4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_{11} \\ a_{12} \\ a_{13} \\ a_{21} \\ a_{22} \\ a_{23} \\ a_{31} \\ a_{32} \end{pmatrix} \quad (4.4)$$

berechnet werden, wie in [9, S. 368f] beschrieben.

Ist die benötigte Abbildungsmatrix für ein Projektor-Kamera-Paar bestimmt, so erhält man die korrekte Projektionsabbildung im Kamerabild indem man das Ausgangsbild mit dieser homografischen Matrix multipliziert. Befindet sich der Betrachter an der Kameraposition, so erhält er durch diesen Vorgang ein korrektes Bild.

Diese Methode kann jedoch nicht nur auf das projizierte Bild im Ganzen angewendet werden. Auch eine stückweise Anwendung auf einzelne Elemente im Falle einer Mesh-Partitionierung ist möglich, was dann als „Projective Texture Mapping“ bezeichnet wird.

4.4.2 Projective Texture Mapping

Ist die Projektionsfläche nicht eben, die Geometrie jedoch bekannt, wie im einfachsten Fall bei einer Kugel oder einem Zylinder, so kann für die Korrektur die Methode des „Projective Texture Mapping“ eingesetzt werden. Hierbei wird das Prinzip eines einfachen Pinhole-Kamera(Projektor)-Modells aufgegriffen. Eine entsprechende Technik findet sich in [27], welche in der Folge näher erläutert wird.

Die für dieses Verfahren benötigten Parameter sind die Position des Betrachters, die Position und Orientierung jedes Projektors, das abzubildende Grafikmodell und ein geometrisches Modell der Projektionsfläche. Ziel des Algorithmus ist es, ein von der Projektionsfläche unabhängiges, korrektes Bild des Grafikmodells zu erzeugen. Dafür muss eine entsprechende Abbildung für jeden Projektor gefunden werden, welche bei der Projektion aus der Sicht des Benutzers, eine korrekte Darstellung des Grafikmodells zeigt.

Um die Bilder in verzerrungsfreier Form projizieren zu können, wird eine 2-Pass-Rendering Technik angewendet. Im ersten Schritt wird das zu projizierende Bild aus Sicht des späteren Betrachters gerendert. Im zweiten

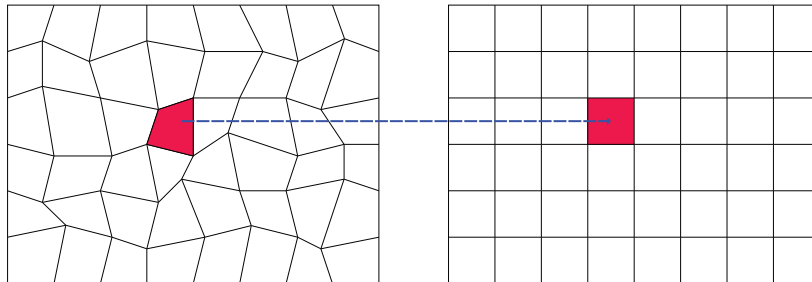


Abbildung 4.6: Durch Aufteilung der Bildfläche in einzelne Elemente können Verzerrungen mit Hilfe einfacher, lokaler Transformationen korrigiert werden. Jedes der Vierecke wird dabei separat, anhand der Abbildung, die sich aus seinen Eckpunkten ergibt, in die gewünschte rechteckige Form transformiert.

Schritt wird das geometrische Modell der Projektionsfläche mit dem zuvor gerenderten Bild als Textur versehen.

Um die korrekten Texturkoordinaten zu erhalten, wird das Mapping aus Sicht der Zielperspektive angewendet. Dabei wird das 3D Modell der Projektionsfläche aus der Perspektive des Projektors in den Texturraum der Zielperspektive übertragen. Dies kann man sich so vorstellen, dass das Bild als Dia vorliegt und das Auge des Betrachters eine Lichtquelle darstellt, die dieses durchleuchtet und in der Folge das Bild auf der Projektionsfläche abbildet. Wird dieses Szenario schließlich aus der Perspektive eines Projektors gerendert, erhält man das korrigierte Bild für den Benutzer.

Dadurch, dass die Bildfläche in Form eines Netzes aus überlappenden Dreiecken beziehungsweise Vierecken vorliegt, können praktisch beliebige Verzerrungen durch einfache lokale Transformationen korrigiert werden (siehe Abb. 4.6). Jedes Element wird dabei separat, mit unterschiedlichen, jedoch aufeinander abgestimmten Abbildungsfunktionen, transformiert. Die entsprechenden Parameter werden aus den korrespondierenden drei beziehungsweise vier Punktpaaren berechnet. Bei Dreiecken erfolgt die Korrektur anhand einer affinen Abbildung der Form

$$\begin{pmatrix} \hat{x}' \\ \hat{y}' \\ \hat{h}' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_0 & a_0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (4.5)$$

bei Vierecken hingegen durch projektive Abbildung, wie in Abschnitt 4.4.1 beschrieben. In beiden Fällen bleiben die Geraden erhalten. Bei der Transformation ist dadurch sichergestellt, dass zwischen aneinander liegenden Dreiecken beziehungsweise Vierecken kontinuierliche Übergänge und keine Lücken entstehen (siehe [9, S. 376f]).

Die Darstellung des Projektionsflächenmodells mit einer größeren Anzahl an Dreiecken beziehungsweise Vierecken, um Modellierungsfehler zu vermindern, verschlechtert jedoch gleichzeitig die Performance im zweiten Durchgang. Andererseits führen Ungenauigkeiten im Projektionsflächenmodell zu ungenauen Ansichten. Folglich gilt es ein vereinfachtes Modell der Projektionsfläche zu finden, bei dem sich die Fehlerrate in Grenzen hält.

Auch eine kamerabasierte Ausrichtung ist möglich. Dafür werden die Bildeigenschaften des projizierten Bildes selbst zur Korrektur herangezogen. In [31] wird ein entsprechender Ansatz beschrieben. Es handelt sich dabei um ein iteratives Verfahren zur automatischen Bestimmung der Oberflächengeometrie, welche unauffällig während des realen Einsatzes erfolgt.

Das deformierte Bild wird aufgenommen, analysiert und schrittweise korrigiert. Dafür müssen ein kalibriertes Projektor-Kamera-System und eine anfängliche grobe Annahme über die Projektionsflächengeometrie vorliegen. Diese wird dann kontinuierlich, anhand der Entsprechungen zwischen projiziertem Originalbild und von der Kamera aufgezeichnetem Projektionsergebnis, verfeinert. Durch genügend Variation im projizierten Bild über die Zeit, nähert sich das System langsam an die tatsächliche Projektionsflächengeometrie an.

Wie genau dabei die geometrischen Beziehungen erkannt werden, hängt demnach stark von der Qualität der erfassten Bildeigenschaften ab, wodurch der Vorgang an den projizierten Bildinhalt gebunden und somit beschränkt ist. Ungenauigkeiten treten dabei vor allem an Stellen mit wenig aussagekräftigem Inhalt auf.

4.4.3 Pixel Displacement Mapping

Für geometrisch komplexe und texturierte Oberflächen stellt die Methode des „Image Warping“ basierend auf look-up-Operationen, wie in [6, S. 4] beschrieben, eine geeignete Lösung dar, um eine pixelgenaue Abbildung zu erhalten. Anstatt affiner oder projektiver Transformationen wird hier Pixel für Pixel gemessen. Mögliche Verzerrungen können dann durch look-up-Operationen in Echtzeit ausgeglichen werden.

Um ein 1-zu- n Mapping von Kamera- zu Projektorpixeln zu erzielen, wird auf das Verfahren der Streifenlichtprojektion zurückgegriffen. Das daraus resultierende Mapping wird in Form einer zweidimensionalen look-up-Textur in Kameraauflösung gespeichert. Eine entsprechende Textur in Projektorauflösung, welche die Projektorpixel auf die der Kamera abbildet, wird durch Invertierung dieser Map erzielt. Um Echtzeitfähigkeit zu gewährleisten kann die Überführung aller Pixel aus der Projektorperspektive in die Kameraperspektive auf der GPU erfolgen. Dies geschieht via look-up der Textur in der Projektor-zu Kamera-Pixelmap mit Hilfe eines Fragment-Shaders.

Die 1-zu- n Beziehungen werden zuvor durch Interpolation aus beiden Maps entfernt. Die look-up-Texturen enthalten jedoch nur 2D Verschiebungs-

werte sich entsprechender Projektor- und Kamerapixel, welche denselben Oberflächenpunkt wiedergeben. Weder die 3D Oberflächengeometrie noch die inneren und äußeren Systemparameter müssen bei dieser Methode bekannt sein.

Es ist auch hier möglich, direkt aus dem projizierten Bildinhalt und den entsprechenden verzerrten Kamerabild, die Korrekturparameter zu berechnen. Robuster ist jedoch klar die Streifenlichtprojektionsmethode, da hierbei künstliche Features erzeugt werden, die nicht vom Bildinhalt abhängig sind.

4.5 Ausrichtung der Projektoren

Bereits beim Mapping-Vorgang ist die örtliche Information hinsichtlich der Position und Ausrichtung der Projektoren relevant, da die Anordnung in der Software jener im Raum entsprechen muss, um auf individuelle Perspektivenverhältnisse Rücksicht nehmen zu können.

Aus diesem Grund sollte man für ein gelungenes Endergebnis auch Überlegungen hinsichtlich der idealen Platzierung der Projektoren nicht vernachlässigen. Die Anordnung bei mehreren Projektoren zueinander, ebenso wie der Abstand zur Projektionsfläche, spielen eine wesentliche Rolle für ein realistisches Endergebnis. Daher ist genau zu beachten wie viele Projektoren zur Verfügung stehen und wie diese optimal im Raum positioniert werden können.

In vielen Fällen wird es nötig sein, dass jeder Projektor in einem eigenen, vordefinierten Abstand zur Projektionsfläche und in der richtigen Höhe angebracht wird. Dabei muss jedoch auch auf physische und umgebungsbedingte Einschränkungen Rücksicht genommen werden, da die Projektoren meist nicht beliebig überall montiert werden können. Typischerweise werden hierbei vorab mehrere Variationen getestet, um zu einer zufriedenstellenden finalen Position zu gelangen. Es ist in jedem Fall zielführender, die Installation bereits vor der Bildkorrektur vorzunehmen, da es später schwierig ist, die Projektoren exakt nach den Softwarevorgaben auszurichten.

Bei der Montage ist außerdem zu beachten, dass die untere Bildkante der Projektion immer aus der Mitte der Projektorlinse projiziert wird, was bedeutet, dass der tiefste Projektionspunkt nie tiefer liegen kann als der Projektor selbst. Wird ein Projektor an die Decke montiert, so muss er auf Grund dieser Eigenschaften auf den Kopf gestellt werden.

Zudem gilt es zu beachten, dass, abhängig von der Entfernung zur Projektionsfläche, nur ein bestimmter maximal großer Bereich davon ausgeleuchtet werden kann. Bei der Verwendung mehrerer Projektoren muss für ein nahtloses Endergebnis zudem ein geringer Überlappungsbereich eingehalten werden. Daraus ergibt sich eine minimale Anzahl an benötigten Projektoren, um eine gewünschte Objektfläche vollständig bespielen zu können.

Auch die Fokusabstände der einzelnen Projektoren müssen entsprechend

angepasst werden, um ein möglichst scharfes Bild auf der Projektionsfläche zu erhalten. Dies kann bei größeren Tiefenunterschieden durchaus zu Problemen führen.

Des Weiteren sollte darauf geachtet werden, mögliche, durch den Benutzer hervorgerufene, Verdeckungen und die daraus resultierende Schattenbildung möglichst gering zu halten und zuletzt sollte auch auf gegenseitige Beeinflussung der Projektionsflächen durch ungewollte Reflexionen, Rücksicht genommen werden.

4.6 Farb- und Helligkeitsausgleich

Unterschiedliche Reflexionen können jedoch auch grundsätzlich bei der Verwendung von beliebigen Objekten als Projektionsfläche entstehen, da dabei nicht vorausgesetzt werden kann, dass diese weiß und matt sind. Die entsprechende Oberfläche weist meist ihre eigene Farbgebung und Textur auf. Als Beispiel hierfür lassen sich die Ziegel einer Wand oder die Maserung in einer Holztür nennen.

Die Oberfläche selbst ist zudem in den seltensten Fällen stetig. Zusätzliche Unregelmäßigkeiten können beispielsweise in Form von ungleichmäßiger Farbe oder Kratzern vorkommen. Die daraus resultierenden veränderten Reflexionseigenschaften verändern auch das projizierte Bild.

Für derartige Projektionsflächen mit variierender Reflexion, Farbe oder Intensität benötigt man, zusätzlich zur geometrischen Korrektur, noch andere Ausgleichstechniken. Das Ziel besteht dabei darin, die Auswirkungen durch veränderte Oberflächenegebenheiten zu minimieren, beziehungsweise im Idealfall für den Betrachter gänzlich zu eliminieren. Gleichzeitig soll die farbliche Qualität des Ursprungsbildes bei der Projektion möglichst aufrecht erhalten bleiben.

Um die photometrischen Veränderungen zu korrigieren werden Unterschiede zwischen der gewünschten und der gemessenen Erscheinung des projizierten Bildes herangezogen. Die Oberflächenreflexionen müssen dabei pixelweise gemessen werden, wofür zumeist sichtbare Streifenlichtprojektion mit entsprechendem Kamera-Feedback eingesetzt wird. Diese Daten können dazu verwendet werden, jedes zu projizierende Einzelbild vor der eigentlichen Projektion entsprechend zu korrigieren. Nur leichte Fehler in der Abstimmung führen jedoch zu massiven Blending-Artefakten, da das menschliche Auge sehr empfindlich auf nur geringste Intensitätsunterschiede reagiert.

Hierbei kann man, wie in [5] beschrieben, wiederum von der Erstellung von look-up Texturen, durch die Bestimmung der geometrischen Beziehung zwischen Kamera- und Projektorpixel ausgehen. Anhand dessen können in der Folge die radiometrischen Parameter gemessen werden. Dies kann in einem Schritt mit dem „Displacement Mapping“, ebenfalls mittels Textur-

look-up, erfolgen. Die entsprechende Formel dafür lautet:

$$I = \frac{(R - EM)}{FM}, \quad (4.6)$$

wobei EM für ein komplett schwarzes Projektionsbild bei eingeschalteter Umgebungsbeleuchtung steht. FM ist hingegen ein projiziertes, rein weißes, Bild ohne Umgebungsbeleuchtung, R ist das von der Kamera erfasste Bild und I das benötigte Ausgleichsbild.

Bei dieser einfachen Methode werden jedoch die optischen Beschränkungen von Projektoren und Kamerafiltern nicht berücksichtigt. So liefert die Projektion von reinem rot normalerweise auch Werte im Blau- und Grünkanal des Kamerabildes. Dieses Phänomen wird auch als „Color-Mixing“ bezeichnet.

4.6.1 Color-Mixing Matrix

Dieser „Color-Mixing“-Effekt zwischen Projektor und Kamera kann laut [24] als 3x3 Farbtransformationmatrix der Form

$$V = \begin{bmatrix} V_{RR} & V_{RG} & V_{RB} \\ V_{GR} & V_{GG} & V_{GB} \\ V_{BR} & V_{BG} & V_{BB} \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

für die Farbkanäle rot, grün und blau betrachtet werden. Diese Matrix wird durch die Messung der Kamerareaktion auf mehrere projizierte Beispielbilder bestimmt. Hierfür müssen zumindest sechs Bilder projiziert werden, zwei davon für jeden Farbkanal. Eine Änderung des roten Beispielbildes wird in der Folge im Grün- und Blaukanal des Ergebnisbildes analysiert und die daraus ermittelten Daten in die Matrix für jeden Kamerapixel eingetragen. Der RG Parameter der Matrix steht beispielsweise für den grünen Farbanteil des Kamerabildes in rotem Kanal der Projektion.

Ist die Matrix bekannt, kann das aufgenommene Kamerabild $C_{i,j}$ als eine Multiplikation des projizierten Bildes $P_{i,j}$ mit der Farbmatrix $V_{i,j}$ verstanden werden, d.h.

$$C_{i,j} = P_{i,j} \cdot V_{i,j}. \quad (4.8)$$

In der Folge ist das Ausgleichsbild $P'_{i,j}$ eine Multiplikation aus gewünschtem Ergebnisbild der Kamera $C'_{i,j}$, welches dem Ausgangsbild entsprechen sollte, und invertierter Farbmatrix $V_{i,j}^{-1}$, d.h.

$$P'_{i,j} = V_{i,j}^{-1} \cdot C'_{i,j}. \quad (4.9)$$

Jeder Bildpunkt besitzt dabei eine eigene Matrix, welche die Reflexion der Oberfläche, jedoch nicht die Umgebungsbeleuchtung, beinhaltet.

Das Ergebnis kann durch Einbeziehung des kontinuierlichen Feedbacks vom Kamerabild zusätzlich verfeinert werden, wodurch es auch ermöglicht wird die Projektion an dynamische Umgebungen anzupassen.

4.6.2 Dynamische Anpassung

In [13] wird eine derartige Methode zur photometrischen adaptiven Projektion für dynamische Umgebungen vorgestellt. Das dabei verwendete Projektor-Kamera-System verfügt über einen Beam Splitter, wodurch die Optiken von Kamera und Projektor koaxial ausgerichtet werden können. Somit werden mögliche, beim Mapping beispielsweise durch Verdeckungen auftretende, Probleme eliminiert. Zusätzlich wird angenommen, dass die Kamera die Sichtperspektive des Benutzers repräsentiert. Erscheint das Bild aus Sicht der Kamera als korrekt, so gilt dies folglich auch für den Betrachter.

Durch das koaxiale Design ist die geometrische Kalibrierung szenunabhängig. Dies hat den Vorteil, dass die Kalibrierung auch bei einer sich verändernden Oberfläche konstant korrekt bleibt. Die Anpassung kombiniert ein genaues photometrisches Modell mit einem dynamischen Feedback anhand von drei Parametern der Oberflächenreflexion A in der Form

$$A = \begin{bmatrix} A_R & 0 & 0 \\ 0 & A_G & 0 \\ 0 & 0 & A_B \end{bmatrix}, \quad (4.10)$$

wodurch eine Echtzeitanpassung an sich verändernde Umgebungen durch

$$C_{i,j} = A_{i,j}(F_{i,j} + V_{i,j} \cdot P_{i,j}) \quad (4.11)$$

ermöglicht wird. Das resultierende Bild entspricht dabei der Oberflächenantwort $A_{i,j}$, multipliziert mit der Summe aus der konstanten Umgebungsbeleuchtung $F_{i,j}$, welche durch Messung des Projektorschwarzwertes ermittelt wird und der Color-Mixing Matrix $V_{i,j}$ multipliziert mit dem projizierten Ausgangsbild $P_{i,j}$.

Nach einer einmaligen Anfangskalibrierung kann das Modell schließlich dynamisch angepasst werden, indem auf Fehler zwischen der gewünschten und gemessenen Erscheinung des Projektionsbildes eingegangen wird. Im Gegensatz zu traditionellen Verfahren ist hierbei die Korrektur nicht von räumlichen Variationen in der Oberflächenreflexion oder dem Vorhandensein von Bildeigenschaften abhängig. Dadurch, dass die korrekte Anpassung in nur einem einzelnen Frame bestimmt werden kann, wird auch die Projektion von Videos auf sich verändernde Szenen ermöglicht. Eine Änderung der Umgebungsbeleuchtung wird dabei jedoch nicht berücksichtigt.

Beschränkungen bleiben dabei wiederum durch das Schwarz und Weiß des Projektors, welche den Kontrastumfang der Projektion bestimmen. Auch Dynamikunterschiede zwischen Projektor und Kamera oder deren Auflösungen und Framrates können das Resultat beeinflussen. Zudem wirken sich auch noch das Originalbild selbst und die Umgebungsbeleuchtung auf das Endergebnis aus.

4.6.3 Bildinhaltsabhängiger Ausgleich

Die bisher beschriebenen Methoden berücksichtigen lediglich die Reflexionseigenschaften der Projektionsfläche. Es gibt jedoch auch Verfahren, die den Bildinhalt selbst mit einbeziehen und somit traditionelle Algorithmen um zusätzliche Korrekturparameter erweitern, wodurch sichtbare Bildfehler minimiert werden können, während ein Maximum an Helligkeit und Kontrast erhalten bleiben.

Ein derartiges System wird in [1] vorgestellt. Ausgangsbasis ist dabei ein, über die Zeit konstantes, Bild, welches jedoch räumliche Variationen aufweist. Dieses Ausgangsbild wird zunächst in einen geräteunabhängigen Farbraum konvertiert, um die gewünschte Erscheinung unter idealen Bedingungen zu spezifizieren. Im nächsten Schritt werden die Farb- und Helligkeitswerte des Originalbildes getrennt voneinander an die Farbskala und den Helligkeitsbereich, der vom Projektor für jeden Pixel dargestellt werden kann, angepasst. Dabei wird auf einen möglichst hohen Kontrastumfang Wert gelegt.

Das Bild wird schließlich in den Projektorfarbraum umgewandelt, um dadurch das gewünschte RGB-Ausgleichsbild zu erhalten, welches bei der Projektion dem Originalbild, in Kontrast und Farbumfang, möglichst nahe kommen soll. Die einzelnen Bildpunkte weisen dabei jedoch keine Farbwerte auf, die der Projektor nicht darstellen kann. Zusätzlich soll ein möglichst ebenmäßiges Ergebnis erzeugt werden, sodass Variationen im Bild vom Betrachter unbemerkt bleiben.

Diese inhaltsabhängige Methode erfordert für den eigentlichen Darstellungsvorgang deutlich mehr Rechenaufwand als traditionelle Systeme. Da der Ausgleich jedoch genau auf das aktuelle Bild zugeschnitten ist, sollte hierdurch in der Regel ein besseres Ergebnis erzielt werden.

Eine weitere Verbesserung ließe sich durch Berücksichtigung des menschlichen visuellen Systems erzielen. Mit einer entsprechenden Anpassung könnten die Toleranzwerte für Helligkeit und Farbe erhöht werden. Eine derartige Ansatz wird in [30] beschrieben. Dabei wird einerseits das menschliche Sehsystem simuliert und andererseits auch auf den Kontrastumfang des Projektors und den Bildinhalt selbst eingegangen.

Die Bildfehler werden minimiert, indem das finale Ausgleichsbild eine in Kontrast komprimierte Version des Ursprungsbildes darstellt. Diese Komprimierung erfolgt dabei auf Basis des menschlichen visuellen Systems. Zusätzlich werden räumlich variierende Fehlerschwellwerte eingesetzt, wodurch die auftretenden Fehler weniger wahrgenommen werden. Dort wo sie nicht auffallen werden sie sogar bewusst toleriert. Helligkeit und Kontrast der Bilder können in der Folge weitgehend erhalten werden.

Kapitel 5

Implementierung

Ausgehend von den in Kapitel 4 beschriebenen Überlegungen wurde ein System geschaffen, welches es erlaubt, Bilder auf Flächen zu projizieren, die nicht für Projektionen optimiert sind. Dabei wurde aus unterschiedlichen Mapping-Technologien und möglichen Korrekturverfahren für die Visualisierung ein Workflow erarbeitet, der auch praktische Anwendung finden kann.

Die ursprüngliche Idee, welche in der Folge zur Umsetzung dieses Projekts führte, entstand aus der Überlegung heraus, die Darbietung von Musikvisualisierung durch die Nutzung von alternativen Projektionsflächen interessanter zu gestalten. Aus diesem Grund wurde beim Projekt auf diesen speziellen Anwendungsfall innerhalb eines Clubszenarios eingegangen. Es handelt sich dabei jedoch nur um ein Beispiel für ein mögliches Einsatzgebiet. Die Umsetzung von Projektion auf nicht plane Oberflächen, welche in Form des Vorprojekts für diese Diplomarbeit implementiert wurde, könnte in vielerlei Bereichen ihre Anwendung finden.

Hauptziel war es, eine gute Alternative zur bisher zumeist angewendeten manuellen Anpassung an die Objektgegebenheiten zu bieten, da diese bei den ständig wechselnden Gegebenheiten mit einem viel zu hohen Aufwand verbunden wäre. Auch eine Bestückung der Projektionsflächen mit Sensoren wäre hier nicht zielführend, da meist jede Woche an einem anderen Ort visualisiert wird und in der Folge der benötigte Arbeitsaufwand auch jedes Mal aufs Neue erfolgen müsste.

Das Projekt soll hingegen auf möglichst automatischem Wege die Darstellung von Videos auf alternativen Projektionsflächen verwirklichen. Es beschäftigt sich daher mit der Entwicklung eines entsprechenden Tools, welches ein simuliertes Mapping von Visualisierungen erlaubt. Diese sollen dann durch Projektion in perspektivisch korrigierter Form auf dem realen Objekt dargestellt werden.

Damit tatsächlich jegliche Oberfläche als mögliche Projektionsfläche dienen kann, wurde hierfür das in Abschnitt 4.4.3 beschriebene Verfahren des „Pixel Displacement Mapping“ implementiert. Die Pixelbeziehungen wer-



Abbildung 5.1: Das Testsetup besteht aus einer Canon EOS 550D Spiegelreflexkamera und einem Optoma EX542 DLP-Projektor.

den dabei mit Hilfe von Streifenprojektion ermittelt, bei der eine Gray-Code Sequenz zum Einsatz kommt. Die zu projizierenden Bild- und Videodateien werden schließlich durch ein entsprechendes Koordinaten-Mapping an die Objektoberfläche angepasst. Ein Farb- und Intensitätsausgleich erfolgt zudem über arithmetische Bildoperationen.

Dieses Verfahren stellt für ein Clubszenario die am besten geeignete Ausgleichsmethode dar, da ein geeignetes Projektorensetup ohnehin im Vorfeld jedes Auftritts erfolgen muss. Das zusätzliche Aufstellen einer Kamera stellt dabei keinen enormen Mehraufwand dar. In der Folge wird auf die wesentlichen Schritte des Verfahrens im Detail eingegangen, beginnend mit einer Beschreibung der verwendeten Hardwarekomponenten.

5.1 Systemaufbau

Das Testsetup besteht aus einer Canon EOS 550D Spiegelreflexkamera und einem Optoma EX542 DLP-Projektor (siehe Abb. 5.1). Beide Geräte finden sich in der unteren Preisklasse wieder, haben jedoch bereits in vielen Anwendungen mit ihrer Leistung überzeugt. Der Projektor liefert eine helle Projektion mit einer Lichtstärke von bis zu 2700 ANSI Lumen, wodurch auch ein hoher Kontrastumfang von 3000:1 zwischen hellstem darstellbarem Weiß und Projektorschwarzwert erzielt werden kann. Die Kamera besitzt ebenso zahlreiche Features, wie beispielsweise ein CMOS-Sensor in APS-C-Größe von 22,3 x 14,9 mm oder eine Full HD Videoaufzeichnungsfunktion, die normalerweise nur bei hochpreisigen Modellen angetroffen werden.

Der Projektor verfügt über ein Weitwinkelobjektiv mit einer einstellbaren Brennweite von 18,2–21,8 mm. Weitwinkelobjektive sind für Projektoren sehr gängig, da dadurch die Projektion von größeren Bildern in kleineren Räumen

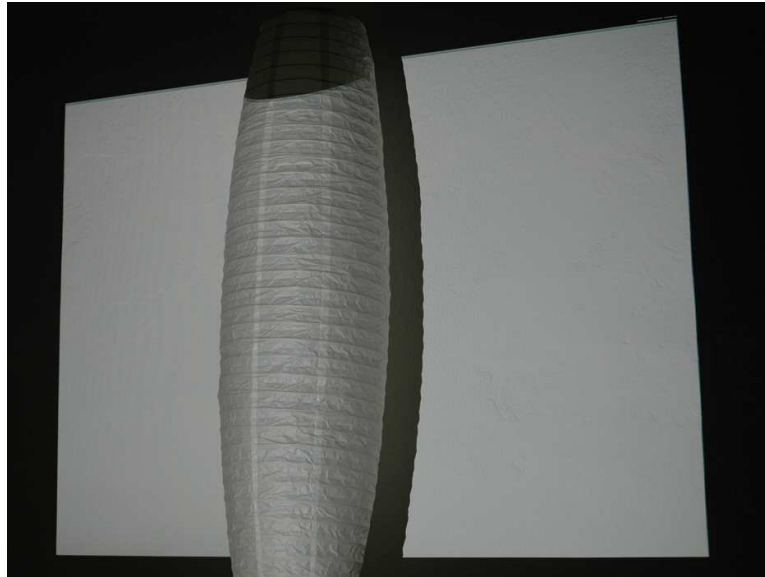


Abbildung 5.2: Das Kamerabild sollte die gesamte Projektionsfläche beinhalten und auf das zu bespielende Objekt scharf gestellt werden.

ermöglicht wird. Beim EX542 kann dadurch je nach Abstand zur Projektionsfläche eine Bilddiagonale von 0,78-9,38 m erzielt werden. Die Brennweite beeinflusst dies durch einen möglichen Zoombereich von bis zu 1,2-facher Größe.

Der Projektor wird in seiner nativen XGA Auflösung von 1.024 x 768 Bildpunkten verwendet. Um die Oberfläche der zu bespielenden Objekte vollkommen rekonstruieren zu können, muss das Kamerabild über eine gleich große oder höhere Auflösung als der Projektor verfügen. Dies stellt bei einer digitalen Spiegelreflexkamera wie der Canon EOS keinerlei Problem dar. Sie verfügt über eine mögliche effektive Auflösung von bis zu 18 Megapixeln. Für die Aufnahmen ist jedoch die kleinstmögliche Formateinstellung von 2.592 x 1.728 Bildpunkten ausreichend, da damit alle Projektionspunkte auf der Oberfläche rekonstruiert werden können und eine höhere Auflösung nur den Rechenaufwand unnötig erhöhen würde.

Um ein optimales Setup zu erzielen, wird der Projektor möglichst auf die zu bespielenden Fläche ausgerichtet. Eine nähere Erklärung, worauf bei der Projektorpositionierung besonders zu achten ist, findet sich in Abschnitt 4.5. Die Kamera wird hingegen an der idealen Position des späteren Betrachters aufgestellt, um dadurch das Bild derart korrigieren zu können, dass es aus dieser Perspektive in möglichst einwandfreier Form erscheint. Der Bildausschnitt der Kamera soll dabei zur Gänze die projizierte Fläche beinhalten und der Fokus sollte auf dem zu bespielenden Objekt liegen (siehe Abb. 5.2).

5.2 Gray-Code Projektion

Nach erfolgtem Setup des Systems hat man die Möglichkeit eine Gray-Code Sequenz auf das gewünschte Objekt zu projizieren, um in der Folge die Koordinatenbeziehungen zwischen Kamerabild und Projektion ermitteln zu können. Die Methode der Gray-Codierung ist besonders robust gegenüber Dekodierungsfehlern, da sich hier zwei aufeinanderfolgende Codes nur durch ein Bit unterscheiden.

Die benötigte Anzahl N an unterschiedlichen Codes ergibt sich aus der Auflösung der zu rekonstruierenden Fläche, die durch Projektorbildbreite w und -höhe h bestimmt ist:

$$N = \lceil \log_2 w \rceil + \lceil \log_2 h \rceil + 1 . \quad (5.1)$$

Da es sich bei einer Gray-Code Sequenz um eine Spezialform von Binärwerten handelt, kann mit Hilfe des Logarithmus der Basis 2 die erforderliche Anzahl an Codes ermittelt werden, um die Oberfläche pixelgenau im System abbilden zu können.

Der entsprechende Programmcode zur Erzeugung der Gray-Sequenz für die Projektorzeilen sieht folgendermaßen aus:

```

1 // Create Gray-Codes for projector columns
2 for(int i=0; i<proj_w; i++) // vertical Pixel
3 {
4   for(int k=0; k<gray_c; k++) // number of required Gray-Codes
5   {
6     // Create pointer to data of current code-image
7     uchar* image = (uchar*) codes[k+1]->imageData;
8
9     if(k>0)
10      image[i] = (((i+offset_c) >> (gray_c-k-1)) & 1)^( ((i+offset_c) >>
11      (gray_c-k)) & 1);
12    else // k==0
13      image[i] = (((i+offset_c) >> (gray_c-k-1)) & 1);
14
15    image[i] *= 255; // black or white
16
17    // fill whole row with current column data
18
19    for(int j=1; j<proj_h; j++)
20      image[j*proj_w+i] = image[i];
21  }
22 }
```

Der erste Gray-Code-Wert entspricht dem Binärwert, infolgedessen wird dieser durch eine binäre Verschiebung des aktuellen vertikalen Pixelwertes nach rechts erzielt. Bei einer Breite von 1.024 Pixeln bedeutet dies, dass die einzelnen Spaltenindizes zunächst in Binärwerte umgewandelt werden und daraufhin eine Verschiebung um 9 Stellen nach rechts erfolgt. Bei den ersten 512 Spalten ergibt dies den Wert 0, bei Index 512–1.023 ist der Ergebniswert 1.

Für die weitere Folge an Gray-Code Mustern wird wiederum vom aktuellen Spaltenindex in Binärform B ausgegangen. Dieser wird einmal um $k - 1$ Stellen und einmal um k Stellen nach rechts verschoben. Beide Werte werden schließlich durch eine Xor-Verknüpfung miteinander verbunden. Infolgedessen ergibt sich aus

$$G_k = B_{k-1} \oplus B_k \quad (5.2)$$

wiederum ein Wert von 0 oder 1, welcher den Gray-codierten Wert G für die aktuelle Spalte darstellt.

Für die Bildgenerierung werden die Binärwerte jeweils mit 255 multipliziert, um eine schwarz-weiße Darstellung zu erhalten. Die Robustheit gegenüber Dekodierungsartefakten wird zusätzlich erhöht, indem zu jedem Bild auch das invertierte projiziert wird. Dadurch kann verglichen werden, ob nun das Original oder das invertierte Bild an einer bestimmten Stelle heller ist. Die Ausgabe der Bildsequenz erfolgt schließlich folgendermaßen:

```

1 IplImage* code_i = cvCloneImage(codes[0]);
2
3 for(int i = 0; i < (gray_c + gray_r + 1); i++)
4 {
5 // Display Gray-Code Image
6 cvShowImage("GrayCodesWindow", codes[i]);
7 cvWaitKey(0);
8
9 // Display inverted Image
10 cvSubRS(codes[i], cvScalar(255), code_i);
11 cvShowImage("GrayCodesWindow", code_i);
12 cvWaitKey(0);
13 }

```

Bei einer Projektoraufösung von 1.024 x 768 Pixeln besteht die Gray-Code Sequenz folglich aus einem weißen Hellbild, einem schwarzen Dunkelbild, einer Serie aus 20 horizontalen Streifenmustern und einer Serie aus 20 vertikalen Streifenmustern.

5.3 Streifenlichtdekodierung

Für die Rekonstruktion des benötigten 2D Vektorfeldes werden zunächst alle Gray-Code Aufnahmen eingelesen und anschließend dekodiert. Dafür werden immer zwei aufeinanderfolgende Bilder, also das originale und das invertierte Bild einer Gray-Code-Repräsentation, herangezogen und in Grauwertbilder umgewandelt (siehe Abb. 5.3).

Anschließend können beide mittels `cvCmp` verglichen werden. Ist nun der Grauwert eines Bildpunktes im invertierten Bild kleiner als im Original, so ist das binäre Ergebnis 1, ansonsten 0. Der benötigte Programmcode für die Dekodierung der Projektorzeilen sieht dabei wie folgt aus:

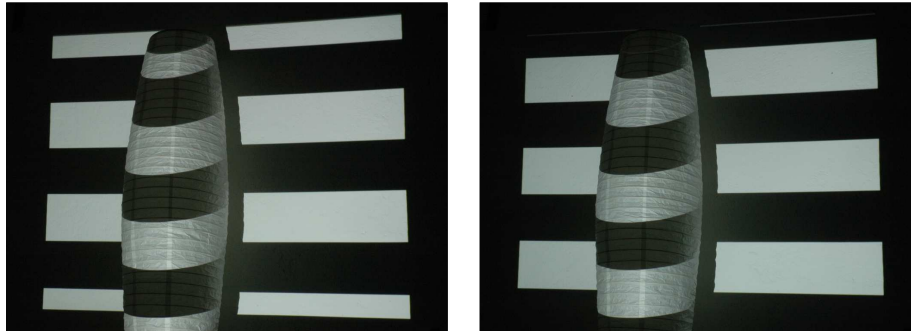


Abbildung 5.3: Für die Dekodierung werden immer zwei aufeinanderfolgende Bilder miteinander verglichen. Je nachdem, ob der Grauwert im invertierten Bild kleiner oder größer ist als im Original, ergibt sich ein anderer Binärwert für den entsprechenden Bildpunkt.

```

1 for(int i=0; i<gray_c; i++)
2 {
3   // Convert images to grayscale
4   cvCvtColor(codes[2*(i+1)], grayscale_1, CV_RGB2GRAY);
5   cvCvtColor(codes[2*(i+1)+1], grayscale_2, CV_RGB2GRAY);
6
7   // Compare images and save result in result_2
8   cvCmp(grayscale_1, grayscale_2, result_2, CV_CMP_GE);
9
10  // Convert from gray code to decimal value
11  if(i>0)
12    cvXor(result_2, result_1, result_1);
13  else
14    cvCopyImage(result_2, result_1);
15
16  cvAddS(decoded_cols, cvScalar(pow(2.0,gray_c-i-1)), decoded_cols,
17    result_1);

```

Dieser Vorgang wird sowohl für die horizontalen als auch für die vertikalen Streifenmuster durchgeführt. Durch Umwandlung der Gray-Werte in Dezimalzahlen ergibt sich schließlich für jeden Kamerapixel die entsprechende Projektorkoordinate (siehe Abb. 5.4).

Der erste Gray-Code entspricht dabei wiederum dem Binärcode. In diesem Fall wird `result_2` einfach nur in `result_1` kopiert. Für alle weiteren Codes der Sequenz, gilt

$$B_i = G_i \oplus B_{i-1}. \quad (5.3)$$

Es kommt also erneut zu einer Xor-Verknüpfung, diesmal mit dem aktuellen Gray-Wert und dem vorangegangenen Binärwert. Um nun zum Zeilenpixelwert des Projektors zu gelangen, wird schließlich zum dekodierte Zeilenarray

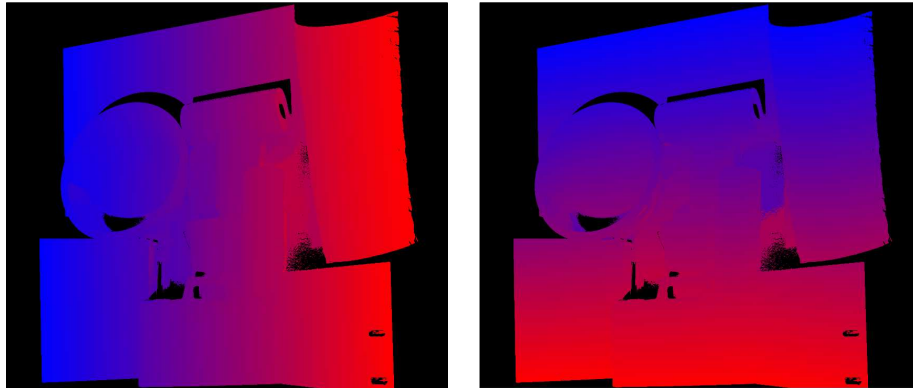


Abbildung 5.4: Darstellung der dekodierten horizontalen und vertikalen Pixelbeziehungen zwischen Projektion und Kameraaufnahme.

die Zweierpotenz der Anzahl an Gray-Codes weniger aktuellem Gray-Wert, weniger 1 hinzugefügt, wenn das Ergebnis in `result_1` nicht 0 ist.

Diese Prozedur wird nun in gleicher Form für die Dekodierung der vertikalen Streifenbilder der Gray-Code-Sequenz angewendet, um so die entsprechenden Spaltenpixelwerte zu erhalten.

5.4 Geometrische Korrektur

Für die dekodierten Zeilen und Spalten steht nun jeweils ein Array in Kameraauflösung zur Verfügung, welches für jeden Pixel auf die entsprechende Projektorkoordinate verweist. Um das projizierte Bild an die Oberflächengegebenheiten anpassen zu können, werden diese Beziehungen jedoch in umgekehrter Form benötigt, sodass jede Projektorkoordinate auf eine Pixelposition im Kamerabild verweist.

Dazu werden die Arrays der Zeilen- und Spaltendaten der Kamera durchlaufen und die darin enthaltenen Projektorkoordinaten als Indizes für zwei neue Arrays herangezogen. Darin wird jeweils der aktuelle Kamerapixelwert skaliert auf die Projektorauflösung abgelegt. Jeder Projektorpixel verweist demzufolge auf einen bestimmten Wert in Projektorauflösung, der jedoch in diesem Fall die Kameraposition widerspiegelt.

Zusätzlich wird berücksichtigt, dass es auf Grund der unterschiedlichen Auflösungen zu Mehrfachbeziehungen zwischen Projektorkoordinaten und Kamerapixeln kommen kann. Verweist nun ein Projektorpixel auf mehrere Werte im Kamerabild so werden diese in summierter Form am entsprechenden Index abgelegt. Durch eine abschließende Division durch ein entsprechendes Zählerarray kommt es schließlich zu einer Form der linearen Interpolation der Kamerapixelwerte. Im Programmcode spiegelt sich dieses Vorgehen folgendermaßen wieder:

```

1 for(int i=0; i<cam_h; i++)
2 {
3   for(int j = 0; j<cam_w; j++)
4   {
5     int col = gray_col_data[i*cam_w+j];
6     int row = gray_row_data[i*cam_w+j];
7
8     cvmSet(proj_sum_row, row, col, (cvmGet(proj_sum_row, row, col)+((
9       float)i/(float)cam_h*(float)proj_h)));
10
11    cvmSet(proj_sum_col, row, col, (cvmGet(proj_sum_col, row, col)+((
12      float)j/(float)cam_w*(float)proj_w)));
13  }
14 }
15
16 cvDiv(proj_sum_col, proj_count, mapx);
17 cvDiv(proj_sum_row, proj_count, mapy);

```

Diese Information wird nun dafür herangezogen, das gewünschte zu projizierende Bild entsprechend der Objektkoordinaten zu manipulieren. Dies wird mit der OpenCV-Funktion `cvRemap` realisiert, welche gleichsam für Bild- und Videodaten eingesetzt werden kann.

```

1 cvRemap((const CvArr*)testimage, (CvArr*) corrected, (CvArr*)mapx, (
2   CvArr*)mapy, flags, fillval);

```

Die ersten beiden Parameter von `cvRemap()` sind das Quell- beziehungsweise das Zielbild. Diese müssen die gleiche Größe und Anzahl an Farbkanälen aufweisen und dürfen nicht auf den selben Imagepointer verweisen. Die nächsten beiden Parameter `mapx` und `mapy` geben an, wo ein bestimmter Pixel abgebildet werden soll. In unserem Fall handelt es sich dabei um die zuvor berechneten Verschiebungswerte zwischen Projektor und Kamerabild. Parameter `flags` bestimmt, welche Interpolationsmethode angewendet werden soll, damit keine Löcher durch das Mapping entstehen und der letzte Parameter `fillval` gibt an, welche Farbe Pixel im Zielbild annehmen sollen, die auf keinerlei Pixel im Ausgangsbild verweisen (siehe [8, S. 162f]).

Durch dieses Koordinaten-Mapping besteht aus Kameraperspektive und somit aus jener des idealen Betrachters eine korrekte verzerrungsfreie Darstellung des Ausgangsbildes (siehe Abb. 5.5).

5.5 Farb- und Helligkeitsausgleich

Für die spätere praktische Anwendung der Software ist geplant, dass die zu bespielenden Objekte für den jeweiligen Einsatz vorzugsweise eigens aus Styropor angefertigt werden. Die Projektionsfläche ist daher als weiß und matt vorauszusetzen. Aus diesem Grund wurde für die Farb- und Intensi-

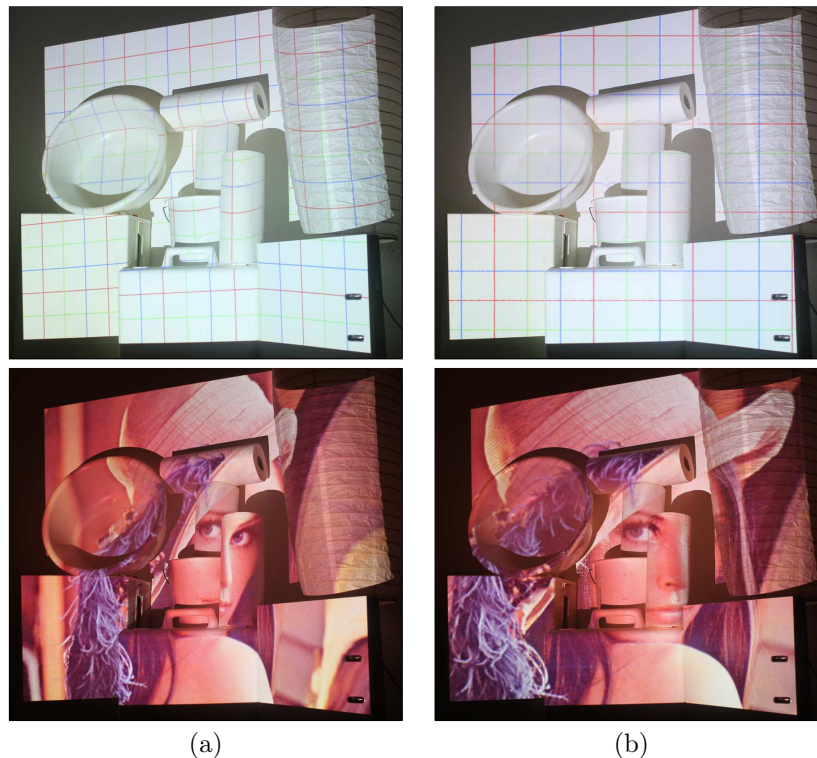


Abbildung 5.5: Während die Kameraaufnahmen von projizierten Testbildern bei herkömmlicher Projektion ohne Korrektur (a) eher an kubistische Werke erinnern, ist bei Anwendung des implementierten Verfahrens (b) die Darstellung des Ursprungsbildes in verzerrungsfreier Form gewährleistet.

tätskorrektur vorerst ein sehr einfaches Verfahren entwickelt, das nur mit arithmetischen Bildoperationen auskommt.

Zunächst wird dafür das erste Bild der Gray-Code Sequenz herangezogen, bei dem das Objekt nur mit reinem Weiß bestrahlt wurde. Vor den Aufnahmen ist hierbei ein guter Weißabgleich zwischen weißer Projektion und aufgenommenen Weiß der Kamera grundlegend, da ansonsten die Farbinformationen deutlich verfälscht erscheinen würden. Das sogenannte Hellbild wird nun ebenfalls in das Projektor-Koordinatensystem überführt. Davon ausgehend lautet die entsprechende Korrekturfunktion:

$$P'_{i,j} = P_{i,j} - (W_{i,j} - W_{\text{avg}}) , \quad (5.4)$$

wobei der durchschnittliche Intensitätswert über das gesamte Hellbild W_{avg} als Referenzwert herangezogen wird. Von diesem wird mittels `cvSubS` ein Differenzbild zum weiß bestrahlten Objektbild W erstellt. Die eigentliche Korrektur erfolgt dann über Subtraktion des Differenzbildes vom zu projizierendem Bild P (siehe Abb. 5.6).

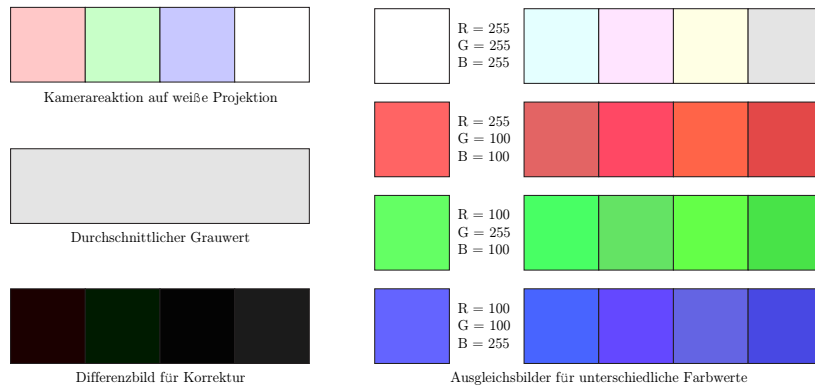


Abbildung 5.6: Ausgehend von der Kamerareaktion auf eine rein weiße Projektion wird ein Korrekturbild für den Farb- und Helligkeitsausgleich mit Hilfe arithmetischer Bildoperationen durchgeführt.

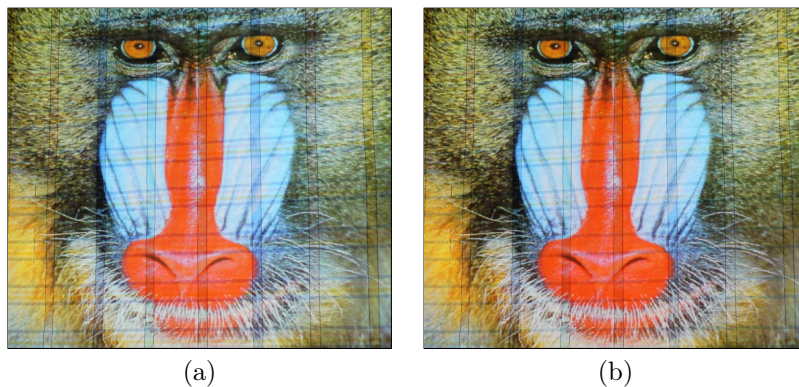


Abbildung 5.7: Die eigene Implementierung (b) führt zu einem besseren Ergebnis als die herkömmliche Korrekturmethode (a), da dort nur auf Helligkeitswerte eingegangen wird, jedoch nicht auf Farbunterschiede.

Dieses Vorgehen lässt sich also mit Hilfe von OpenCV auf sehr einfache und effiziente Art und Weise lösen:

```

1 CvScalar avg = cvAvg(white, NULL);
2 double sum = avg.val[0]+avg.val[1]+avg.val[2];
3 CvScalar s = cvScalarAll(sum/3.0);
4
5 cvSubS((const CvArr*) white, s, (CvArr*) colorDifference, NULL);
6 cvSub((const CvArr*)corrected, (const CvArr*) colorDifference, (CvArr*)
  myColorCorrected, NULL);

```

Dieses einfache Verfahren zeigt jedoch deutliche Vorzüge gegenüber dem in Abschnitt 4.6 beschriebenen Intensitätsausgleich, was aus einer Testprojektion auf ein kariertes Tischtuch ersichtlich wird (siehe Abb. 5.7).

Kapitel 6

Resümee

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde der Einsatz von Oberflächen als Designelement behandelt. Im Speziellen wurde dabei auf die technischen und gestalterischen Überlegungen hinsichtlich einer Projektion auf nicht plane Oberflächen eingegangen. Abschließend folgt nun eine Zusammenfassung der wichtigsten Aussagen dieser Arbeit, mit dem Ziel, dem Leser die entsprechenden Erkenntnisse nochmals in kompakter Form zu vermitteln. Am Ende wird zudem bewusst auf die unterschiedlichen aktuellen und zukünftigen Einsatzmöglichkeiten für derartige Projektionen hingewiesen.

6.1 Zusammenfassung

In gleicher Weise wie in den vergangenen Jahren Digitalkameras den Einzug in die Consumer-Elektronik gefunden haben, bewegt sich jetzt der Trend in Richtung von Projektoren. Immer preiswertere und mobilere Geräte stürmen den Markt. Bei mobilen Projektoren stellt sich allerdings die Frage, worauf projiziert werden kann, ohne Leinwand-Projektionsflächen herumtragen zu müssen. Die einzige Antwort stellen dabei alltägliche Objekte dar.

Bei der Projektion auf unebene und unterschiedliche Oberflächen kommt es jedoch zu Problemen wie Unschärfe, Verzerrungen und unterschiedliche Reflexionsstärken. Wie wichtig Projektor-Kamera-Systeme in Kombination mit passenden Bildkorrekturtechniken sind, wird dadurch offensichtlich.

Für konventionelle Anwendungen werden die Oberflächen für die Projektion hin optimiert, sodass überall eine gleich starke Reflexion herrscht, die größtenteils diffus ist. Meist handelt es sich dabei um flache Leinwände beziehungsweise um einfache zylindrische oder kugelförmige Objekte, für die nur geringfügige Korrekturen vorzunehmen sind.

Eine Projektion auf nicht plane Oberflächen bedarf hingegen sehr detaillierteren Überlegungen. Größe, Form, Material und Struktur des zu bespielenden Objekts spielen dabei eine wesentliche Rolle. Wird Frontprojektion eingesetzt, kann es zudem zu störenden Schatten kommen, die im besten Fall

mittels Multiprojektion ausgeglichen werden können, was jedoch zu einer erhöhten Komplexität und deutlich mehr Rechenaufwand führt.

Um ein verzerrungsfreies und perspektivisch korrektes Ergebnis zu erhalten, was vor allem für das Funktionieren von 3D Illusionen wesentlich ist, muss auch die Betrachterposition für die Projektion berücksichtigt werden.

Die Tiefenschärfe kann ebenso zu Problemen führen, da konventionelle Projektoren nur innerhalb eines kleinen Bereichs fokussiert werden können. Aus diesem Grund sollte der Projektorstandort derart gewählt werden, dass der Tiefenunterschied innerhalb der Projektionsfläche möglichst gering ist.

Auch aus inhaltlicher Sicht ist es sinnvoll, die Eigenheiten der Projektionsfläche mit einzubeziehen. Es gibt bereits eine eigene Kunstform, die dies berücksichtigt, den sogenannten Projektionismus, bei dem das Bild in Kombination mit der Oberfläche eine neue Bedeutung erfährt.

Der Ursprung des Projektionismus liegt im Begriff der Projektion, welcher sich im wörtlichen Sinne aus den Grundelementen Licht und Schatten, über Farbe, bis hin zu den technischen Errungenschaften der Camera Obscura und Laterna Magica entwickelt hat.

Projektion ist jedoch nicht einfach nur die Übertragung eines Bildes auf eine Projektionsfläche. Sie kann auch aus metaphorischer Sicht definiert werden, nämlich als Übertragung von Gefühlen und Gedanken auf die Welt. Dies bildet den Kern des Projektionismus, bei dem das Prinzip des Designs als Kommunikationsmittel und somit des Mediums als Botschaft wohl am deutlichsten verwirklicht wird.

Dadurch, dass die Oberfläche zum Gestaltungsmittel erhoben wird, ist ein adäquates Zusammenspiel zwischen Bildmaterial und Projektionsfläche Grundlage, um eine in sich stimmige Botschaft zu vermitteln. Aus diesem Grund ist die Wahl der Oberfläche im Projektionismus ebenso wichtig, wie die Verwendung von aussagekräftigem Bildmaterial.

Hierbei kommt es zumeist zu einer Remediation von bekannten Inhalten, um daraus etwas Neues entstehen zu lassen. Dabei steht jedoch nicht nur die Projektion selbst im Mittelpunkt, sondern gleichermaßen die visuelle Kommunikation mit dem Betrachter.

Damit es zu keiner Verfremdung der vom Künstler gewünschten Botschaft kommt, muss dieser auf sein Publikum eingehen, mit ihm interagieren. Der projizierte Bildinhalt muss dabei Ideen und Geschichten transportieren, aber auch gleichzeitig Raum für Interpretationen zulassen, sodass der Betrachter das Bild in seinem eigenen Kontext sehen kann und Projektionismus in der Folge zu einem individuellen Erlebnis wird.

Die Faktoren Raum und Zeit spielen dafür ebenfalls eine zentrale Rolle. Auf die Zeit ist dabei nicht nur in Form der Tageszeit, zu der im Außenbereich projiziert wird, zu achten, da für Projektion ein gewisser Grad an Dunkelheit erforderlich ist. Auch die zeitliche Abfolge der Bilder ist bei der Projektion maßgeblich. So lässt sich diese durch Effekte wie Zeitraffer oder Standbilder manipulieren. Durch den Einsatz von Loops kann hingegen der Wiedererken-

nungswert erhöht werden. Interessante Resultate lassen sich außerdem durch Kameraaufnahmen, die direkt wieder projiziert werden, erzielen.

Hinsichtlich des Raumes erschließen sich ebenfalls vielerlei Möglichkeiten. So können durch die Projektion, Räume sprichwörtlich zum Leben erweckt werden. Dabei spielt die Dramaturgie in Form von Bewegung und Abständen eine ebenso wesentliche Rolle, wie die Beziehung zwischen Betrachter und Objekt. Virtuelle Räume werden auf reale projiziert, wobei mit Elementen wie Linien, Flächen oder auch dreidimensionalen Körpern experimentiert wird. Auch das Bemalen von Gebäuden in Echtzeit wird ermöglicht.

Projektion spielt jedoch abseits von Medieninstallationen, beispielsweise in der Architektur, ebenso eine wesentliche Rolle. Im Rahmen der sogenannten Lumentekturen werden Gebäude in einen neuen Kontext gerückt, indem die realen Strukturen passgenau durch Projektionen überlagert werden.

Dies kann zum Beispiel mit Hilfe einer Bildbearbeitungssoftware erfolgen, in der die gewünschten Bilder für die Projektion vorkorrigiert und dadurch an die Oberflächengegebenheiten angepasst werden. Eine weitere Möglichkeit wird durch nachträgliches Video-Mapping geboten. Diese Methode ist heute bereits in den meisten kommerziell erhältlichen Visualisierungssoftwarelösungen integriert. Um hingegen eine Verstärkung der dreidimensionalen Wirkung zu erzielen, kann Relief Projektion eingesetzt werden. Dabei entspricht die Oberfläche selbst dem darauf projizierten Bild.

Es muss jedoch nicht immer zu einer passgenauen Projektion kommen. In manchen Fällen ist die Verzerrung durch die Oberfläche durchaus erwünscht und kann somit bewusst als Stilmittel eingesetzt werden. Will man hingegen ein einwandfrei korrigiertes Bild, so empfiehlt sich eine wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Thematik in Form von „Spatial Augmented Reality“. Dabei wird der Projektor als neue Form des Displays für eine erweiterte Realität eingesetzt.

Um eine möglichst korrekte Abbildung der Projektion auf dem realen Objekt zu erhalten, muss man dieses zunächst möglichst genau in digitaler Form abbilden. Neben einer aufwändigen manuellen Nachbildung bieten sich hier auch verschiedene Verfahren zur 3D Rekonstruktion an, bei denen Kameras eine wesentliche Rolle spielen. Bei der Methode der Stereoskopie simulieren beispielsweise zwei Kameras das menschliche visuelle System, wodurch die dreidimensionale Objektoberfläche rekonstruiert werden können. Dafür werden Punktübereinstimmungen in den beiden Aufnahmen herangezogen. Anhand der Kameraabstände zueinander können daraus, mittels Trigonometrie, die realen Abstände zur Oberfläche bestimmt werden.

Nach einem ähnlichen Prinzip arbeitet die Streifenlichtrekonstruktion, bei der eine der Kameras durch einen Projektor ersetzt wird, der kontrollierte Muster auf der Oberfläche ausgibt. Diese werden in der Folge von der Kamera aufgenommen und wiederum mittels Trigonometrie analysiert.

Eine weitere Möglichkeit wird durch Analyse der Tiefenschärfe geboten, welche ebenfalls Aufschluss über die realen Abstände und folglich über die

Oberflächengegebenheiten gibt. Auch ist es möglich, die Oberfläche selbst mit Sensoren zu erweitern, um deren Rekonstruktion zu erleichtern.

Um eine perspektivisch korrekte Abbildung des projizierten Bildes zu erhalten, muss es jedoch nicht zwangsläufig zu einer 3D Erfassung kommen. Wichtig ist lediglich, ungewollte Verzerrungen bei der Projektion entsprechend auszugleichen. Hierfür gibt es je nachdem, wie stark die Projektionsfläche von einer ebenen Oberfläche abweicht, unterschiedliche Möglichkeiten.

Handelt es sich um eine vollkommen ebene Fläche, so reicht zumeist eine einfache Perspektivenänderung, um ein korrektes Bild aus der Position des Betrachters zu erhalten. Diese kann mit Hilfe einer Koordinatentransformation mittels homografischer Matrix erfolgen.

Wenn es sich nicht um eine ebene Projektionsfläche handelt, es jedoch möglich ist die Geometrie vollkommen im System abzubilden, so wird durch „Projective Texture Mapping“ eine gute Korrekturmöglichkeit geboten. Dabei wird das Bild zunächst aus der gewünschten Perspektive gerendert und in Form einer Textur abgelegt, welche dann über das geometrische Modell der Projektionsfläche gelegt wird. Das auf diese Weise generierte Bild erscheint als korrekt, wenn es auf die Oberfläche projiziert wird.

Für geometrisch komplexe und texturierte Oberflächen bietet sich hingegen die Methode des „Pixel Displacement Mappings“ an, bei der die Korrektur pixelweise in Form von look-up Operationen erfolgt. Hierbei wird ein Mapping der projizierten Pixel auf die von der Kamera aufgenommenen Punkte vorgenommen. Für deren Erfassung wird zumeist Streifenprojektion eingesetzt. Die Umkehrung der Map wird in der Folge zur Korrektur des Ursprungsbildes herangezogen.

Beim Mapping-Vorgang sollte die endgültige Platzierung der verwendeten Projektoren bereits bekannt sein. Die Anordnung in der Software muss der realen Anordnung im Raum entsprechen, um ein korrektes Bild darzustellen. Eine nachträgliche Anbringung anhand der Softwaredaten erweist sich als deutlich schwieriger.

Bei der Platzierung ist vor allem auf räumliche Einschränkungen Rücksicht zu nehmen. Außerdem kann, abhängig von der Entfernung, nur eine bestimmte maximal große Fläche ausgeleuchtet werden. Beim Einsatz mehrerer Projektoren müssen diese zudem etwas überlappen.

Ein weiteres Problem kommt durch die Tiefenschärfe hinzu, da Projektoren nur auf eine bestimmte Entfernung zur Projektionsfläche scharf gestellt werden können und dementsprechend zu positionieren sind. Bei Frontprojektion ist zudem auf die Vermeidung störender Schattenbildung zu achten.

Ist die Projektion korrekt an die Geometrie der Oberfläche angepasst, wird eine weitere Problematik offensichtlich. Da Alltagsoberflächen in den seltensten Fällen rein weiß und matt sind, müssen auch Unstimmigkeiten in der Farbgebung und Helligkeitsunterschiede ausgeglichen werden. Ziel ist es Auswirkungen durch die Oberfläche soweit wie möglich zu reduzieren, dabei jedoch die farbliche Qualität des Ausgangsbildes weitgehend zu erhalten.

Ausgangspunkt ist dafür in der Regel eine Kameraaufnahme des projizierten Bildes. Im einfachsten Fall werden ein rein weißes und ein rein schwarzes Bild projiziert, deren Abbildungen für jeden Bildpunkt analysiert und entsprechend als Korrekturfaktoren für das Originalbild herangezogen.

Nachdem jedoch Kamera und Projektor meist unterschiedliche Farbspektren aufweisen, ist es ratsam, dies bei der Korrektur ebenfalls zu berücksichtigen. Hierbei kann durch Analyse von Kamerareaktionen eine „Color-Mixing“ Matrix erstellt werden. Diese beinhaltet die Abbildungen der einzelnen Farbkanaäle und wird in der Folge in das Ausgleichsbild entsprechend mit eingerechnet.

Durch Einbeziehung eines kontinuierlichen Feedbacks der Kamerareaktion kann eine zusätzliche Verfeinerung erfolgen. Zudem kann auf sich verändernde Oberflächenbedingungen eingegangen werden. In diesem Fall wird die Oberflächenreaktion immer wieder neu mit eingerechnet und das Bild in Folge dessen kontinuierlich verbessert.

Beschränkungen bestehen jedoch aufgrund des Kontrastumfangs der Projektion und der Auflösung der verwendeten Geräte, aber auch deren Dynamikunterschiede sind entscheidend und sowohl das projizierte Ausgangsbild als auch die Umgebungsbeleuchtung haben Einfluss auf das Ergebnis.

Eine Verbesserung kann die Rücksichtnahme auf den Bildinhalt des projizierten Bildes darstellen. Dadurch lassen sich sichtbare Bildfehler besser minimieren und auch ein höherer Helligkeits- und Kontrastumfang wird möglich. Die im Originalbild vorkommenden Farb- und Helligkeitswerte werden dabei an die Gegebenheiten des Projektors angepasst und diese so gut wie möglich ausgenutzt.

Für das eigene Projekt im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden die bestehenden Ideen und Algorithmen analysiert und in der Folge ein System geschaffen, welches es erlaubt, korrekte Projektionen auf nicht plane Oberflächen auf einfache Art und Weise zu erzielen.

Programmiert wurde dabei in C++ unter Verwendung der OpenCV-Library. Um die Projektion an die Oberflächengegebenheiten anzupassen, wurde die Methode des „Pixel Displacement Mappings“ implementiert. Die Erfassung der Zielobjekte erfolgt dabei mit Hilfe eines Streifenlichtprojektionsverfahrens, bei dem eine Gray-Code Sequenz projiziert wird. Diese wird von einer Kamera aufgezeichnet und in der Folge für die Erzeugung des benötigten 2D Vektorfeldes ausgewertet.

Anhand dieser 2D Verschiebungswerte wird eine Koordinatentransformation durchgeführt, um die Bilder korrekt auf das erfasste Objekt zurück projizieren zu können. Ein zusätzlicher Sättigungs- und Intensitätsausgleich erfolgte über einfache arithmetische Bildoperationen.

Dieses Verfahren soll in Zukunft praktische Anwendung bei der Musikvisualisierung in Clubszenarien finden. Es existieren allerdings noch eine Vielzahl anderer möglicher Einsatzgebiete für die Projektion auf nicht plane Oberflächen, auf die in der Folge näher eingegangen wird.

6.2 Ausblick

Moderne Medientechniker und -künstler wenden sich immer mehr von der zweidimensionalen Perspektive und somit Projektion ab und gehen dazu über, Medien im Raum zu platzieren. Was ein Bildschirm ist, muss in Folge dessen neu überdacht werden.

In der Veranstaltungstechnik finden sich auch neben der Musikvisualisierung zahlreiche Einsatzmöglichkeiten für Projektionen auf nicht plane Oberflächen. Für das Bühnenbild von Theater oder Musical kommt auch heute bereits häufig Projektion zur Anwendung. Durch gezielten Einsatz von dreidimensionalen Objekten als Projektionsfläche könnten derartige Live-Stage-Performances zusätzlich bereichert werden.

Im öffentlichen Raum finden sich ebenso zahlreiche Einsatzgebiete. So könnte beispielsweise eine virtuelle Zeitung einen stark frequentierten Platz bereichern. Architektonische Botschaften auf Gebäuden können bewusst als Werbemittel eingesetzt werden. Aber auch abseits von Produktwerbung können Fassaden etwa als Medienprojektionsfläche zur politischen Propaganda fungieren.

Ebenso können historische Stätten durch Projektion zu neuem Leben erweckt werden, indem vergangene Ereignisse an Ort und Stelle des Geschehens abgebildet werden. Projektionen können aber auch für die Zukunft von Wert sein, beispielsweise in der architektonischen Planung. Durch das Projizieren von lebensgroßen Modellen können Architekten bereits vorab im eigenen, noch nicht erbauten Gebäude stehen.

Viele Beispiele ließen sich hier noch aufzählen. Einsatzmöglichkeiten finden sich überall dort, wo Design eine Rolle spielt und durch Projektion ein zusätzliches Gestaltungselement gewonnen wird. Wenn es ermöglicht wird auf jegliche komplexe Alltagsoberflächen zu projizieren, welche nicht an projektoroptimierte Leinwände oder bestimmte Bildschirmkonfigurationen gebunden sind, so sind auch der Kreativität kaum Grenzen gesetzt.

Die Recherche für diese Diplomarbeit hat jedoch gezeigt, dass zu diesem Zeitpunkt entweder gut durchdachte wissenschaftliche Ansätze existieren, bei denen es aber an aussagekräftigen Beispielen mangelt, oder deutlich kreativere künstlerische Ansätze, die jedoch zumeist auf aufwändiger manueller Kalibrierung beruhen. Mein Ziel ist es, diese beiden Welten in Zukunft miteinander zu verbinden.

Projektion ist eine Hand aus Licht, die nach dem Geländer der Substanz greift. Sie ist die Suche nach einer währenden Unterstützung mit der man in den dunklen Raum der Zukunft rennen, laufen oder gehen kann. [2, S. 190]

Anhang A

Inhalt der DVD

Format: DVD-R, Single Layer, ISO9660-Format

A.1 Diplomarbeit und Projekt

Pfad: /

DA_Pauser.pdf Diplomarbeit
/projectionism Projektfolder

A.2 Sonstiges

Pfad: /literatur

*.pdf Quellen im PDF-Format entsprechend der
Literaturliste angeordnet

Pfad: /onlinequellen

*.pdf Archivierte Onlinequellen geordnet nach
Kapitel und Fußnotennummer

Pfad: /images

/eps Bilder und Grafiken im EPS-Format
/original Originaldateien in den entsprechenden
Ursprungsformaten

Pfad: /videos

*.mov, *.mp4 Videoquellen

Literaturverzeichnis

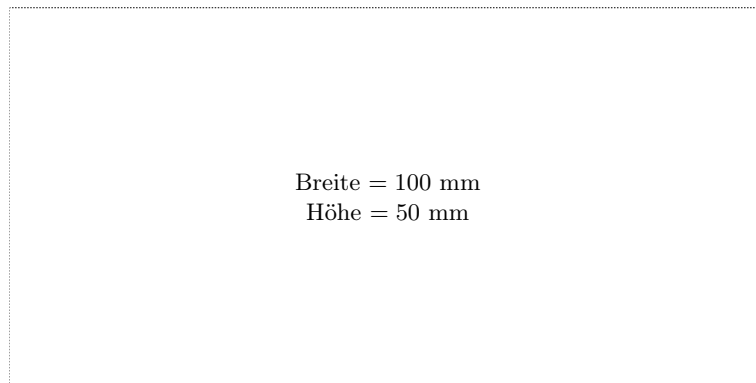
- [1] Ashdown, M., T. Okabe, I. Sato und Y. Sato: *Robust content-dependent photometric projector compensation*. In: *Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop*, S. 6–14, Washington, DC, USA, June 2006. IEEE Computer Society.
- [2] Baker, F.: *The Art of Projectionism*. Czernin Verlag, Wien, Oktober 2008.
- [3] Bauer, S., E. Grave, R. Herzog, M. Osterloh, S. Palz und P. Schreiber: *Urban Media*. Online auf <http://eculturefactory.de> und auf <http://netzspannung.org>, April 2007.
- [4] Benjamin, W.: *Illuminationen*. Suhrkamp, Frankfurt am Main, 1. Aufl., 1987.
- [5] Bimber, O., A. Emmerling und T. Klemmer: *Embedded entertainment with smart projectors*. In: *ACM SIGGRAPH 2005 Courses*, SIGGRAPH '05, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- [6] Bimber, O., D. Iwai, G. Wetzstein und A. Grundhöfer: *The visual computing of projector-camera systems*. In: *ACM SIGGRAPH classes*, Bd. 27, S. 1–25, New York, NY, USA, December 2008. ACM.
- [7] Bimber, O. und R. Raskar: *Spatial Augmented Reality – Merging Real and Virtual Worlds*. A K Peters, Wellesley, Mass., 2005.
- [8] Bradski, G.R. und A. Kaehler: *Learning OpenCV – Computer Vision with the OpenCV library*. O'Reilly, Sebastopol, Calif., 2008.
- [9] Burger, W. und M. Burge: *Digitale Bildverarbeitung – Eine Einführung mit Java und ImageJ*. Springer-Verlag, Heidelberg, 2. Aufl., 2006.
- [10] Burns, P.: *The history of the discovery of cinematography*. Online. <http://www.precinemahistory.net/1400.htm>, Kopie auf CD-ROM.
- [11] Device+Context: *MXWendler 4.0 Benutzerhandbuch - Echtzeit Video-software für Theater, Performance, VJs und Künstler*. http://www.mxwendler.net/fileadmin/images/docs/manual_mxw_4.0_de.pdf.

- [12] Dorsey, J. O., F. X. Sillion und D. P. Greenberg: *Design and simulation of opera lighting and projection effects*. Computer Graphics (SIGGRAPH '91 Proceedings), 25(4):41–50, Juli 1991.
- [13] Fujii, K., M. D. Grossberg und S. K. Nayar: *A projector-camera system with real-time photometric adaptation for dynamic environments*. In: *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Bd. 1, S. 814–821, Washington, DC, USA, 2005. IEEE Computer Society.
- [14] Garcia, E. M.: *WarpMap r.0.1*. Caixa d'Enginyers, C / Via Laietana 39, Barcelona, March 2010. <http://www.playmodes.com>.
- [15] Grau, O. (Hrsg.): *MediaArtHistories*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2007.
- [16] Kloock, D. und A. Spahr: *Medientheorien. Eine Einführung*, Bd. 1986 d. Reihe *UTB für Wissenschaft*. Fink, München, 3., aktualisierte Aufl., 2007.
- [17] Lee, J. C., P. H. Dietz, D. Maynes-Aminzade, R. Raskar und S. E. Hudson: *Automatic projector calibration with embedded light sensors*. In: *Proceedings of the 17th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, S. 123–126, 2004.
- [18] Lentos Kunstmuseum Linz: *PROJEKTION. CHAN. EXPORT. FISCHLI/WEISS. GANDER. GILLICK. GRAHAM. KNOEBEL. PARKER. STREULI*. – Presseunterlage zur PK, 26.9.2007, 10.00 Uhr, September 2007. [http://www.lentos.at/de/download/Presseunterlagen\(1\).pdf](http://www.lentos.at/de/download/Presseunterlagen(1).pdf).
- [19] Low, K. L., G. Welch, A. Lastra und H. Fuchs: *Life-sized projector-based dioramas*. In: *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, S. 15–17, 2001.
- [20] Marples, G.: *The history of projectors – the battle for brightness*. Online, November 2008. <http://www.thehistoryof.net/history-of-projectors.html>.
- [21] Naimark, M.: *Spatial correspondence in motion picture display*. In: *Proceedings of the SPIE Conference*, Bd. 462, S. 78–81, Los Angeles, January 1984.
- [22] Naimark, M.: *Two unusual projection spaces*. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 14(5):597–605, October 2005.
- [23] Nayar, S. und Y. Nakagawa: *Shape from focus*. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 16:824–831, 1994, ISSN 0162-8828.

- [24] Nayar, S. K., H. Peri, M. D. Grossberg und P. N. Belhumeur: *A projection system with radiometric compensation for screen imperfections*. In: *Proceedings of the IEEE International Workshop on Projector-Camera Systems*, S. 1–8, Nice, France, October 2003.
- [25] Przybilla, H. J.: *Streifenprojektion – Grundlagen, Systeme und Anwendungen*. In: Barth, W. DVW e.V., K. Foppe und T.H. Schäfer (Hrsg.): *Terrestrisches Laserscanning (TLS 2007) – Ein Messverfahren eroberet den Raum*, Nr. 53 in *Schriftenreihe des DVW*, Kap. 3, S. 111–122. Wißner-Verlag, Bochum, Germany, 1. Aufl., Dezember 2007.
- [26] Raskar, R.: *Oblique projector rendering on planar surfaces for a tracked user*. In: *ACM SIGGRAPH (Sketches and Applications)*, S. 260–261, Los Angeles, California, United States, 1999.
- [27] Raskar, R., M. Cutts, G. Welch und W. Stuerzlinger: *Efficient image generation for multiprojector and multisurface displays*. In: *Proceedings of the 9th Eurographics Workshop on Rendering Techniques*, S. 139–144, 1998.
- [28] Raskar, R., G. Welch und H. Fuchs: *Spatially augmented reality*. In: *Proceedings of the 1st IEEE Workshop on Augmented Reality*, S. 11–20, 1998.
- [29] Scheible, J. und T. Ojala: *Mobispray: Mobile phone as virtual spray can for painting big anytime anywhere on anything*. *Leonardo*, 42(4):332–341, 2009.
- [30] Wang, D., I. Sato, T. Okabe und Y. Sato: *Radiometric compensation in a projector-camera system based on the properties of human vision system*. In: *Proceedings of the IEEE International Workshop on Projector-Camera Systems*, S. 100–106, June 2005.
- [31] Yang, R. und G. Welch: *Automatic projector display surface estimation using every-day imagery*. In: *Proceedings of the 9th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision*, S. 328–335, 2001.
- [32] Zhang, L. und S. Nayar: *Projection defocus analysis for scene capture and image display*. In: *ACM SIGGRAPH Papers*, S. 907–915, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [33] Zobl, M.: *Presstext*. Online, September 2006. <http://www.lichttapete.at/images/downloads/Presstext.pdf>.

Messbox zur Druckkontrolle

— Druckgröße kontrollieren! —



— Diese Seite nach dem Druck entfernen! —