

Die Grundlagen der Produktion von 3D-Spielfilmen.

Das Forschungsprojekt Steroskopische HD-Produktion an der Hochschule Furtwangen beleuchtet das Feld der 3D-Spielfilmproduktion unter den aktuellen Randbedingungen von High Definition Video, mit den Schwerpunkten Akquise und Postproduktion.

5

NIKOLAUS HOTTONG / DOMINIK LESIK (HRSG.)

## Stereoskope HD-Produktion

Grundlagen, Konzepte, Testergebnisse

HOTTONG / LESIK (HRSG.)

Stereoskope HD-Produktion

ISBN 3-9810384-60

Eine Schriftenreihe der Fakultät Digitale Medien an der Hochschule Furtwangen





Nikolaus Hottong / Dominik Lesik (Hg.)

Fakultät Digitale Medien  
Arbeitspapier Nr. 5

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung, sowie der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung der Fakultät reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme (inkl. Online-Netzwerken) gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Copyright © 2009 Fakultät Digitale Medien | Hochschule Furtwangen

ISBN 3-9810384-6-0

REDAKTION: Prof. Nikolaus Hottong, Dominik Lesik  
COVER: Dominik Lesik  
SATZ: Dominik Lesik  
DRUCK: Druckerei Hochschule Furtwangen

Nikolaus Hottong / Dominik Lesik (Hrsg.)

# STEREOSKOPE HD-PRODUKTION

Grundlagen, Konzepte, Testergebnisse

Schriftenreihe Fakultät Digitale Medien

# Inhalt

Einleitung	
NIKOLAUS HOTTONG / DOMINIK LESIK .....	11

## I. Grundlagen der visuellen Wahrnehmung

FRANK HOFMEYER

1	Das visuelle System .....	15
2	Das Auge: Anatomie und Physiologie .....	16
3	Muskuläre geführte Augenbewegungen .....	22
4	Das Gesichtsfeld .....	22
5	Zentrale Verarbeitung visueller Informationen .....	24
6	Tiefenwahrnehmung .....	28
6.1	Okulomotorische Tiefenreize .....	29
6.2	Monokulare Tiefenreize .....	29
6.3	Binokulare Tiefenreize .....	36
6.4	Die Verarbeitung der binokularen Tiefenreize .....	40

## II. Grundlagen der stereoskopischen Theorie

FRANK HOFMEYER

1	Entwicklung der Stereoskopie .....	57
2	Anwendung der Stereoskopie .....	64
2.1	Stereoskopie für ein Millionenpublikum .....	64
2.2	Der Niedergang des Stereobooms .....	66
2.3	Der Film als neues stereoskopisches Medium .....	67
2.4	Der Stereoskopie-Boom der 50er Jahre .....	69
2.5	Der aktuelle Stereoskopie-Boom .....	71
3	Grundtechniken der Stereoskopie in Film & Computeranimation .....	77
3.1	Die stereoskopische Aufnahme .....	77
3.2	Die stereoskopische Postproduktion .....	86

### III. Gestalterische Aspekte einer stereoskopischen HD-Produktion ANJA FRANK

1	Grundlegende gestalterische Aspekte stereoskop. HD-Produktionen ....	105
1.1	Schärfe .....	105
1.2	Szenenkomposition .....	106
1.3	Kamerabewegung .....	107
1.4	Einstellungsgrößen .....	107
1.5	Brennweite .....	108
1.6	Montage .....	109
2	Besonderheiten bei stereoskopischen HD-Produktionen .....	110
2.1	Besonderheiten hinsichtlich der Arbeitsweise und Technik .....	110
2.2	Besonderheiten hinsichtlich der Gestaltung .....	112

### IV. Planung einer stereoskopischen HD-Produktion ERIC SCHUMACHER

1	Filmische Immersion .....	123
2	Gezielter Einsatz von Hinweisreizen .....	124
2.1	Monokulare Hinweisreize .....	125
2.2	Okulomotorische Hinweisreize .....	126
2.3	Bewegungsinduzierte Hinweisreize .....	126
2.4	Binokulares Kriterium .....	127
3	Kritische Effekte der filmischen Stereoskopie .....	127
3.1	Mikropsie .....	127
3.2	Gigantismus .....	128
3.3	Cardboarding .....	128
3.4	Ghosting .....	128
3.5	Tiefensprünge .....	129
4	Realismus vs. Dramaturgie? .....	129
5	Technische Ausgangssituation der Testproduktion .....	130
5.1	Stereoskopische Filmkameras .....	130
5.2	Aufzeichnung .....	134
5.3	Wiedergabe .....	136

## V. Durchführung einer stereoskopischen HD-Produktion

ERIC SCHUMACHER

1	Konzeption .....	145
2	Dreharbeiten .....	146
	2.1 Ablauf .....	146
3	Schnitt und Postproduktion .....	149
	3.1 Schnitt .....	150
	3.2 Positionsanpassung .....	150
	3.3 Bildstabilisierung .....	151
	3.4 Farbkorrektur und Export .....	152
4	Wiedergabe .....	152
5	Analyse & Evaluation .....	153
	5.1 Aufzeichnung .....	153
	5.2 Nachbearbeitung .....	153
	5.3 Wiedergabe .....	154

## VI. Entwicklung eines stereoskopischen HD-Aufzeichnungssystems

VOLKER STEPHAN

1	Konzeption des Aufzeichnungssystems .....	163
	1.1 Verfügbares Equipment zur Umsetzung .....	163
	1.2 Realisierung eines stereoskopischen side-by-side Kameraaufbaus .....	165
2	Übertragung und Verarbeitung unkomprimierter HD-Signale .....	166
	2.1 Das unkomprimierte HD-Format .....	166
	2.2 Signalübertragung über das High Definition Serial Digital Interface .....	168
	2.3 Verarbeitung der Datenmengen .....	168
3	Filebasierte Speicherung stereoskopischer Halbbilder in der Akquise-Phase .....	169

3.1	Die Verwendung des AVI-Dateiformats .....	169
3.2	Genlocking .....	169
3.3	Framegenaue Referenzen für die zeitliche Synchronisierung der Seitenbilder ...	170
3.4	Dateimanagement .....	171
4	Filebasierte Speicherung von Audio .....	172
5	Software-Monitoring .....	173
6	Stereoskopisches Monitoring im EE-Betrieb .....	173
6.1	Funktionsprinzip .....	173
6.2	Analyse potentieller Darstellungsformen .....	174
7	Kombinierte Konfigurationen .....	175
8	Mobilität .....	176
8.1	Bedeutung von Mobilität .....	176
8.2	Lösungsansätze .....	176
9	Minimierung der Geräuschbelastung über die Verwendung von Remote Desktop.....	176
10	Implementierung der Kamera .....	178
10.1	Implementierung des stereoskopischen Kameraaufbaus .....	178
10.2	Parallele Steuerung beider Kameras .....	179
11	Implementierung des stereoskopischen Aufzeichnungsservers .....	180
11.1	Der parallele Betrieb zweier Decklink-Karten .....	180
11.2	Verbesserung der grafischen Ausgabe .....	180
11.3	Implementierung der Remote Desktop Steuerung .....	181
12	Implementierung einer Aufzeichnungssoftware mittels DirectShow ....	181
12.1	DirectShow .....	181
12.2	DirectShow Anwendungen .....	182
12.3	DirectShow Filter der Blackmagic Decklink Videokarten .....	184
12.4	Graphedit als Entwicklungstool für DirectShow Filter Graphen .....	185
13	DirectShow Anwendungen des Produktionssystems .....	185
13.1	Filebasierte Speicherung der stereoskopischen Seitenbilder .....	185
13.2	Filebasierte Speicherung von Audio .....	188
13.3	Software-Monitoring .....	189
13.4	Stereoskopisches Monitoring .....	190

VII. Realisierung eines stereoskopischen HD-Projektionssystems  
SIMON SCHWEIZER

1	Realisierung einer stereoskopischen Triptychonprojektion .....	201
2	Problematik: Bildseitenverhältnis und räumliche Auflösung .....	203
3	Ansteuerung des Triptychons .....	204
4	Performance .....	205
5	Untersuchung zur Tiefenwirkung des Triptychons .....	207

VIII. Stereoskopisches Video mit Wellenfeldsynthese-Audio  
ANTONIO LOPES

1	Das Ziel heißt Immersion .....	217
2	Erzeugung auditiver Immersion .....	218
2.1	Das innere Auge des „Kopfkinos“ .....	218
2.2	Auditive Immersion durch Wellenfeldsynthese .....	219
2.3	Klangliche und raumklangliche Gestaltungsaspekte .....	220
2.4	Mixing und Mastering .....	222
2.5	Wellenfeldsynthetische Immersionsaspekte und deren Mehrwerte .....	225
2.6	Mögliche Schwierigkeiten der immersiven Wahrnehmung .....	227
3	Erzeugung auditiver Immersion in Kombination mit stereoskopischem Film .....	229
3.1	Film ohne Audio? Udenkbar! .....	230
3.2	Wellenfeldsynthetische Immersionsaspekte im stereoskopischen Filmeinsatz und deren Mehrwerte .....	231





# Einleitung

Dies ist der fünfte Arbeitsbericht der Fakultät Digitale Medien an der Hochschule Furtwangen. Wie die Kollegen Daniel Fetzner und Stefan Selke schon in ihrem Arbeitsbericht Nr. 4 bemerkten, stellen unsere Arbeitsberichte eine Querschnittsaufnahme aus unserer praxisbezogenen Forschung dar, welche in Seminarkontexten und Abschlussarbeiten gemeinsam von Studierenden und Lehrenden der Studiengänge OnlineMedien, Medieninformatik und Computer Science in Media durchgeführt wurde.

Dieser Arbeitsbericht fasst die aktuellen Ergebnisse der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zum Thema „Stereoskope HD-Produktion“ zusammen. Stereoskopie meint hier die Möglichkeit der intensiven, räumlichen Tiefenwahrnehmung von Bildern bei der Betrachtung mit zwei Augen. High Definition verweist darauf, daß wir bei allen unseren Untersuchungen Breitbild-Videoformate mit höheren räumlichen Auflösungen als Standard-TV verwendet haben.<sup>1</sup>

Warum wollten wir einen Arbeitsbericht zum Thema „Stereoskope HD-Produktion“ veröffentlichen? Bevor wir die Frage beantworten, möchten wir einige Dinge vorab klarstellen. Stereoskopie ist beileibe keine neue Erfindung, auch nicht Stereoskopie mit bewegten, hoch aufgelösten Bildern. Es ist auch nicht Aufgabe einer Hochschule, dem aktuellen Hype in der Fachpresse zum Thema 3D-Kino durch einen Forschungsbericht stromlinienförmig nachzuhecheln.

Trotzdem wurde die Thematik ganz bewusst an der Fakultät erneut aufgegriffen, da sich durch aktuelle, technische Entwicklungen - insbesondere Digital Cinema und autostereoskopische Displays - erneut die Frage nach der Notwendigkeit und Sinnhaftigkeit von stereoskopischen Medienanwendungen stellt. Medienanwendungen sind nach unserem Verständnis *konzipierte, audiovisuelle Informationskonstrukte*.

---

<sup>1</sup> Im Wesentlichen die standardisierten HD-Pixelraster 1280x720 und 1920x1080.

Der letzte Arbeitsbericht Nr. 4 befasste sich intensiv mit interaktiven Medieninstallationen. Ein weiteres, seit über hundert Jahren erfolgreiches Informationskonstrukt ist der Film. Er besitzt im Gegensatz zu den interaktiven Anwendungen einen dominant-narrativen Charakter - weswegen wir uns in Kapitel V dieses Berichtes intensiv mit dem Begriff der *filmischen Immersion* - also dem Eintauchen des Filmbetrachters in eine (künstliche) Erzählwelt - mit Blick auf Tiefen- und Raumwahrnehmung - auseinandersetzen.<sup>2</sup>

Unsere zentrale Fragestellung lautet daher: Wo kann Stereoskopie das filmische Erzählen besser unterstützen als bisherige Technologien?

Dieser Arbeitsbericht bündelt dazu - in eher unaufgeregter Form:

1. Nochmals die grundlegenden biologischen Aspekte und Grenzen der räumlichen Wahrnehmung von Menschen,
2. zeigt die historische Entwicklung der stereoskopischen Medien vom 18. Jahrhundert bis heute auf,
3. präsentiert eigenentwickelte technische Lösungsansätze für eine hochqualitative, stereoskopische HD-Videoproduktion,
4. beschreibt detailliert die Veränderungen, welche sich im gesamten Erstellungsprozess von der Planung bis zur Realisation ergeben und
5. versucht, gezielt Gestaltungsregeln für eine verstärkte, filmische Immersion herauszuarbeiten.

Studenten der Hochschule Furtwangen haben für diesen Bereich Teile ihrer erfolgreich abgeschlossenen Thesearbeiten beigetragen. Diese Teile wurden von uns überarbeitet, zusammengeführt und auf den aktuellen Stand der laufenden Forschungsarbeiten ergänzt.

Um die Lust auf das Lesen anzufachen, wollen wir noch kurz aufzeigen, wie dieser Bericht strukturiert ist:

Er beginnt mit einer grundsätzlichen Synopse von Frank Hofmeyer zu den Grundlagen des räumlichen Sehens, inkl. einer umfassenden historischen Würdigung der Entwicklung der Stereoskopie.

Danach begründet Anja Frank die veränderten Gestaltungsaspekten, mit denen sich Filmschaffende bei stereoskopischen Produktionen auseinandersetzen müssen. Diese Erkenntnisse wurden bei stereoskopischen Testaufnahmen im Cinemascope-Format gewonnen, welche mit zwei Prosumer-Kameras in side-by-side Anordnung durchgeführt wurden.

---

2 Ein deutlich anderer Ansatz als beim 3D-Kino der 1950/60er Jahre, welches - als Panikreaktion auf das aufkommende Fernsehen - den Zuschauer nur durch Effekte beeindrucken wollte.

Eric Schumacher zeigt anhand einer realen Kurzfilmproduktion systematisch die Arbeitsschritte von der Konzeption über die Realisation bis zum Finishing auf, insbesondere mit Blick auf die verstärkte filmische Immersion. Als besondere technische Herausforderung wurde diese stereoskopische Kurzfilmproduktion unkomprimiert in HD aufgezeichnet und endgefertigt.

Volker Stephan stellt in Kapitel VI umfassend die Konzeption und Implementierung des selbst entwickelten, festplattenbasierten, stereoskopischen HD-Aufzeichnungssystem der Hochschule vor.

Nachfolgend berichtet Simon Schweizer - in Anlehnung an Cave-Installationen aus der Computergrafik - kurz zu Überlegungen und Implementierungstests, stereoskopische Filme auf einem gewinkelten Leinwand-Triptychon im Polarisationsverfahren zu projizieren.

Antonio Lopes schließt diesen Bericht mit seinen Untersuchungsergebnissen, auf welche Weise 3D-Raumklang (insbesondere Wellenfeldsynthese) die Dramaturgie eines stereoskopischen Films unterstützen und zu einem noch intensiveren Medienerlebnis führen könnte. Zum Beleg seiner Überlegungen führte er bei o.g. Kurzfilmproduktion die Planung und Durchführung des Audioparts durch - von der Aufnahme bis zum videosynchronen Wellenfeld-Layout.

Wir möchten uns mit dieser Druckausgabe bei allen Beteiligten für das Engagement und die Zusammenarbeit in diesem Thema ganz herzlich bedanken. Die Arbeiten werden fortgesetzt.

Furtwangen, im August 2009  
Nikolaus Hottong, Dominik Lesik



FRANK HOFMEYER

## Grundlagen der visuellen Wahrnehmung

Um den komplexen Vorgang des menschlichen stereoskopischen Sehens überhaupt filmisch abbilden zu können, ist es zunächst unbedingt erforderlich, alle Faktoren zu identifizieren, die bei der Entstehung der visuellen Tiefenwahrnehmung eine Rolle spielen. Dazu gehören neben anatomischen und physiologischen Grundlagen vor allem Erkenntnisse der biologischen Psychologie und der Wahrnehmungspsychologie. Im Folgenden werden die wesentlichen Faktoren der visuellen Wahrnehmung benannt und diesbezüglich analysiert. Darüber hinaus sollen die anatomisch-physiologischen Grundlagen gelegt werden, um die späteren Ausführungen zur stereoskopischen Darstellung verstehen zu können.

### 1 Das visuelle System

Das visuelle System nimmt unter den verschiedenen Sinnessystemen des Menschen die bedeutendste Rolle ein, da es eine weitaus präzisere Analyse der Umwelt ermöglicht als alle anderen Sinne. Dies führt dazu, dass die meisten Informationen über unsere Umwelt einen visuellen Charakter besitzen.<sup>1</sup>

Unser visuelles System verarbeitet als Stimulus ausschließlich *Licht*. Die visuelle Wahrnehmung beginnt deshalb im Auge, da wir sichtbare Objektmerkmale unserer Umwelt (z.B. Farbe und Oberflächenstruktur) im Wesentlichen aufgrund der Licht-

---

<sup>1</sup> Vgl. Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie, S. 242.

reflexionen von den Objekten in unsere Augen wahrnehmen. Sichtbares Licht ist ein Frequenzband des elektromagnetischen Spektrums<sup>2</sup> mit Wellenlängen von 380 nm bis 760 nm. Wie die folgende Abbildung 1.1 zeigt, wird die Farbempfindung beim Menschen durch dies spektrale Zusammensetzung bestimmt. Die wahrgenommene Helligkeit hängt von der Amplitude respektive dem integralen Energiegehalt der Lichtwelle ab.<sup>3</sup>

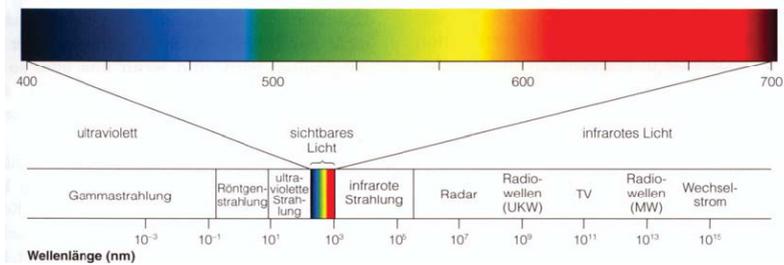


Abb. 1.1: Das sichtbare Licht - nur ein kleiner Ausschnitt des elektromagnetischen Spektrums

## 2 Das Auge: Anatomie und Physiologie

Das menschliche Auge ist ein komplexes biologisches System. Seinen Aufgaben entsprechend, kann es funktional in zwei wichtige Untersysteme differenziert werden:

1. Ein bewegliches, *optisches System*, den sog. dioptrischen Apparat, bestehend aus Augenmuskeln, Hornhaut, Glaskörper und Linse, welches in der Lage ist, reflektiertes Licht so aufzufangen, zu bündeln und umzulenken, dass es zunächst zu einer scharfen Abbildung fokussiert wird.<sup>4</sup>
2. Das *abbildungsgenerierende System* der Netzhaut (Retina), in der die Lichtenergie in elektrische Nervensignale transformiert wird. Dieser Vorgang wird als *visuelle Transduktion* bezeichnet.<sup>5</sup> Die Abbildung 1.2 zeigt den prinzipiellen anatomischen Aufbau eines Auges. Die Kenntnis dieses Aufbaus ist die Voraussetzung für das Verständnis der visuellen Wahrnehmung im Allgemeinen und der stereoskopischen Tiefenwahrnehmung im Speziellen.

2 Beim elektromagnetischen Spektrum handelt es sich um ein Kontinuum durch elektrische Ladungen erzeugter Energien, die sich wellenförmig ausbreiten. Vgl. Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 31.

3 Vgl. Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie, S. 242.

4 Vgl. Schmidt, R. F. & Schaible, H.-G. & Birbaumer, N. 2006: Neuro- und Sinnesphysiologie, S.243; Schmidt, R. F. & Lang, F. & Thewst, G. 2005: Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie, S.370.

5 Vgl. Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 36.

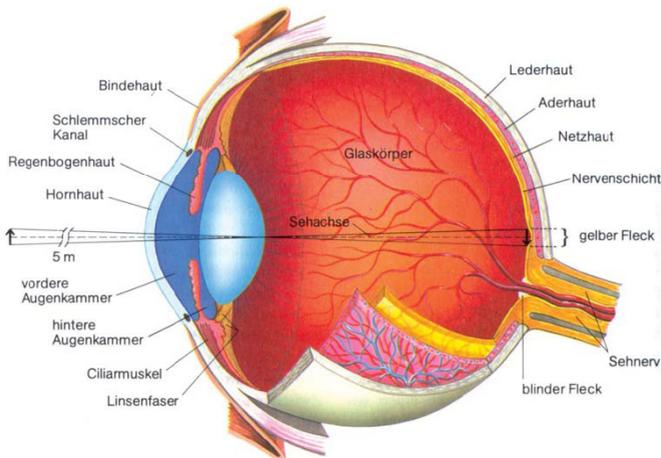


Abb. 1.2: Anatomischer Aufbau des menschlichen Auges

Der Augapfel (*Bulbus oculi*) ist aus drei Schichten aufgebaut, nämlich der äußeren, der mittleren und der inneren Augenhaut. Weitere Bestandteile des Auges sind die Linse und der Glaskörper.<sup>6</sup>

Die **äußeren Augenhaut** (*Tunica externa bulbi*) wird aus Lederhaut (*Sklera*) und Hornhaut (*Cornea*) gebildet. Die Lederhaut, das „Weiße im Auge“, hat eine schützende und formgebende Funktion. Sie geht am vorderen Augapfel in die durchsichtige Hornhaut über.

Die Hornhaut hat einen Durchmesser von ca. zehn bis zwölf Millimeter und bildet die vordere Wand des Auges. Sie besitzt eine stärkere Wölbung als der übrige Augapfel und ragt somit über das übrige Auge hinaus.<sup>7</sup>

Die **mittlere Augenhaut** (*Uvea*) besteht aus der *Aderhaut* (*Chorioidea*), dem *Ziliarkörper* (*Corpus ciliare*) und der *Regenbogenhaut* (*Iris*). Die Aderhaut ist schwarzbraun pigmentiert und wirkt damit wie die Wand einer Dunkelkammer. Sie stellt sicher, dass Licht nur durch die Pupillenöffnung in den Augapfel fallen kann. Darüber hinaus absorbiert sie die Lichtstrahlen, die die Netzhaut bereits passiert haben und verhindert somit Lichtreflexionen innerhalb des Augapfels.

Im vorderen Augenbereich geht die Aderhaut in den *Ziliarkörper* über. Dieser besteht aus Bindegewebsfasern (*Zonulafasern*), die die Augenlinse im Zentrum des Strahlengangs positionieren und dem dazugehörigen ringförmigen *Ziliarmuskel*.

6 Vgl. Bartels, Heinz 1995: Physiologie. Lehrbuch und Atlas, S.233-235; Lippert, Herbert 1995: Anatomie. Text und Atlas, S.400-402.

7 Vgl. Schwegler, Johann S. 1996: Der Mensch - Anatomie und Physiologie, S. 444.

Die *Augenlinse* (Lens) ist eine leicht verformbare, bikonvexe Sammellinse aus elastischen Fasern. Sie befindet sich direkt hinter der Regenbogenhaut. Damit Bilder korrekt wahrgenommen werden können, muss das in das Auge einfallende Licht so gebündelt und gelenkt werden, dass sie in auf der Netzhautebene scharf abgebildet werden.<sup>8</sup> Um sowohl nahe als auch ferne Objekte scharf abbilden zu können, wird ein veränderliches Objektiv benötigt. Bei Kameras begegnet man diesem Problem technisch dadurch, dass sich der Abstand zwischen den Objektivlinsen und der Filmebene variieren läßt. Da der Mensch jedoch keine Muskeln besitzt, die den Augapfel verkürzen bzw. in die Länge ziehen können, muss die Fokussierung durch Anpassung der *Brechkraft*<sup>9</sup> gelöst werden. Die Gesamtbrechkraft des optischen Apparates setzt sich im wesentlichen aus der Brechkraft der Hornhaut und der Linse zusammen und beträgt ca 59 Dioptrien<sup>10</sup>. Davon entfallen etwa 41-45 dpt auf die Hornhaut und 15-18 dpt auf die Linse. Während die Brechkraft der Hornhaut eine unveränderliche Größe darstellt, kann die Brechkraft der leicht verformbaren Linse der Wahrnehmungssituation angepasst werden, um Bilder auf der Netzhaut zu fokussieren. Durch Veränderung der Kontraktion der Ziliarmuskeln ändert sich der *Krümmungsgrad* der Augenlinse. Ist der Ziliarmuskel beispielsweise entspannt, stehen die Zonulafasern unter Spannung, da die Tension der Lederhaut überwiegt. Aufgrund des dadurch entstehenden Zuges wird die Linse flacher gezogen, wodurch die Brechkraft geringer wird. Diese Fähigkeit kommt bei einem Blick in die Ferne zum tragen und wird als *Fernakkommodation*<sup>11</sup> bezeichnet. Bei einem Blick in die Nähe muss der Ziliarmuskel kontrahieren. Dadurch wird der Zug der Lederhaut überwunden und die Zonulafasern erschlaffen. Infolgedessen wird die Linse aufgrund ihrer Eigenelastizität kugelförmiger und ihre Brechkraft steigt. Dieser Vorgang wird *Nahakkommodation* genannt. Die Brechkraft der Augenlinse kann mit Hilfe des Akkommodationsmechanismus über bis zu 14 Dioptrien variiert werden, wodurch ein normalsichtiger Jugendlicher in der Lage ist, Objekte von unendlich bis etwa sieben cm vor dem Auge scharf zu sehen. Allerdings muss an dieser Stelle ergänzt werden, dass Lichtstrahlen von Objekten aus über sechs Metern Entfernung nahezu parallel in das Auge fallen und somit keiner Akkommodation mehr bedürfen.<sup>12</sup> Je näher ein Objekt innerhalb dieser Distanz von sechs Metern zum Auge positioniert ist, desto

8 Vgl. Schäffler, Arne 1996: Mensch, Körper, Krankheit, S. 211.

9 Die Brechkraft ist eine physikalische Größe. Sie beschreibt, in welchem Ausmaß eine Struktur das einfallende Licht bricht. Die Brechkraft wird in Dioptrien (dpt) angegeben. Je größer die Brechkraft, desto stärker wird das Licht gebrochen.

10 Dioptrie (von gr. dioptra: Durchschauer) ist eine Brechkrafteinheit. Sie entspricht dem Kehrwert der Linsenbrennweite in Metern. Brechkraft  $D = 1/f$  [dpt] (f = Brennweite in Metern, D = Brechkraft in Dioptrien). Werden z.B. parallel einfallende Lichtstrahlen von einer Linse in einer Entfernung von 50 cm vereinigt, so hat diese Linse eine Brennweite von 0,5 m und folglich eine Brechkraft von  $1/0,5 = 2$  Dioptrien. Vgl. Schmidt, R. F. & Schaible, H.-G. & Birbaumer, N. 2006: Neuro- und Sinnesphysiologie, S.243.

11 Akkommodation (von lat. accommodare: anpassen): Veränderung der Linsenbrechkraft im Auge um nahe und ferne Objekte durch Verkürzung oder Verlängerung der Brennweite fokussieren zu können.

12 Vgl. Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie, S. 244.

stärker muss die Krümmung der Linse werden, um es auf der Netzhaut fokussieren zu können.

An den Ziliarkörper schließt sich die *Regenbogenhaut* (Iris) an. Sie stellt den sichtbaren, farbigen Anteil des Augapfels dar und besteht aus einer Schicht pigmentierten Bindegewebes und zwei Schichten ring- und strahlenförmig angeordneter Muskelfasern. In der Mitte der Iris befindet sich eine Öffnung, die sog. *Pupille*. Der Durchmesser der Pupille kann mit den Muskeln der Iris unterschiedlichen Lichtverhältnissen angepasst werden. Äquivalent zur Funktion der Blende bei der Kamera, reguliert die Pupille beim Auge automatisch die Menge des einfallenden Lichts. Bei abnehmender Helligkeit wird die Pupille erweitert und somit der Lichteinfall erhöht. Der Durchmesser der Pupille beträgt dabei minimal 1,5 mm und maximal 8 mm - was einem Zuwachs der Lichtmenge um den Faktor 25 entspricht!<sup>13</sup>

Die *innere Augenhaut* entspricht der *Netzhaut* (Retina). Sie ist das lichtwandelnde und reizverarbeitende System des Auges. Die Netzhaut besteht aus einer lichtunempfindlichen Schicht, dem sog. Pigmentepithel und einer lichtempfindlichen Schicht, der *Pars optica*. Das Pigmentepithel liegt hinter der Pars optica und unterdrückt - genau wie die Aderhaut - durch ihren hohen Melaningehalt<sup>14</sup> Lichtreflexionen im Augapfel. Darüber hinaus hat es eine stützende und versorgende Funktion für die Photorezeptoren.

Die optische Schicht entspricht prinzipiell einem vorgeschobenen Teil des Gehirns. Sie ist lediglich 200 µm dick, besteht aber aus einer komplexen, fünfschichtigen Nervenzellenarchitektur (siehe Abbildung 1.3). Auffallend ist dabei, dass die eigentlich lichtaufnehmenden Photosensoren, nämlich die Zapfen und Stäbchen (R), die innerste Schicht der Pars optica ausmachen. Die Gestaltunterschiede der Stäbchen und Zapfen wurde erstmals 1866 von Max Schultze beschrieben.<sup>15</sup> Das ins Auge eingefallene Licht muss zunächst alle davor liegenden Schichten durchdringen, bevor die Photosensoren erreicht werden. Dieses Phänomen wird als „Inversion der Retina“ bezeichnet.

Beide Photosensoren sind primäre Sinneszellen mit Differenzial-Charakteristik<sup>16</sup>, d.h. sie erzeugen nur bei wechselndem Lichteinfall ein elektrochemisches Signal.

Dies stellt einen der wesentlichsten Unterschiede zwischen den menschlichen Augen und dem Bildsensoren in Kameras dar. Ein weiterer Unterschied ist die ungleichmäßige Verteilung und Anordnung der beiden Rezeptortypen über die Retina.

13 Vgl. Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie, S. 245.

14 Melanin ist ein Pigment, von dessen Konzentration z.B. auch unsere Hautfarbe abhängt.

15 Max Johann Sigismund Schultze (geboren 25. März 1825 in Freiburg i.Br.; gestorben 16. Januar 1874 in Bonn), deutscher Anatom. Vgl. M. J. S. Schultze 1866: Zur Anatomie und Physiologie der Retina.

16 Vgl. Johansson G.: Visuelle Bewegungswahrnehmung (1975) In: Wahrnehmung und visuelles System. Ritter M. (Hrsg.), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft, Heidelberg 1986, S. 168-177

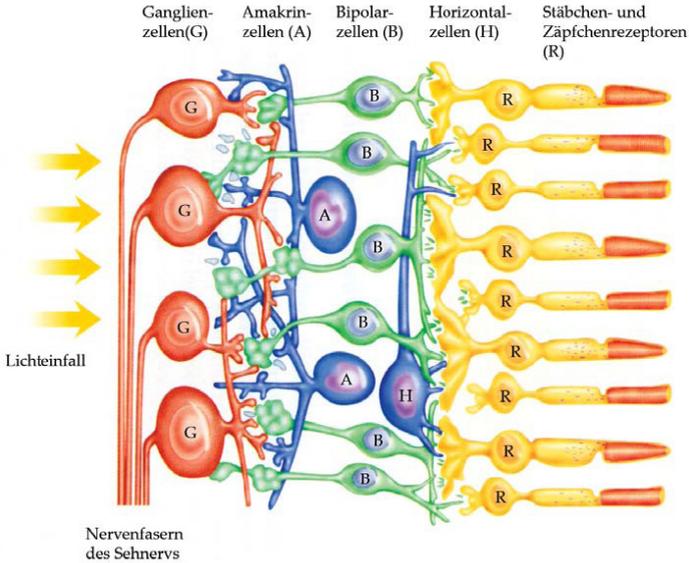


Abb. 1.3: Schematischer Aufbau der lichtempfindlichen Schicht der Retina

Die Zapfen dienen vornehmlich der Wahrnehmung von Farben. Es gibt drei unterschiedliche Zapfentypen, die jeweils für bestimmte Wellenlängenbereiche empfindlich sind. Der farbige Seheindruck entsteht aus der Verrechnung der neuronalen Signale der verschiedenen Zapfentypen im visuellen Cortex<sup>17</sup>. Im Gegensatz zu den tendenziell gleichverteilten Stäbchen findet man Zapfen ausschließlich in der Fovea centralis und den unmittelbar daran angrenzenden Netzhautarealen vor.

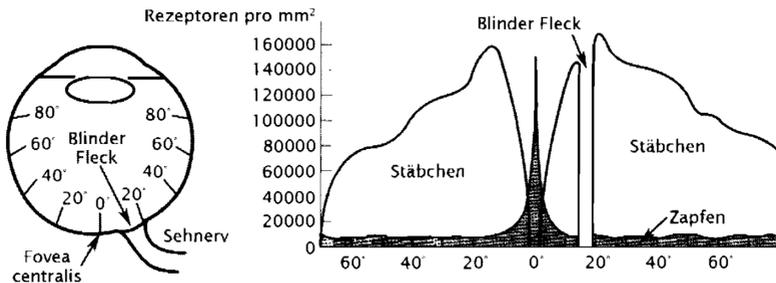


Abb. 1.4: Verteilung von Stäbchen und Zapfen über die Retina

17 Vgl. Ware, Colin 2008: Visual Thinking for Design, S. 65-84.

Die Fovea centralis ist ein eng begrenztes Gebiet des schärfsten Sehens, der sog. *gelbe Fleck*. In dieser nur 1-1,5 mm breiten Zone der Netzhaut ist die Dichte der Zapfen am höchsten. Ihr Abstand beträgt dort maximal 5 µm, was das extrem hohe räumliche Auflösungsvermögen dieser Zone erklärt. Außerdem sind an dieser Stelle die übrigen Netzhautschichten und Blutgefäße zur Seite verdrängt, wodurch das Licht besser einfallen kann. Um ein Objekt zu fokussieren, muss dieses Objekt zunächst über Augenbewegungen (evtl. plus Kopfbewegungen) genau auf der Fovea abgebildet werden, damit es wirklich scharf und ohne Verzerrungen gesehen werden kann. Die übrige Netzhaut dient dann im Wesentlichen nur noch dazu, gleichzeitig noch Bewegungen in den Randbereichen um das Objekt wahrnehmen zu können.<sup>18</sup> Über die Summe aller Augenbewegungen (Makrosaccaden) ergibt sich dann unser Eindruck eigentlich alles in unserer Umgebung scharf zu sehen.

Die visuelle Transduktion, also die Transformation von Lichtenergie in elektrische Energie, geschieht in dem als Außensegment bezeichneten Teil der Rezeptoren. Die dort in den Sehpigmentmolekülen enthaltenen 11-cis-Retinalmoleküle verändern ihre Form sobald sie Photonen absorbieren. Dies wird als Isomerisation bezeichnet.<sup>19</sup> Über mehrere Zwischenschritte löst dies eine Hyperpolarisation der Zellmembran aus, wodurch das Membranpotential der Zelle stärker negativ wird. Die Hyperpolarisation überträgt sich vertikal auf die Bipolarzellen (B), die wiederum über Synapsen die Ganglienzellen (G) erregen und dort ein Aktionspotential auslösen. Horizontalzellen (H) und Amakrinzellen (A) fassen dagegen größere Netzhautareale zusammen.<sup>20</sup>

Da es in der Retina ca. 126 Millionen Rezeptoren, aber nur ca. eine Million Ganglienzellen gibt, ist dieser Vorgang von einer hohen neuronalen Konvergenz<sup>21</sup> geprägt. Ziel dieser Signalkonvergenz ist die differentielle Vorverarbeitung der enormen Informationsmenge auf Ebene der Netzhaut. Dazu werden aus Gruppen von zehn bis 1000 Rezeptoren sog. *rezeptive Felder* (RF) gebildet. Jedes dieser Felder besteht aus einem Zentrum und einer Peripherie und gibt seine Signale an genau eine Ganglienzelle ab. Diese Signale fallen besonders stark aus, wenn entweder das Zentrum Licht empfängt, die Peripherie aber im Dunkeln liegt (On-Zentrum-RF) oder aber das Zentrum dunkel und die Peripherie hell ist (Off-Zentrum-RF). Durch eine geeignete Kombination von On- und Off-Zentrum-RF ist die Netzhaut in der Lage, den Kontrast zwischen hellen und dunklen Objekten deutlich zu verstärken (laterale Inhibition), woraus klarer wahrgenommene Objektkonturen und eine erhöhte Bildschärfe resultieren.<sup>22</sup>

18 Vgl. Schwegler, Johann S. 1996: Der Mensch - Anatomie und Physiologie, S. 443-446.

19 Vgl. Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 33-38.

20 Vgl. Schwegler, Johann S. 1996: Der Mensch - Anatomie und Physiologie, S. 446.

21 Konvergenz: neuronale Konvergenz weist in diesem Zusammenhang auf die Existenz synaptischer Verbindungen von mehreren Neuronen zu einem einzigen Neuron hin. Im Gegensatz dazu beschreibt die perspektivische Konvergenz (von lat. convergere: sich hinneigen) die Wahrnehmung, dass zwei eigentlich parallele Linien mit zunehmender Distanz scheinbar konvergieren, d.h. sich annähern.

22 Vgl. Schwegler, Johann S. 1996: Der Mensch - Anatomie und Physiologie, S. 448.

Die Axone<sup>23</sup> der Ganglien bilden zusammen den *Sehnerv* (Nervus opticus), über den die Signale ins Gehirn weitergeleitet werden. Der Sehnerv verläßt das Auge durch die *Sehnervenscheibe* (Discus opticus, Papille). An dieser Durchtrittsstelle gibt es keine Rezeptoren, weshalb dieses Areal als *blinder Fleck* bezeichnet wird. Dass wir uns dieser Stelle in der Regel nicht bewusst sind, liegt zum einen daran, dass er sich seitlich im Gesichtsfeld befindet, also an einer Stelle wo Objekte nicht scharf abgebildet werden. Zum anderen liegt es an der bemerkenswerten Fähigkeit unseres Gehirns, das nicht sehbare Areal durch Informationen aus der Umwelt zu ergänzen, sowie an unseren stetigen Augen- und Kopfbewegungen, welche immer einen anderen Ausschnittsbereich der Realität auf die maßgebliche *fovea centralis* fokussieren.

### 3 Muskuläre geführte Augenbewegungen

Für die Tiefenwahrnehmung des Menschen sind insbesondere kopf- und körperbasierte Positionsverlagerungen der Augen (Bewegungsparallaxe) sowie muskulär geführte Konvergenzbewegungen unseres Linsensystems wichtig. Auf diese Faktoren wird an späterer Stelle eingegangen.

Zuvor wollen wir noch auf einige, grundlegendere Zusammenhänge zwischen unserem Körper und unserem Sehen eingehen.

Die dominierende Funktion der *fovea centralis* für unsere Wahrnehmung, insbesondere aber die differentielle Arbeitsweise der rezeptiven Felder in der Retina müssten eigentlich dazu führen, dass bei ruhendem Motiv und vollkommen unbeweglichem Linsen/Auge-System keinerlei Sehreiz mehr ausgelöst wird - das Bild unserer Umwelt folglich verblasst. Dies ist auch tatsächlich der Fall. Daher erzwingen wir Menschen, durch permanente Augen-, Kopf- und Körperbewegungen, dass sich der Lichteinfall auf die Retina ständig ändert. Den wesentlichsten Anteil daran haben die muskulär geführten Augenbewegungen - die sogenannten Saccaden<sup>24</sup>.

Beim ungezielten Umherblicken werden die Augen dabei ruckartig (saccadisch) während einer Zeit von 10-80 msec weiterbewegt - bei unwillkürlichen Saccaden nur wenige Winkelminuten weit, bei willkürlichen bis zu 100 Winkeminuten. Zwischen den Saccaden fixieren wir Umwelt-Punkte für 200 bis 600 msec. Auch in dieser Zeit sind die Augen nicht starr, sondern durch Augentremor, langfristige Verschiebungen und Microsaccaden in Bewegung.

Beim gezielten Betrachten können wir zwischen Augenfolgebewegungen bei bewegten Punkten und Blickbewegungen bei komplexen statischen Mustern unterschei-

---

23 Ein Axon, auch Nervenfasern genannt, ist der Teil eines Neurons, der Nervenimpulse weiterleitet.

24 Sakkaden (frz. sakkade; Ruck): Bezeichnung für schnelle Bewegungen der Augen von einem Fixationspunkt zum nächsten. Vgl. Schubert, G. 1965: Visueller Cortex und Binocularsehen.

den. Bei Augenfolgebewegungen wird ein Objekt, das sich relativ zu uns bewegt, gleitend verfolgt, d.h. innerhalb eines Bereiches von 2 Grad um die Mitte der Hauptblickrichtung gehalten. Beträgt die Objektgeschwindigkeit mehr als etwa 80 Grad/Sek., dann werden Augenfolgebewegungen durch Kopfbewegungen begleitet. Wird eine komplexe optische Anordnung betrachtet, folgen die Augen hauptsächlich den Konturen und fixieren vor allem jene Teile der Anordnung, die bedeutungshaltige Information enthalten.

Ein optokinetischer Nystagmus (Wechsel von Augenfolgebewegung und Saccade) tritt auf, wenn sich wiederholt Gegenstände im Blickfeld rasch bewegen. Dies ist z.B. beim Blick aus einer fahrenden Eisenbahn zu beobachten: Wir fixieren kurzzeitig einen entfernten Gegenstand, verfolgen ihn mit den Augen und springen dann zu einem anderen Gegenstand, den wir wieder verfolgen usw..<sup>25</sup>

## 4 Das Gesichtsfeld

Der gesamte Winkelbereich, welcher sakadisch mit beiden Augen ohne Kopf- oder Körperbewegung erfasst werden kann, wird als Gesichtsfeld bezeichnet. Jedes Auge könnte theoretisch einen Bereich von 180° horizontal und vertikal abdecken. Dem stehen jedoch die Augenhöhle, die Augenlider und natürlich die Nase hinderlich gegenüber. Tatsächlich ist eine farbgetreue Wahrnehmung mit beiden Augen nur in einem Bereich von etwa 50° möglich (siehe Abb. 1.5), wobei dieser Wert individuellen Schwankungen unterliegt.<sup>26</sup>

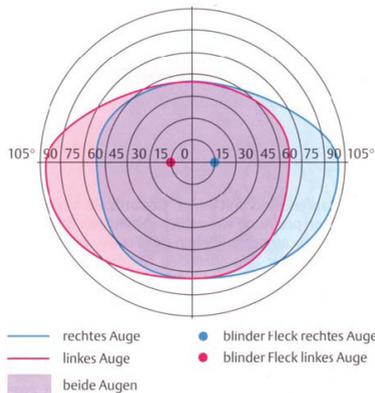


Abb. 1.5: Das binokulare Gesichtsfeld

25 Vgl. Guski, Rainer (1996): Wahrnehmen. Ein Lehrbuch. Stuttgart: Kohlhammer., S.76.

26 Vgl. Schwegler, Johann S. 1996: Der Mensch - Anatomie und Physiologie, S. 448.

Innerhalb des Gesichtsfelds ergeben sich - nach Ausführung der Sakkade - durch die im vorherigen Abschnitt beschriebene Dichte von Zapfen und Stäbchen, 4 Schärfebereiche (Blickfeldbereiche), welche insbesondere bei der Betrachtung von Displays oder Leinwänden zu unterscheiden wären<sup>27</sup>:

1. *Discriminatory Field*: Trennscharfes Blickfeld bei ca. 3° horizontal wie vertikal. Die Sehschärfe und Farbwahrnehmung sind dort maximal. Feine Details können sehr genau unterschieden werden.
2. *Effective Field*: Primäres Blickfeld bis ca. 30° horizontal und 20° vertikal. Eingeschränkte Farbwahrnehmung. Einfache Strukturen können sehr gut und schnell unterschieden werden. Sehr gute Bewegungswahrnehmung. Zur weiteren Verfolgung von Objekten reichen einfache Augenbewegungen aus.
3. *Induced Field*: Sekundäres Blickfeld bis ca. 100° horizontal und 85° vertikal. Einfache Muster/Objekte können noch erkannt werden. Schwache Farbwahrnehmung, jedoch gute Bewegungswahrnehmung. Oft Zielbereich der nächsten Makrosakkade, falls der visuelle Cortex ein „object of interest“ identifiziert. Zur Blickverfolgung können bereits Kopfbewegungen zum Einsatz kommen.
4. *Supplementary Field*: Äußeres Blickfeld bei ca. 200° horizontal und 125° vertikal. Nur noch vektorielle Bewegungswahrnehmung durch dünnbesiedelte Stäbchenregionen auf der Retina (Warnfunktion/Fluchtreflex). Objekte können nicht mehr erkannt werden. Dieser Bereich wird im visuellen Cortex insbesondere zur permanenten Hintergrundauswertung von Eigen- und Raumbewegungen hinzugezogen.

Feld 1 wird auch allgemein als der Bereich der Detailwahrnehmung bezeichnet, während die Blickfelder 2 bis 4 oft zum Bereich der Gesamtwahrnehmung zusammengefasst werden.

## 5 Zentrale Verarbeitung visueller Informationen

Der folgende Abschnitt erhebt keinesfalls den Anspruch, die neuronale Verarbeitung der visuellen Wahrnehmung im Detail zu beschreiben - dies würde den Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit deutlich verschieben. Vielmehr sollen anschaulich und verständlich die anatomisch-physiologischen Grundlagen geschaffen werden, um den späteren Ausführungen zur neuronalen Verarbeitung der Tiefenreize folgen zu können.

Die jeweils etwa 1.000.000 Axone der retinalen Ganglienzellen bilden den linken und rechten *Nervus opticus* (NO). Die beiden Sehnerven ziehen weiter zur Sehnerven-

---

<sup>27</sup> Vgl. Hakada, Sakata, Kusada; SMPTE-Journal Nr.89/1980, S. 560-569.

kreuzung, dem *Chiasma opticum* (OX), wo die Fasern der nasalen<sup>28</sup> Netzhautbereiche die Seiten wechseln, während die Fasern der temporal<sup>29</sup> gelegenen Netzhautanteile ungekreuzt weiterlaufen. Das linke Gesichtsfeld (in Abbildung 1.6 blau dargestellt) wird somit in die *rechte* Hemisphäre<sup>30</sup> projiziert, während das rechte Gesichtsfeld (in Abbildung 1.6 rosa dargestellt) in die *linke* Hemisphäre weitergeleitet wird.<sup>31</sup> Bereits an dieser Stelle sei erwähnt, dass die teilweise Kreuzung der Sehnerven für die menschliche Raumwahrnehmung durchaus relevant ist.

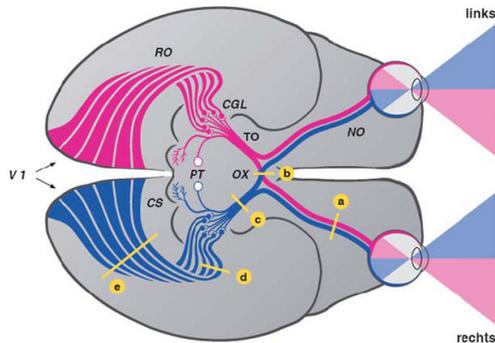


Abb. 1.6: Schematische Darstellung der zentralen Sehbahnen

Nach Passage der Sehnervenkreuzung formieren sich die gekreuzten und ungekreuzten Nervenfasern auf beiden Seiten zum *Tractus opticus* (TO). Etwa ein Drittel dieser Fasern zweigt anschließend zu der *prätektalen Region* (PT) des Mittelhirns und zu den *Colliculi superiores* (CS) ab.<sup>32</sup> In der *PT* befinden sich Regionen, die primär für Pupillenreflexe zuständig sind, während die Neuronen der *CS* v.a. auf sich bewegende Netzhautabbilder reagieren.<sup>33</sup> Erscheint beispielsweise ein sich bewegendes Objekt am Rand des Gesichtsfeldes (hier: *Induced Field*), lösen die *CS*-Neuronen Makrosakkaden aus, um die Objektabbildungen dauerhaft auf den Foveae zu fixieren. Dieser Vorgang wird - in Analogie zur Motorik der Hand - als *visueller Greifreflex* bezeichnet.<sup>34</sup>

28 Nasal bedeutet zur Nase hin oder an der Nase gelegen und meint im vorliegenden Zusammenhang, die Bereiche, die weiter am inneren retinalen Rand liegen. In Abbildung 1.6 sind diese Bereiche für das linke Auge rosa und für das rechte Auge blau markiert.

29 Temporal (lat. Tempus: Schläfe) bedeutet schläfenwärts und meint im vorliegenden Zusammenhang, die Bereiche, die weiter am äußeren retinalen Rand liegen. In Abbildung 1.6 sind diese Bereiche für das linke Auge blau und für das rechte Auge rosa markiert.

30 Hemisphäre (von altgr. hemisphairion: Halbkugel) steht hier für eine Hirnhälfte.

31 Vgl. Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie, S. 258; Schmidt, R. F. & Schaible, H.-G. & Birbaumer, N. 2006: Neuro- und Sinnesphysiologie, S.269.

32 Vgl. Schmidt, R. F. & Schaible, H.-G. & Birbaumer, N. 2006: Neuro- und Sinnesphysiologie, S. 269.

33 Vgl. Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie, S. 258.

34 Vgl. Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie, S. 258.

Die verbleibenden zwei Drittel des *TO* verlaufen zu den *Corpus geniculatum laterale* (CGL), den sog. seitlichen Kniehöckern. Dies sind Kerngebiete im Thalamus<sup>35</sup>, die eine starke Konnektivität zur gesamten Großhirnrinde aufweisen. Die in den CGL ankommenden peripheren Impulse der Augen werden dort vorverarbeitet (Kontrastverstärkung, Selektion oder Hemmung besonderer visueller Merkmale) und nach synaptischer Umschaltung an die zuständigen Areale in der Großhirnrinde weitergeleitet.<sup>36</sup>

Die Axone der CGL-Neuronen bilden die weiterführende rechte und linke *Radiatio optica* (RO), auch Sehstrahlung genannt, die in die Eingangsschichten des visuellen Kortex<sup>37</sup> ziehen. Als *visueller Kortex* wird die Gesamtheit der Großhirnrindenareale bezeichnet, die auf die Verarbeitung visueller Informationen spezialisiert sind.

Der primäre visuelle Kortex, oft auch als *primäre Sehrinde* titulierte, befindet sich im Hinterhauptslappen (Lobus occipitalis) der Hirnrinde und ist aufgrund seiner Bedeutung für die visuelle Informationsverarbeitung das wohl am genauesten erforschte Kortexareal überhaupt. Dieser nur 1,5-3 mm dicke Bereich wird auch visuelles Areal 1, kurz *Areal V1* genannt, die nachgeschalteten visuellen Regionen werden dementsprechend mit V2 bis V5 bezeichnet, wobei die Komplexität der Verarbeitungsleistung in jeder nachgeschalteten Kortexregion zunimmt.<sup>38</sup>

In V1 erfolgt eine parallele Verarbeitung der afferenten visuellen Daten aus dem linken und rechten Auge bezüglich Konturenanalyse, Farbe, Tiefe und Bewegung, wobei die meisten der hier vorhandenen Neuronen nur durch komplexe Netzhautbilder aktiviert werden. Es wurden bereits mehrere dieser hochspezialisierte Zelltypen in der Region V1 identifiziert, die nur auf ganz bestimmte Reize reagieren. Zu diesen Zelltypen zählt man:

1. *Orientierungssensitive Zellen*<sup>39</sup>: Diese Neuronen sprechen nur auf geradlinig aufgebaute Objekte an, also auf Linien oder Gitterstrukturen. Dabei ist die Lage dieser Objekte im Raum ausschlaggebend für die neuronale Aktivierung. Die einzelnen Zellen reagieren dabei schon auf eine Drehabweichung von wenigen Grad.
2. *Bewegungssensitive Zellen*: Diese Zellen reagieren besonders intensiv, wenn sich Objekte im Raum bewegen. Die Reaktion der verschiedenen Zellen hängt dabei im Wesentlichen von der Richtung der Bewegung ab.
3. *Längensensitive Zellen*: Die Zellen dieses Typs reagieren nur auf bestimmte Objektlängen, d.h. dass die einzelnen Neuronen nur aktiviert werden, wenn die Länge eines Objekts in deren rezeptives Feld passt. Diese Zellen liefern mit hoher Genauigkeit Informationen zu Ecken und komplexen Strukturen.

---

35 Der Thalamus (gr. thálamos: Kammer) repräsentiert den größten Teil des Zwischenhirns.

36 Vgl. Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie, S. 259-260.

37 Cortex (lat.: die Rinde). Hier ist die Großhirnrinde, die äußere Schicht des Großhirns gemeint.

38 Vgl. Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie, S. 260-264.

39 Dieser Zelltyp wird nach Hubel, D. & Wiesel, T., die 1981 für Ihre Arbeiten zur Erforschung der visuellen Informationsverarbeitung den Nobelpreis erhielten, auch als einfache Kortexzelle bezeichnet. Vgl. Schubert, G. 1967: Die Physiologie des Binocularsehens, S. 8.

Binokulare Informationen über die räumlich Tiefe können frühestens auf dem Niveau von V1 zum tragen kommen, da hier zum ersten mal die Informationen beider Augen zusammengeführt werden.<sup>40</sup>

In der *sekundären Sehrinde* werden die visuellen Informationen aus V1 weiterverarbeitet, indem sie beispielsweise mit Informationen aus anderen Sinneskanälen gekoppelt werden. Außerdem werden hier erstmals in großem Umfang die Informationen aus beiden Augen kombiniert, was eine ausgeprägte stereoskopische Wahrnehmung ermöglicht. Darüber hinaus werden in diesem Bereich bestimmte Bildeindrücke klassifiziert und verfeinerte Erkennungsmechanismen für Farben, Formen und Bewegungen durchlaufen.<sup>41</sup>

Im weiteren Verlauf der visuellen Informationsverarbeitung nimmt die Komplexität der Verarbeitungsleistung mit jeder nachgeschalteten Kortexregion zu. Das Farbanalysesystem und das Formanalysesystem setzen sich bis in V4 fort, wo die Form- und Farbinformationen schließlich zusammengeführt werden, um in Kombination mit den Farbkontrasten eine distinguierte Objekterkennung zu ermöglichen.<sup>42</sup>

Am Ende der Verarbeitungskette stehen die sogenannten *Was & Wo-Systeme*, ein hochentwickeltes Objektidentifizierungssystem im inferotemporalen Kortex. Hier befinden sich neuronale Zellen, die ausschließlich auf komplexe Objekte sowie Raum- und Eigenbewegungsinformationen reagieren.

Die aktuelle Hirnforschung kennt aber nicht nur den bis hierhin beschriebenen *bottom-up* Prozess zum Was & Wo-System, sondern auch einen gegenläufigen, parallel stattfindenden, Aufmerksamkeits-gesteuerten *top-down* Prozess. In diesem führen erste vage Was & Wo-Informationen zu einer sofortigen, aktiven und gezielten Suche nach bekannten Mustern im Gesichtsfeld und lösen dabei wiederum gezielt Makrosakkaden, aktive Akkomodationen, Kopfbewegungen oder ganze Körperbewegungen aus. In der Parallelverarbeitung der beiden Prozesse ergibt sich dann die endgültige Wahrnehmung unserer Umgebung inklusive der Filme, die wir betrachten.

---

40 Vgl. Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie, S. 269.

41 Vgl. Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie, S. 151; Schmidt, R. F. & Schaible, H.-G. & Birbaumer, N. 2006: Neuro- und Sinnesphysiologie, S.277.

42 Vgl. Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie, S. 264.

## 6 Tiefenwahrnehmung

Im folgenden Kapitel wird, auf Grundlage der im Vorfeld untersuchten anatomischen und physiologischen Gegebenheiten unseres Sehapparates, die menschliche Fähigkeit der Tiefenwahrnehmung detailliert dargelegt.

Um zu begreifen, wie bemerkenswert das menschliche visuelle System funktioniert, sollte der Leser sich zunächst in Ruhe umsehen und sich dann vergegenwärtigen, dass die wahrgenommene *dreidimensionale Umgebung*, ausschließlich auf einer *zweidimensionalen Abbildung* der Umwelt auf unserer Netzhaut basiert.<sup>43</sup> Es drängt sich die Frage auf, wie das Phänomen der Wahrnehmung räumlicher Tiefe, d.h. die Fähigkeit zur Bestimmung der Entfernung und Position von Objekten im Raum, zu erklären ist.

Zunächst kann festgehalten werden, dass das Auge nicht in der Lage ist, die Strecke zu ermitteln, die das Licht von einem Punkt eines Objekts bis zu dessen Abbildungspunkt auf der Netzhaut zurückgelegt hat. Folglich müssen in dem zweidimensionalen retinalen Abbild Informationen enthalten sein, die es uns ermöglichen räumliche Tiefe zu erkennen. Solche Informationen werden als *Tiefenreize* bezeichnet. Der Kausalzusammenhang zwischen Tiefenreizen und tatsächlicher räumlicher Tiefe wird im Verlauf der Umwelterfahrung als Kind erfahren und gelernt.

Nach GOLDSTEIN<sup>44</sup> lassen sich drei *Hauptgruppen von Tiefenreizen* identifizieren:

1. *Okulomotorische*<sup>45</sup> Tiefenreize: Diese Reize beruhen darauf, dass wir die Stellung unserer Augen und die Spannung unserer Ziliarmuskulatur wahrnehmen können.
2. *Monokulare*<sup>46</sup> Tiefenreize: Reize, die nur mit einem Auge wahrgenommen werden müssen, um Informationen über die räumliche Tiefe zu erhalten.
3. *Binokulare*<sup>47</sup> oder *stereoskopische* Tiefenreize: Diese Reize können ausschließlich dann Informationen zur räumlichen Tiefe liefern, wenn sie mit beiden Augen wahrgenommen werden.

43 Vgl. Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 185.

44 Vgl. Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 186.

45 Unter Okulomotorik versteht man alle motorischen Bewegungen der Augäpfel (Bulbi).

46 Monokular (von lat. mono: allein und oculus: das Auge) bedeutet einäugig.

47 Binokular (von lat. bi: doppelt und oculus: das Auge) bedeutet mit beiden Augen.

## 6.1 Okulomotorische Tiefenreize

Diese Art von Tiefenreizen basieren auf der Tatsache, dass wir es fühlen, wenn sich unsere Augen auf unterschiedlich nahe Objekte einstellen müssen. Diese Wahrnehmung beruht im Wesentlichen auf zwei Faktoren:

1. *Konvergenz*: Konvergenz (von lat. *convergere*: sich hinneigen) bedeutet allgemein Annäherung und beschreibt die nach innen gerichtete Bewegung der Augen, wenn Objekte in extremer Nähe betrachtet werden sollen. Bei diesem Vorgang nehmen wir die Kontraktion der Augenmuskeln wahr, sobald diese den Konvergenzwinkel verändern.
2. *Akkommodation*: Akkommodation (von lat. *accommodare*: anpassen) bezeichnet die Veränderung der Linsenbrechkraft im Auge um nahe und ferne Objekte durch Verkürzung oder Verlängerung der Brennweite fokussieren zu können. Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, muss bei einem Blick in die Nähe der Ziliarmuskel kontrahieren. Durch wird der Zug der Lederhaut überwunden und die Zonulfasern erschlaffen. Infolgedessen wird die Linse aufgrund ihrer Eigenelastizität kugelförmiger und ihre Brechkraft steigt. Auch den Vorgang dieser Nahakkommodation können wir spüren.

Starke Konvergenz und Nahakkommodation signalisieren uns ein in der Nähe befindliches Objekt, wobei diese Tiefenreize nur innerhalb einer Objektdistanz von höchstens einem Meter existent sind.<sup>48</sup>

## 6.2 Monokulare Tiefenreize

Wie bereits angesprochen, liefert diese Art von Tiefenreiz auch bei monokularem Sehen Informationen zur räumlichen Tiefe. Innerhalb dieser Kategorie kann zwischen bildbezogenen Tiefenreizen und bewegungsinduzierten Tiefenreizen unterschieden werden.

### *Bildbezogene monokulare Tiefenreize*

Bildbezogene Tiefenreize kommen in der Realität immer in Kombination vor und liefern in einem zweidimensionalen Bild Informationen über räumliche Tiefe.<sup>49</sup> Manche dieser Reize scheinen auf den ersten Blick offensichtlich zu sein. Trotzdem sollte man sich ihrer bewusst sein - und sie bei einem stereoskopischen Dreh auch bewusst einsetzen um ein optimales Ergebnis zu erhalten! Im Folgenden sind die effektivsten

---

48 Vgl. Cutting, J. E. & Vishton, P. M. 1995: Perceiving layout and knowing distances; Mon-William, M. & Tresilian, J. R. 1999: Some recent studies on the extraretinal contribution to distance perception; Tresilian, J. R. & Mon-Williams, M. & Kelly, B. 1999: Increasing confidence in vergence as a cue to distance; Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 186-187.

49 Vgl. Goldstein, E. Bruce 2001: Pictorial perception and art.

bildbezogenen monokularen Tiefenreize zusammengefasst und mit Hilfe von Bildmaterial verdeutlicht.

**Verdeckung:**

Man spricht von einer Verdeckung, wenn ein Objekt durch ein davor positioniertes anderes Objekt so überlagert wird, dass es nur noch teilweise zu sehen ist. Das verdeckte Objekt wird dann als weiter entfernt wahrgenommen. Allerdings liefert dieser Tiefenreiz keine Information über die absolute Entfernung, sondern nur über die relative Entfernung der Objekte zueinander. Abbildung 1.7 zeigt eine typische Situation, in der aufgrund von Verdeckung die räumliche Tiefe erkannt werden kann.



Abb. 1.7: Räumliche Tiefe durch Verdeckung

**Relative Höhe:**

Dieser Tiefenreiz bewirkt, dass Objekte als umso weiter entfernt wahrgenommen werden, je höher deren tiefster Punkt im Gesichtsfeld liegt. Darüber hinaus besteht eine Verbindung zwischen Blickrichtung und Distanz: Wird ein Objekt mit einem im Gesichtsfeld weit nach oben gerichteten Blick erfasst, z.B. nahe der Horizontlinie, nehmen wir eine größere Objektiefe im Raum wahr, als wenn der Blick abwärts gerichtet werden müsste.<sup>50</sup>



Abb. 1.8: Räumliche Tiefe durch relative Höhe

50 Ooi, T. L. & Wu, B. & He, Z. J. 2001: Distance determined by the angular declination below the horizon; Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 188.

**Relative Größe:**

Dieser Reiz entsteht, wenn eines von mindestens zwei gleich großen sichtbaren Objekten weiter entfernt ist als das andere und deshalb im Gesichtsfeld weniger Platz in Anspruch nimmt als das nähere.<sup>51</sup> Abbildung 1.9 verdeutlicht diesen Tiefenreiz anhand der gelben Sonnenschirme. Diese sind zwar in der Realität tatsächlich alle gleich groß, je weiter sie sich aber vom Betrachter entfernt befinden, als desto kleiner werden sie von uns wahrgenommen. Wir nutzen diese Informationen über die relative Größe von Objekten ebenfalls ganz automatisch zur Detektion der räumlichen Tiefe.



Abb. 1.9: Räumliche Tiefe durch relative Größe

**Perspektivische Konvergenz:**

Konvergenz (von lat. convergere: sich hinneigen) bedeutet allgemein Annäherung und beschreibt in diesem Zusammenhang die Wahrnehmung, dass zwei eigentlich parallele Linien mit zunehmender Distanz scheinbar konvergieren, d.h. sich annähern. In Abbildung 1.10. ist die perspektivische Konvergenz, die jeder Autofahrer von der Fahrt auf langen, geraden Straßen kennt, nochmals beispielhaft dargestellt.



Abb. 1.10: Räumliche Tiefe durch perspektivische Konvergenz

51 Vgl. Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 188.

### **Vertraute Größe:**

Dieser Reiz beruht auf der Tatsache, dass wir aufgrund unseres Vorwissens über tatsächliche Objektgrößen Rückschlüsse über deren Entfernung im Raum ziehen können.<sup>52</sup> Zur Veranschaulichung ist in Abbildung 1.11 eine Szene dargestellt, in der wir allein anhand der vertrauten Objektgrößen auf die räumliche Tiefe im Bild schließen können. So wissen wir beispielsweise aus Erfahrung, dass der Hund nicht dieselbe Größe wie ein Auto haben kann - auch wenn es in diesem zweidimensionalen Bild so aussieht. Dementsprechend nehmen wir das Auto automatisch als deutlich weiter entfernt wahr.



Abb. 1.11: Räumliche Tiefe durch vertraute Größe

### **Atmosphärische Perspektive:**

Die atmosphärische Perspektive kommt dadurch zustande, dass die Luftschicht, die das von den betrachteten Objekten reflektierte Licht passieren muss, dicker wird, je weiter ein Objekt entfernt ist. Aufgrund der Luftpartikel (Wassertröpfchen, Staub) erscheinen Objekte unschärfer und bläulicher, je weiter sie von uns entfernt sind. Dieser Effekt, der in Abbildung 1.12 visualisiert ist, kommt jedoch nur bei relativ großen Entfernungen richtig zum tragen.

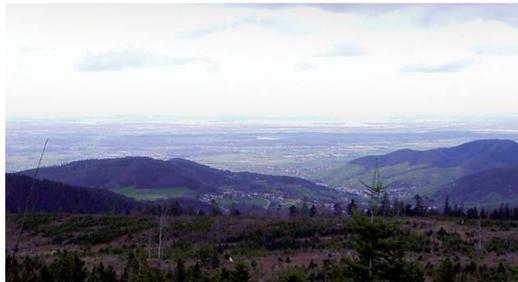


Abb. 1.12: Räumliche Tiefe durch atmosphärische Perspektive

<sup>52</sup> Vgl. hierzu die Experimente in Epstein, W. 1965: Nonrelational judgements of size and distance.

**Texturgradient:**

Der Texturgradient beruht im Wesentlichen auf dem Tiefenreiz der relativen Größe. Konkret werden visuelle Muster regelmäßig wiederkehrende Elemente mit annähernd gleichmäßigen Abständen mit zunehmender Distanz als dichter beisammen liegend empfunden. Abbildung 1.13 zeigt diesen Tiefenreiz anhand der gleichmäßigen Pflanzenbedeckung, die mit zunehmender Entfernung dichter aneinander zu wachsen scheint.



Abb. 1.13: Räumliche Tiefe durch Texturgradient

**Schatten:**

Schatten verdeutlichen die räumliche Beziehung zwischen Objekten innerhalb einer Szene. Sie zeigen, an welcher Stelle ein Objekt den Boden berührt oder aber wie weit ein Objekt sich über dem Boden befindet. Außerdem enthält eine Szene aufgrund der Schatten deutlich mehr Informationen über die relative Position der Objekte zueinander, was die Lokalisation der einzelnen Objektiefen ermöglicht.<sup>53</sup> Darüber hinaus verstärken Schatten ganz allgemein die dreidimensionale Objektwahrnehmung. In Abbildung 1.14 ist zweimal dieselbe Szene dargestellt - links ohne Schatten, rechts mit Schatten.

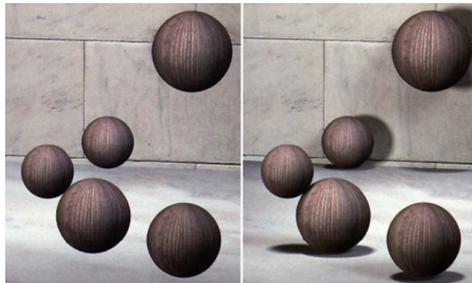


Abb. 1.14: Räumliche Tiefe durch Schatten

53 Vgl. Birn, Jeremy 2006: Digital lighting & rendering, S.44-45; Mamassian, P. & Knill, D. & Kersten, D. 1998: The perception of cast shadows.

Auf der linken Seite verhindert das Fehlen der Schatten die exakte Einordnung der Ballpositionen im Raum. Eine definitive Aussage über die Entfernung des obersten Balles zur dahinterliegenden Mauer ist unmöglich. Erst im rechten Bild kann ein Betrachter erkennen, ob ein Ball beispielsweise auf dem Boden liegt oder in der Luft schwebt und wie weit die Bälle voneinander entfernt sind, da die Schatten Informationen über die relative Position der Bälle zueinander liefern. Im Hinblick auf die späteren Ausführungen zum *Compositing*, sei bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass Schatten ein enorm wichtiger Teil der Bildkomposition sind. Ein qualitativ hochwertiger Schatten erhöht den Realitätsgrad einer Szene deutlich, schafft Raumbeziehungen, eine zeitliche Einordnung der Szenerie und ermöglicht vor allem eine glaubwürdige Integration von fremden Elementen in eine Szene.

### *Bewegungsinduzierte monokulare Tiefenreize*

Die bisher beschriebenen Tiefenreize liefern selbst bei völligem Stillstand des Betrachters räumliche Informationen. Kommt Bewegung durch das Wenden des Kopfes oder durch leichte Positionsveränderungen unseres Körpers hinzu, resultieren daraus neue Tiefenreize, die unsere Wahrnehmung der räumlichen Tiefe weiter verstärken.

1. *Fortschreitendes Zu- oder Aufdecken von Flächen*: Dieser Tiefenreiz ist zu der Bewegungsparallaxe und der Verdeckung kohärent und könnte somit auch als Verdeckung durch Bewegung beschrieben werden. Ein fortschreitendes Zudecken entsteht, wenn wir uns seitlich entlang zwei unterschiedlich entfernter Objekte bewegen, wodurch ein weiter entferntes Objekt von einem in der Nähe befindlichen Objekt zunehmend verdeckt wird. Zu einem fortschreitenden Aufdecken kommt es, wenn wir uns in die Gegenrichtung bewegen.<sup>54</sup> Nach KAPLAN ermöglichen diese Reize die Wahrnehmung der räumlichen Tiefe an Kanten besonders wirkungsvoll.<sup>55</sup>
2. *Bewegungsparallaxe*: Eine Parallaxe (von gr. *parallagé*: Veränderung, Abweichung) ist der Winkel zwischen zwei Geraden (Sehstrahlen), die von zwei verschiedenen Standorten auf einen Punkt (ein Objekt) gerichtet sind. Der Tiefenreiz der Bewegungsparallaxe beruht auf einem optischen Effekt, der auftritt, wenn sich ein Beobachter parallel zu Objekten seitlich fortbewegt. Nahegelegene Objekte scheinen sich dabei deutlich schneller zu bewegen als entferntere Objekte. Diese unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten der Objekte lassen Rückschlüsse auf die einzelnen Objektentfernungen zu. Dieser Effekt tritt klassischerweise beim Blick aus dem Seitenfenster eines fahrenden Autos oder Zuges auf.<sup>56</sup> Insbesondere aber auch bei Kamerafahrten (travelling shots).

---

54 Vgl. Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 190.

55 Kaplan, G. 1969: Kinetic disruption of optical texture: The perception of depth at an edge.

56 Vgl. Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 190.

Wie es zu diesem Effekt kommt, zeigt Abbildung 1.15. Sie stellt die sich auf der Netzhaut fortbewegenden Abbilder eines nahen Objekts (Baum) und eines entfernten Objekts (Haus) dar, wenn sich das betrachtende Auge von Position 1 nach Position 2 bewegt. Die gestrichelte Linie verdeutlicht, dass das retinale Abbild des nahen Objekts in derselben Zeit einen viel längeren Weg von  $T_1$  bis  $T_2$  über die Netzhaut zurücklegt, als das weiter entfernte Objekt von  $H_1$  nach  $H_2$ . Durch den längeren zurückgelegten Weg scheint sich das nahe Objekt während der Bewegung somit schneller zu bewegen.<sup>57</sup>

Bereits an dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Bewegungsparallaxe auch ein wichtiges Stilmittel beim stereoskopischen Filmen ist. Kommt nämlich bei einer Einstellung, welche mehrere Objekte in unterschiedlichen Tiefenbereichen enthält, eine horizontale Kamerabewegung zum Einsatz, verstärkt dies den Tiefeneindruck durch die sich unterschiedlich schnell fortbewegenden retinalen Abbilder deutlich.

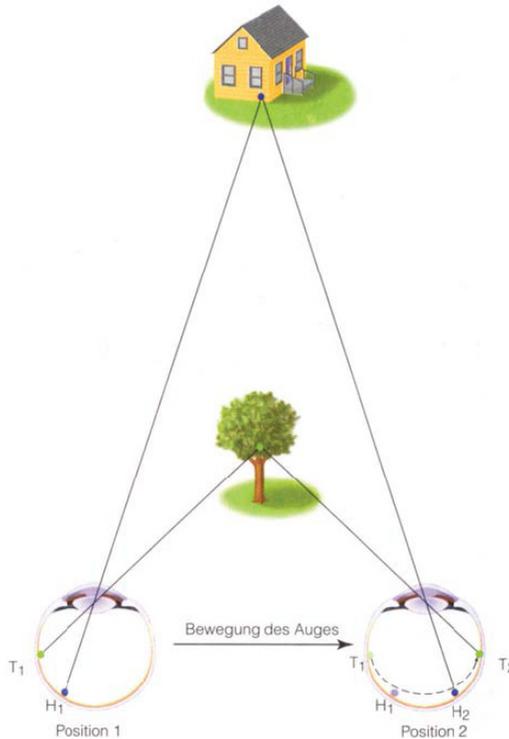


Abb. 1.15: Entstehung der Bewegungsparallaxe

57 Vgl. Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 190.

*Entfernungsbereiche der monokularen Tiefenreize*

Die folgende Tabelle 2.1 fasst die bisher erarbeiteten monokularen Tiefenreize zusammen und ordnet ihnen effektive Entfernungsbereiche zu.<sup>58</sup> Diese Werte sollten bereits während der Drehplanung berücksichtigt werden.

Tiefenreiz	0-2 Meter	2-20 Meter	über 30 Meter
Verdeckung	•	•	•
relative Größe	•	•	•
Akkommodation/ Konvergenz	•		
Bewegung	•	•	
relative Höhe		•	•
atmosphärische Perspektive			•

Tabelle 1.1: Effektive Distanzbereiche für monokularische Tiefenreiz

### 6.3 Binokulare Tiefenreize

Die bisher behandelten Tiefenreize lassen sich auch mit nur einem Auge wahrnehmen. Eine zusätzliche Informationsquelle über die räumliche Tiefe resultiert aber aus dem binokularen Sehen, genauer aus der Verrechnung der Informationen aus beiden Augen.<sup>59</sup> Auf Grundlage der Tatsache, dass die Augen eines Erwachsenen durchschnittlich etwa 65 Millimeter<sup>60</sup> auseinanderliegen, lässt sich leicht folgern, dass sich die Blickwinkel der Augen und damit auch die Netzhautabbildungen voneinander unterscheiden.<sup>61</sup> Der Unterschied zwischen diesen beiden Abbildungen regt spezielle Neuronen an und ist ursächlich für den Tiefenreiz der *Querdisparität*.<sup>62</sup>

58 Vgl. Cutting, J. E. & Vishton, P. M. 1995: Perceiving layout and knowing distances.

59 Vgl. Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie, S. 269.

60 Dieser Wert variiert selbstverständlich von Mensch zu Mensch, was auch der Grund dafür ist, dass ein stereoskopischer Effekt von einem Betrachter deutlich wahrgenommen werden kann, während ein anderer kaum räumliche Tiefe wahrnimmt. In der Literatur finden sich Werte von 6 bis 6,5 Zentimeter. Vgl. Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie, S. 269; Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 191.

61 Die Verschiedenheit der retinalen Abbildung eines Gegenstandes kann mit dem sog. Daumensprung-Versuch leicht nachvollzogen werden. Dazu muss lediglich der eigene Daumen des horizontal ausgestreckten rechten Armes abwechselnd monokular mit dem linken und mit dem rechten Auge fixiert werden. Bei jedem Fixationswechsel werden die Unterschiede der Abbildungen wahrgenommen: Der Daumen verschiebt sich scheinbar gegenüber dem Hintergrund. Vgl. Schmidt, R. F. & Lang, F. & Thewst, G. 2005: Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie, S.397; Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 192.

62 Disparität (von lat. disparatum: abgesondert, getrennt) bedeutet Verschiedenheit.

Um die Entstehung und die Bedeutung der Querdisparität, die auch *binokulare Disparität* genannt wird<sup>63</sup>, zu verdeutlichen, müssen zunächst einige Vorüberlegungen angestellt werden.

Wie in Abbildung 1.16 dargestellt, wird ein im Nahbereich<sup>64</sup> fixiertes Objekt F aufgrund von Akkomodation und symmetrisch konvergierenden Augenbewegungen in beiden Augen des Betrachters auf der jeweiligen Fovea - der Stelle des schärfsten Sehens - abgebildet. Die beiden Foveae  $F_l$  und  $F_r$  haben also den gleichen Ortswert und stellen somit *korrespondierende Netzhautpunkte* dar.<sup>65</sup> Korrespondierende Netzhautpunkte sind Areale, die sich auf den Netzhäuten beider Augen deckungsgleichen überlagern würden, wenn beide Augen entlang ihrer optischen Achsen übereinander gelegt werden könnten. Das Beispiel in Abbildung 1.17 soll dies verdeutlichen: die retinalen Punkte A, B und F des linken und des rechten Auges sind jeweils korrespondierende Netzhautareale.

Von entscheidender Bedeutung für die Wahrnehmung der räumlichen Tiefe ist nun, dass alle umliegenden Objekte, die bei der Fixierung von Objekt F, also bei gleichbleibender, fester Augenstellung, ebenfalls auf korrespondierende Netzhautpunkte abgebildet werden, vom Betrachter als ein einzelnes fusioniertes Bild und als gleich weit entfernt wahrgenommen werden.<sup>66</sup>

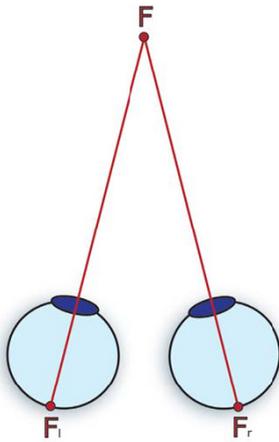


Abb. 1.16: Fixierung eines Objektes F

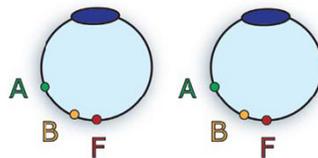


Abb. 1.17: Korrespondierende Netzhautpunkte

63 Vgl. Schmidt, R. F. & Schaible, H.-G. & Birbaumer, N. 2006: Neuro- und Sinnesphysiologie, S.278-279.

64 Der Nahbereich umfasst in etwa eine Distanz von bis zu 6 m. Vgl. Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie, S. 269.

65 Vgl. Schmidt, R. F. & Lang, F. & Thewst, G. 2005: Physiologie des Menschen, S. 376; Fleischer, F. P. & Ludwig, W. & Wartmann, R. 1952: Der optimale Horopter.

66 Vgl. Fleischer, F. P. & Ludwig, W. & Wartmann, R. 1952: Der optimale Horopter.

Die Gesamtheit der Objektpositionen, die bei der Fixierung von Objekt F ebenfalls auf korrespondierende Netzhautpunkte abgebildet werden, bilden den sogenannten *Horopter*. Der Horopter<sup>67</sup> ist eine geometrische Figur im Raum, deren Größe und Form u.a. von der Entfernung des fixierten Außenpunktes und dem Grad der Akkommodation abhängig ist und sich somit gegebenenfalls von konvex über frontoparallel nach konkav ändern kann oder umgekehrt.<sup>68</sup> In Abbildung 1.18 ist ein Horopter stark vereinfacht als Kreis durch die beiden Mittelpunkte der Augenoptiken und durch den Fixationspunkt F dargestellt.<sup>69</sup> Wie un schwer zu erkennen ist, fallen die retinalen Abbildungen von Objekt A aufgrund der identische Winkel gegen die Blickachsen ebenfalls auf korrespondierende Netzhautpunkte, nämlich auf  $A_l$  und  $A_r$ . Objekt A erscheint dementsprechend gleichweit entfernt wie das fixierte Objekt F.

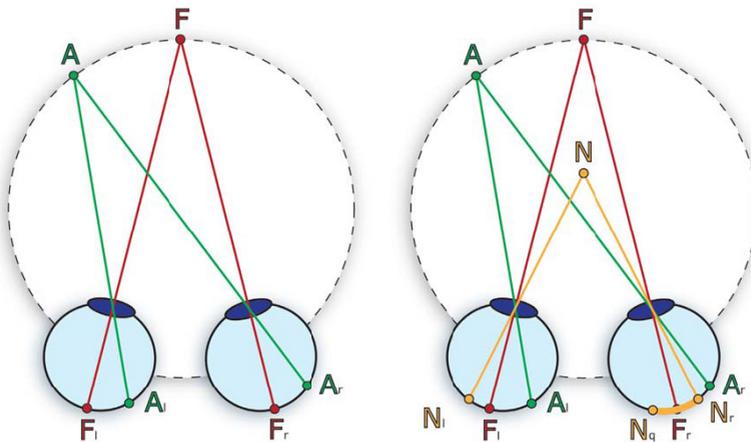


Abb. 1.18: Vereinfachte Darstellung des Horopters    Abb. 1.19: Entstehung der Querdissparität

Die wichtigste Frage in Bezug auf die Wahrnehmung der räumlichen Tiefe ist nun, wie Objekte abgebildet und wahrgenommen werden, die sich vor oder hinter der Fixationsebene des Horopters befinden. Um diese Frage zu beantworten, ist in Abbildung 1.19 ein Objekt N dargestellt, das sich eindeutig vor dem Horopter befindet. Die retinalen Abbildungen  $N_l$  und  $N_r$  sind offensichtlich disparat und liegen dementsprechend

67 Horopter setzt sich aus den griechischen Wörtern hóros (dt.: Grenze) und opter (dt.: Späher) zusammen. Der Begriff wurde 1613 von dem belgischen Mathematiker und Physiker Franciscus Aguilonius (geboren 1567 in Brüssel, gestorben 1617 in Antwerpen) in dessen Hauptwerk *Opticorum Libri Sex Philosophis iuxta Ac Mathematicis Utiles* eingeführt.

68 Vgl. Fleischer, F. P. & Ludwig, W. & Wartmann, R. 1952: Der optimale Horopter; Schmidt, R. F. & Schaible, H.-G. & Birbaumer, N. 2006: Neuro- und Sinnesphysiologie, S.278.

69 Bei der Kreisform handelt es sich um einen theoretischen Horopter. Tatsächlich ist seine Form aber auch von physiologischen und wahrnehmungspsychologischen Variablen abhängig, weshalb der empirische Horopter deutlich flacher und breiter ist. Vgl. Fleischer, F. P. & Ludwig, W. & Wartmann, R. 1952: Der optimale Horopter.

auf *nichtkorrespondierende Netzhautpunkten*. Zur Verdeutlichung der Abweichung ist der tatsächlich mit dem im linken Auge positionierten Punkt  $N_l$  korrespondierende Punkt  $N_r$  im rechten Auge eingezeichnet. Die Distanz zwischen  $N_l$  und  $N_r$ , die in Abbildung 1.18 als Strecke auf der Netzhaut des rechten Auges markiert ist, wird als *Querdisparität* bezeichnet.<sup>70</sup> Der Fixationspunkt, hier das Objekt F, hat in jedem Fall die Disparität 0.

Man könnte nun vermuten, dass eine Projektion auf nichtkorrespondierende Netzhautpunkte Doppelbilder verursachen würde. Es gibt jedoch spezielle Neuronen, die die Unterschiede der Abbildungen über weite Bereiche gegeneinander verrechnen können und auf diesem Weg ein einziges Bild erzeugen.<sup>71</sup>

Aus den bisherigen Vorüberlegungen kann nun recht einfach auf das zentrale Konzept der binokularen Wahrnehmung von räumlicher Tiefe geschlossen werden: „Je weiter das Objekt vom Horopter entfernt ist, desto größer ist die Querdisparität.“<sup>72</sup>

Diese Aussage läßt sich leicht nachvollziehen, wenn man sich ein fiktives Objekt X vorstellt, das sich in Abbildung 1.19 zwischen den Objekten N und F befindet. Die Querdisparität der Abbildungen von Objekt X wäre offensichtlich geringer als die von Objekt N.

Das Ausmaß der Querdisparität kann von bestimmten kortikalen Zellen in der primären Sehrinde dazu genutzt werden, die Positionen von Objekten im Raum relativ zu einem fixierten Objekt zu bestimmen. Konkret bedeutet dies, dass ein Objekt vor dem Horopter liegen muss, also näher beim Betrachter liegt als der Fixationspunkt, wenn die horizontale Disparität auf der Netzhaut nach temporal<sup>73</sup> gerichtet ist - wie es in Abbildung 1.18 der Fall ist. Je weiter also ein Objekt *vor* dem Horopter liegt, desto weiter außen befinden sich die entsprechenden retinalen Abbilder dieses Objekts. Eine solche Disparität wird als *gekreuzte Querdisparität* bezeichnet.

Im Umkehrschluss befinden sich Objekte hinter dem Horopter, also weiter vom Betrachter entfernt als der Fixationspunkt, wenn die Querdisparation nach nasal gerichtet ist.<sup>74</sup> Je weiter also ein Objekt hinter dem Horopter liegt, desto weiter innen befinden sich die entsprechenden retinalen Abbilder dieses Objekts. Eine solche Disparität wird als *ungekreuzte Querdisparität* bezeichnet.

Die Fähigkeit, aufgrund des binokularen Sehens objektiv zu entscheiden, ob sich ein

70 Vgl. Fahle, M. 1982: The apparent size of objects situated in front of or behind the horopter; Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 193; Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie, S. 269; Fleischer, F. P. & Ludwig, W. & Wartmann, R. 1952: Der optimale Horopter.

71 Vgl. Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie, S. 269.

72 Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 193.

73 Temporal (von lat. Tempus: Schläfe) bedeutet schläfenwärts und meint im vorliegenden Zusammenhang, dass die Abbilder weiter an den äußeren retinalen Randbereichen liegen.

74 Vgl. Schmidt, R. F. & Schaible, H.-G. & Birbaumer, N. 2006: Neuro- und Sinnesphysiologie, S.278.

Objekt vor oder hinter der Fixationsebene des Horopters befindet, ist insbesondere im Greifraum hervorragend ausgebildet. Demgegenüber können weit entfernte Objekte kaum oder gar nicht mehr räumlich wahrgenommen werden, da das reflektierte Licht annähernd parallel in die Augen fällt und somit immer korrespondierende Netzhautpunkte aktiviert werden. Für diesen Fall besitzen wir im visuellen Kortex Neuronen, die nur bei Erregung korrespondierender Netzhautrezeptoren aktiv werden. Der Tiefeneindruck, der mittels der Querdisparität wahrgenommen wird, wird *Stereopsis* oder *stereoskopisches Sehen* genannt.

#### 6.4 Die Verarbeitung der binokularen Tiefenreize

Die neuronale Verarbeitung der binokularen Tiefenreize ist ein hochkomplexes Forschungsgebiet, das bis heute noch nicht vollkommen erfasst worden ist. Der folgende Abschnitt soll dennoch einige bedeutende physiologische Fakten dieser Domäne verständlich machen.

Den entscheidenden Durchbruch bei der Erforschung des stereoskopischen Sehens erzielte der britische Physiker C. WHEATSTONE (1802-1875) im Jahre 1838. Er erkannte als erster den direkten Zusammenhang zwischen Querdisparität und Stereopsis. Er setzte mit seinen Erkenntnissen den Niedergang des Empirismus<sup>75</sup> und die Etablierung des Nativismus<sup>75</sup> auf diesem Forschungsgebiet in Gang. Seit dem Beginn des 18. Jahrhunderts waren von den Vertretern der empirischen Theorien zunehmend philosophische und psychologische Ansätze als Erklärung für die räumliche Wahrnehmung hervorgebracht worden. Die Fähigkeit zur Tiefenwahrnehmung wurde nicht in den Bereich der physiologischen Mechanismen eingeordnet, sondern vielmehr als durch jahrelange haptische Erfahrungen gelernt betrachtet. WHEATSTONE lieferte mit seinen Ausführungen jedoch Hinweise, dass die Fähigkeit zur räumlichen Wahrnehmung bereits von Geburt an im Gehirn angelegt sein muss.

Die Vorstellung aber, dass Neugeborene prinzipiell keinerlei binokulares räumliches Sehvermögen besitzen und sich dieses erst durch langwierige haptische Erfahrungen erarbeiten müssen, hielt sich noch penetrant bis in die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts. Erst 1961 konnten die Studien von WALK und GIBSON<sup>76</sup> diese Ansichten endgültig widerlegen.<sup>77</sup> In diesen Studien wurde der sogenannte „*visual cliff*“ Test mit Babys durchgeführt. Der Testaufbau, der in Abbildung 1.20 vereinfacht wieder-

---

<sup>75</sup> Nativismus (von lat. nasci: geboren werden und lat. natus: angeboren, natürlich): Auffassung, dass bestimmte Begabungen, Verhaltensweisen und Fähigkeiten von Geburt an fest im Gehirn verankert sind. Menschen werden nach dieser Ansicht also mit bestimmten kognitiven Modellen geboren, die erlauben, dass man bestimmte Fähigkeiten (wie z.B. die Sprache) erlernt und erworben werden.

<sup>76</sup> Vgl. Walk, R. D. & Gibson, E. J. 1961: A comparative and analytical study of visual depth perception.

<sup>77</sup> Vgl. Crone, Robert A. 1992: The history of stereoscopy, S. 12-13.

gegeben ist, bestand aus einer Stufe mit Schachbrettmuster, über die eine Glasplatte gelegt wurde. Es zeigte sich, dass Babys, die auf die oberste Stufe gesetzt wurden, es vermieden, von der linken zur rechten Seite der Glasplatte zu krabbeln - sie erkannten die Tiefe ohne jemals heruntergefallen zu sein.

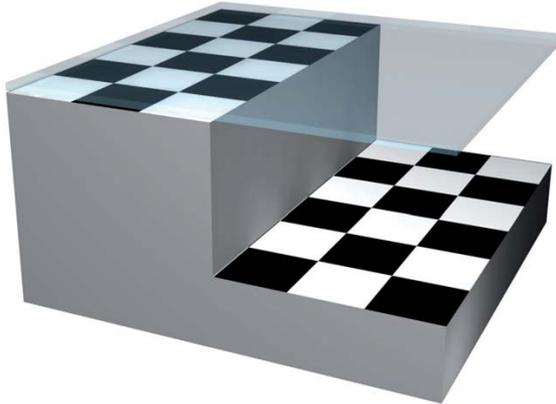


Abb. 1.20: Das „visual cliff“ nach WALK und GIBSON (1961)

Im Jahr 1964 konnte B. JULESZ den endgültigen Beweis liefern, dass die binokulare Wahrnehmung der Tiefe eine grundsätzlich vorhandene, elementare Fähigkeit des menschlichen visuellen Systems sein muss.<sup>78</sup> Außerdem konnte er nachweisen, dass eine vorhandene Querdisparität in Bildern ausreichend ist, um die Wahrnehmung von räumlicher Tiefe zu erzeugen. Kritiker hatten bis zu diesem Zeitpunkt stets angeführt, dass eine Tiefenwahrnehmung nicht alleine auf der Querdisparität beruhen könnte, sondern dass in jedem Bild monokulare Tiefenreize vorhanden seien, die aufgrund von gelernter Erfahrung erkannt werden und dementsprechend eine Tiefenwahrnehmung auslösen.

B. JULESZ erzeugte mit seinen *Zufallsmusterstereogrammen*<sup>79</sup> nun erstmals Stimuli, die außer der Disparität keine weiteren bildbezogenen monoskopischen Tiefeninformationen enthielten.<sup>80</sup> Mit diesen Stereogrammen konnte er bei Betrachtern eine Tiefenwahrnehmung erzeugen, ohne dass diese im Vorfeld ein bestimmtes Bild erkannt hätten und aufgrund dessen auch keine bestimmte Tiefenerfahrung abgerufen haben konnten. Abbildung 1.21 zeigt ein solches Zufallsmusterstereogramm.

78 Vgl. Julesz, Bela 1964: Binocular depth perception without familiarity cues.

79 Im Original von Julesz als random dot stereograms bezeichnet.

80 Vgl. Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 195.

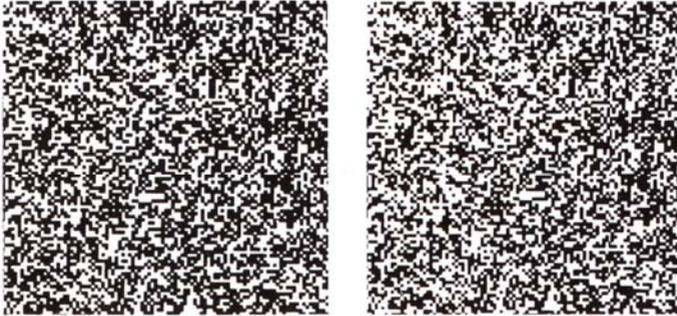


Abb. 1.21: Ein Zufallsmusterstereogramm nach B. JULESZ (1964)

Um es zu erstellen, musste ein Computer zunächst zwei identische Zufallsmuster erzeugen. Anschließend wurde im rechten Bild ein quadratischer Ausschnitt nach rechts verschoben. Diese geringfügige Verschiebung ist in dem Muster nicht zu erkennen, erzeugt aber eine Querdisparität.

1967 konnten von BARLOW, BLACKMORE und PETTIGREW erstmals verschiedene binokulare, kortikale Zellen nachgewiesen werden, die ausschließlich bei ganz bestimmten Querdisparitäten reagierten.<sup>81</sup> Dies war eine der bedeutendsten Entdeckungen überhaupt auf dem Gebiet der Tiefenwahrnehmungsphysiologie. Eine präzisere Einteilung dieser Neuronen erfolgte 2003 von UKA & DeANGELIS.<sup>82</sup>

Den Beweis für den direkten Zusammenhang von querdisparitätsempfindlichen Neuronen und der Wahrnehmung von räumlicher Tiefe lieferten BLAKE und HIRSCH im Jahr 1975.<sup>83</sup> Sie züchteten Katzen mit deutlich unterentwickelten bzw. weitgehend fehlenden binokularen Neuronen, bei denen dann ein Verlust des stereoskopischen Sehens nachgewiesen werden konnte.<sup>84</sup>

Bei Affen wurden in V1, V2, V3 und im mediotemporalen Kortex (MT) Neuronen gefunden, die speziell auf bestimmte Größen der Querdisparität ansprechen. Außerdem konnten im nachgeschalteten mediotemporalen Kortex Neuronen entdeckt werden, die ausschließlich bei einer Objektbewegungen in einer bestimmten Tiefe relativ zum Fixationspunkt ansprechen.<sup>85</sup>

81 Vgl. Barlow, H. B. & Blackmore C. & Pettigrew, J. D. 1967: The neural mechanism of binocular depth discrimination.

82 Uka, T. & DeAngelis, G. C. 2003: Contribution of middle temporal area to coarse depth discrimination: Comparison of neuronal and psycho-physical sensitivity.

83 Blake, R. & Hirsch, H. V. B. 1975: Deficits in binocular depth perception in cats after alternating monocular deprivation.

84 Vgl. Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 198.

85 Vgl. Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie, S. 270.

Zusammenfassend ist heute bekannt, dass sich im visuellen Kortex sowohl querdiparitätsempfindliche Neuronen befinden, die nur ansprechen, wenn zwei korrespondierende Netzhautpunkte Signale senden, die Querdiparität also null ist, als auch Neuronen, die als eine Art Detektor für die Objektiefe im Raum fungieren, indem sie nur bei einem bestimmten Grad an retinaler Abweichung der linken und rechten Bildpunkte erregt werden.<sup>86</sup> Jeder Punkt im dreidimensionalen Raum kann somit durch seine räumliche Diparität in den beiden retinalen Abbildungen wahrgenommen werden.

---

<sup>86</sup> Vgl. Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie, S. 269.



## Autor

Frank Hofmeyer



Studium der Medieninformatik an der Hochschule Furtwangen University von 2003 - 2007 mit dem Abschluß Dipl.-Inform. (FH). Anschließend Masterstudium Computer Science in Media ebenfalls an der Hochschule Furtwangen. Derzeit in einer leitenden Position im Produktionsmanagement der Neue Medien bei PLAZAMEDIA GmbH TV & Film Produktion in Ismaning.



## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1.1: Das sichtbare Licht - nur ein kleiner Ausschnitt des elektromagnetischen Spektrums  
Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 31
- Abb. 1.2: Anatomischer Aufbau des menschlichen Auges  
Bartels, Heinz 1995: Physiologie. Lehrbuch und Atlas, S. 234
- Abb. 1.3: Schematischer Aufbau der lichtempfindlichen Schicht der Retina  
Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 48, eigene Bearbeitung
- Abb. 1.4: Verteilung von Stäbchen und Zapfen über die Retina  
Steber, Josef-Anton; Nowara, Thomas; Bonse, Thomas 2007: Bewegung in Video und Film, S. 76
- Abb. 1.5: Das binokulare Gesichtsfeld  
Schwegler, Johann S. 1996: Der Mensch - Anatomie und Physiologie, S. 448
- Abb. 1.6: Schematische Darstellung der zentralen Sehbahnen  
Schmidt & Schaible & Birbaumer 2006: Neuro- und Sinnesphysiologie, S.270
- Abb. 1.7: Räumliche Tiefe durch Verdeckung  
Foto: Frank Hofmeyer
- Abb. 1.8: Räumliche Tiefe durch relative Höhe  
Foto: Frank Hofmeyer
- Abb. 1.9: Räumliche Tiefe durch relative Größe
- Abb. 1.10: Räumliche Tiefe durch perspektivische Konvergenz  
Foto: Frank Hofmeyer
- Abb. 1.11: Räumliche Tiefe durch vertraute Größe  
Foto: Frank Hofmeyer
- Abb. 1.12: Räumliche Tiefe durch atmosphärische Perspektive  
Foto: Frank Hofmeyer
- Abb. 1.13: Räumliche Tiefe durch Texturgradient  
Foto: Frank Hofmeyer
- Abb. 1.14: Räumliche Tiefe durch Schatten  
Birn, Jeremy 2006: Digital lighting & rendering, S. 44
- Abb. 1.15: Entstehung der Bewegungsparallaxe  
Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 190
- Abb. 1.16: Fixierung eines Objektes F  
Illustration: Frank Hofmeyer
- Abb. 1.17: Korrespondierende Netzhautpunkte  
Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 193, eigene Bearbeitung
- Abb. 1.18: Vereinfachte Darstellung des Horopters  
Illustration: Frank Hofmeyer
- Abb. 1.19: Entstehung der Querdisparität  
Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 193, eigene Bearbeitung
- Abb. 1.20: Das „visual cliff“ nach WALK und GIBSON (1961)  
Illustration: Frank Hofmeyer
- Abb. 1.21: Ein Zufallsmusterstereogramm nach B. JULESZ (1964)  
Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 199
- Tabelle 1.1: Effektive Distanzbereiche für monokularische Tiefenreiz  
Goldstein, E. Bruce 2008: Wahrnehmungspsychologie, S. 191, eigene Bearbeitung



## Literaturverzeichnis

- Alias Wavefront 2004: Learning Maya 6. MEL Fundamentals; a hands-on introduction to Maya Embedded Language. Toronto: Maya.
- Allen, Damian 2007: Encyclopedia of visual effects. Berkeley, Calif., London: Peachpit Press; Pearson Education.
- Bär, Gert 2001: Geometrie - Eine Einführung für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Teubner.
- Bähr, Achim 1993: Anaglyphen. In: 3D-Magazin 4, Haltern. Engl. Fassung: Anaglyphs. In: Stereoscopia Nr. 2/36, International Stereoscopic Union 1998.
- Barlow, H. B. & Blackmore C. & Pettigrew, J. D. 1967: The neural mechanism of binocular depth discrimination. In: J. Physiol 193, S.327-342
- Bartels, Heinz 1995: Physiologie. Lehrbuch und Atlas; 20 Tabellen. 5., überarb. Aufl. München, Wien, Baltimore: Urban und Schwarzenberg.
- Bender, Michael & Brill, Manfred 2006: Computergrafik. Ein anwendungsorientiertes Lehrbuch. 2., überarb. Aufl. München: Hanser.
- Benninghoff, Alfred 1994: Anatomie, Bd. 1: Zellenlehre und Gewebelehre, Entwicklungsbiologie, Bewegungsapparat, Herz-Kreislauf-System, Immunsystem, Atemapparat; 15., völlig neu bearb. Aufl. München: Urban & Schwarzenberg.
- Benninghoff, Alfred 1994: Anatomie, Bd. 2: Niere, Reproduktionsorgane, endokrine Drüsen, Nervensystem, Sinnesorgane, Haut. 15., völlig neu bearb. Aufl. München: Urban & Schwarzenberg.
- Bertram, Sacha 2005: VFX. Konstanz: UVK-Verl.-Ges. (Praxis Film, 22).
- Birbaumer, N. & Schmidt, R. F. 2006: Biologische Psychologie. 6. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg.
- Birn, Jeremy 2006: Digital lighting & rendering. 2. ed. Berkeley, Calif.: New Riders.
- Blake, R. & Hirsch, H. V. B. 1975: Deficits in binocular depth perception in cats after alternating monocular deprivation. In: Science 190, S. 1114-1116
- Bortz, Jürgen & Döring, Nicola 2006: Forschungsmethoden und Evaluation. Für Human- und Sozialwissenschaftler. 4., überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg.
- Bowers, Brian 1975: Sir Charles Wheatstone FRS, 1802-1875. Science Museum (Hg.). London: H.M.S.O.
- Bowers, Brian 2001: Sir Charles Wheatstone FRS. 1802-1875. 2. ed. London: IEE (IEE history of technology series, 29).
- Choi, Jae-jin 2004: Maya. Character animation, 2nd edition. Sophisticated modeling and animation techniques. 2nd ed. Alameda CA: SYBEX.
- Churchland, P. S. & Ramachandran, V. S. 1996: Filling in: Why Dennett is wrong. In K. Atkins (Hrsg.), Perception. Oxford, England: Oxford Press
- Cohen, Michael F. & Wallace, John R. 1993: Radiosity and Realistic Image Synthesis. Academic Press, 1993
- Crone, Robert A. 1992: The history of stereoscopy. In: Documenta Ophthalmologica 81. The official journal of the International Society for Clinical Electrophysiology of Vision, S. 1-16
- Cunningham, Andrew 1997: The anatomical renaissance. The resurrection of the anatomical projects of the ancients. Aldershot: Scolar Press [u.a.].
- Cutting, J.E. & Vishon, P.M. 1995: Perceiving layout and knowing distances: The integration, relative potency, and contextual use of different information about depth. In
- Epstein, W. & Rogers, S. (Hrsg.), Handbook of perception and cognition: Perception of space and motion, S.69-117. New York: Academic Press.
- Descartes, René 1637: Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences (dt: „Abhandlung über die Methode des richtigen Vernunftgebrauchs und der wissenschaftlichen Wahrheitsforschung“). Eine Übersetzung des Textes ist online verfügbar unter: <http://www.textlog.de/descartes-methode.html>, zuletzt geprüft am 01.04.2008.
- Driemeyer, Thomas & Herken, Rolf 2005: Rendering with mental ray, mental ray Handbooks Vol. 1. 3. völlig überarbeitete Ausgabe. Springer-Verlag. Wien, New York.
- Driemeyer, Thomas 2005: Programming mental ray. mental ray Handbooks, Vol. 2. 3. völlig überarbeitete Ausgabe. Springer-Verlag. Wien, New York.

- Epstein, William 1965: Nonrelational judgements of size and distance. In: *American Journal of Psychology* 78, S. 120-123
- Fahle, M. 1982: The apparent size of objects situated in front of or behind the horopter. In: Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology. Official organ of the Club Jules Gonin – Albrecht von Graefe's Archiv für klinische und experimentelle Ophthalmologie. Berlin, Heidelberg: Springer. Volume 225, Number 1 / Februar 1987.
- Faller, A. & Schünke, M. & Schünke, G. 1995: *Der Körper des Menschen. Einführung in Bau und Funktion*. 12. Aufl. Stuttgart: Thieme [u.a.]
- Fellner, Wolf-Dietrich 1988: *Computer-Grafik*. Mannheim: BI-Wissenschaftsverl. (Reihe Informatik, 58).
- Fleischer, F. P. & Ludwig, W. & Wartmann, R. 1952: *Der optimale Horopter*. In: *Pflügers Archiv*, Bd. 254, S. 377-392
- Fletcher, Nick 2007: *Highway*. Das JVC Kundenmagazin. Chefredakteur: Nick Fletcher. JVC Professional Europe Ltd. Ausgabe September 2007
- Foley, Jim & Dam, Andries van & Feiner, Steven & Hughes, John 1991: *Computer Graphics - Principles and Practice*. Addison-Wesley.
- Frank, Anja 2007: *Bachelor-Thesis: Stereoskopische High Definition Produktion*. Hochschule Furtwangen University, Fakultät Digitale Medien, Sommersemester 2007
- Fries, Christian 2002: *Mediengestaltung*. Hanser, Carl, GmbH & Co.
- Gauthier, Jean-Marc 2005: *Building interactive worlds in 3D. Virtual sets and pre-visualization for games, film, and the Web*. Amsterdam: Elsevier/Focal Press.
- Giesen, Rolf 2000: *Künstliche Welten. Tricks Special Effects und Computeranimation im Film von den Anfängen bis heute*; Orig.-Ausg. (2000). Hamburg, Wien: Europa-Verlag
- Giesen, Rolf 2003: *Lexikon des Trick- und Animationsfilms*. Von Aladdin, Akira und Sindbad bis zu Shrek, Spider-Man und South Park; Filme und Figuren, Serien und Künstler, Studios und Technik; die große Welt der animierten Filme; Zeichen-, Puppen-, Silhouetten- und Legetrick, Stop Motion, Mischfilme und 3D-Computeranimation. Berlin: Schwarzkopf & Schwarzkopf.
- Glassner, Andrew S. 1989: *An Introduction to Ray Tracing*. Academic Press.
- Goldstein, E. Bruce 2001: *Pictorial perception and art*. In Goldstein, E. B. (Hrsg.): *Blackwell handbook of perception*, S. 344-378. Oxford, UK: Blackwell.
- Goldstein, E. Bruce 2008: *Wahrnehmungspsychologie. Der Grundkurs*. 7. Aufl. Berlin, Heidelberg: Spektrum Akad. Verl.
- Harten, Ulrich 2007: *Physik. Einführung für Ingenieure und Naturwissenschaftler*. 3., bearb. und erw. Aufl. Berlin: Springer (Springer-Lehrbuch).
- Heine, L. 1935: *Anatomisch-physiologisch-pathologische Grundlagen der Stereoskopie*. In: *Naturwissenschaften*, Jg. 23, H. 51, S. 855-860.
- Hoffmann, Albrecht 1990: *Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie*. München: Deutsches Museum (Materialien für die betriebliche Ausbildung).
- Huygens, Christiaan 1667: *Deuxième complément de la Dioptrique*. In: *Oeuvres Complètes*, XIII/2. La Haye, Nijhoff, 1916.
- Julesz, Bela 1964: *Binocular depth perception without familiarity cues*. In: *Science* 145, S. 356-362
- Kaplan, G. 1969: *Kinetic disruption of optical texture: The perception of depth at an edge*. In: *Perception and Psychophysics* 6, S. 193-198
- Kepler, Johannes 1604: *Ad Vitellionem palapipomena, quibus astronomiae pars optica traditur*. In: *Johannes Kepler: Gesammelte Werke*, Ed. Walther von Dyck & Max Caspar, München, 1939
- Kidd, S.A. 2002: *The role of qualitative research in psychological journals*. In: *Psychological Methods*, 7, S. 126-138.
- Knoll, John 2005: *Star Wars. George Lucas und die Schöpfung seiner Welten*: Knesebeck.
- Küppers, Harald 2005: *Farbenlehre. Orig.-Ausg. Köln: DuMont (DuMont-Taschenbücher, 563 : DuMont-Schnellkurs)*.
- Kuhn, Gerhard 1999: *Stereo-Fotografie und Raumbild-Projektion. Theorie und Praxis, Geräte, Materialien*. Gilching: vfv.
- Kurzer, F. 2004: *The life and work of Charles Tomlinson FRS: A Career in Victorian Science and Technology*. In *NR 2004 Vol 58 S. 203-226*
- Laube, Helene 2007: *Vorwärts in die Vergangenheit*. In: *Financial Times Deutschland*, 27.03.2007. Verlag: Financial Times Deutschland GmbH & Co. KG
- Lejeune, A. 1948: *Euclide et Ptolemée. Deux stades de l'optique géométrique grecque*. Université de Louvain, Recueil de travaux d'histoire et de philologie, ser. 3, fasc. 31
- Lejeune, A. 1958: *Les recherches de Ptolemée sur la vision binoculaire*. In: *Janus* 1958, 47, S. 79-86
- Lippert, Herbert 1995: *Anatomie. Text und Atlas; deutsche und lateinische Bezeichnungen*. 6., überarb. u. erw. Aufl. München: Urban & Schwarzenberg.
- Lipton, Lenny 1982: *Foundations of the Stereoscopic Cinema. A Study in Depth*. Van Nostrand Reinhold Company. New York, Cincinnati, Toronto, London, Melbourne
- Mach, Rüdiger & Petschek, Peter 2006: *Visualisierung digitaler Gelände- und Landschaftsdaten*. Berlin: Springer.
- Mäusel, Rudolf 1992: *Repetitorium - Fernsehtechnik*. München: Rohde & Schwarz.
- Mamassian, P. & Knill, D. & Kersten, D. 1998: *The perception of cast shadows*. In: *Trends in Cognitive Sciences* 2, S. 288-295.
- Mahintorabi, Keywan 2003: *Maya. 3D-Grafik und 3D-Animation; Modellieren, Rendern, Animieren; Texturen, Materialien, Lichteffekte*. 1. Aufl. Bonn: mitp-Verl. (Grafik).

- Manthey, Dirk & Fiebig, Helmut 1998a: Making of ... wie ein Film entsteht. Band 1: Idee, Produktion, Drehbuch, Storyboard & Konzept, Regie, Kamera, Schauspieler, Kostüm & Design, Marketing. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt (Rororo, 60574 : Rororo-Sachbuch: Rororo Film + TV).
- Manthey, Dirk & Fiebig, Helmut 1998b: Making of ... wie ein Film entsteht. Band 2: Set-Team, Effekte & Tricks, Maske, Stop motion Animation, digitale Effekte, Schnitt, Ton & Musik, Synchronisation, Zukunft des Kinos. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt (Rororo Rororo-Sachbuch, 60575).
- Marchesi, Jost J. 2002: Photokollegium. Ein Selbstlehrgang über d. technischen Grundlagen der Photographie. 5. Auflage. Schaffhausen: Verl. Photographie (Band 1-6).
- McWade, John 2006: Our color wheel. In: Before & After magazine 45, S. 7. Online verfügbar unter: <http://www.bamagazine.com>, zuletzt geprüft am 10.12.2007.
- Mitchell, Rick 2004: The tragedy of 3-D cinema. In Film History: An International Journal, Vol. 16, No. 3, Pages 208-215
- Monaco, James 2007: Film verstehen. Kunst, Technik, Sprache, Geschichte und Theorie des Films und der Medien; mit einer Einführung in Multimedia. 9. Aufl., überarb. und erw. Neuausg. 2000. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt-Taschenbuch-Verl.
- Mon-William, M. & Tresilian, J. R. 1999: Some recent studies on the extraretinal contribution to distance perception. In: Perception 28, S. 167-181.
- Mulack, Thomas & Giesen, Rolf 2002: Special visual effects. Planung und Produktion. 1. Aufl. Gerlingen: Bleicher (Produktionspraxis, 10).
- Neumann, Thomas 1966: Sozialgeschichte der Photographie. Neuwied: Luchterhand (Soziologische Essays).
- Newhall, Beaumont 2005: Geschichte der Photographie. München: Schirmer Mosel.
- Nischwitz, Alfred & Haberäcker, Peter 2004: Masterkurs Computergrafik und Bildverarbeitung. Alles für Studium und Praxis - Bildverarbeitungswerkzeuge. 1. Aufl. Wiesbaden: Vieweg.
- Ooi, T. L. & Wu, B. & He, Z. J. 2001: Distance determined by the angular declination below the horizon. In: Natur 414, S. 197-200.
- Ottermann, Stephan 1980: Das Panorama. Die Geschichte eines Massenmediums. Frankfurt a.M.
- Patterson, D. A. & Gibson, G. & Katz, R. H. 1988: A Case for Redundant Arrays of Inexpensive Disks (RAID). University of California, Computer Science Division. Online verfügbar unter: <http://www.cs.cmu.edu/~garth/RAIDpaper/Patterson88.pdf>. Letzter Zugriff: 12.02.2008.
- Pietsch, Werner 1957: Die Praxis der Stereo-Nahaufnahmen. Wilhelm-Knapp-Verlag, Halle/Saale
- Poynton, Charles A. 2003: Digital Video and HDTV. Algorithms And Interfaces: Morgan Kaufmann Publishing.
- Radeck, Michael 2004: Artikel: Keying am AVID DS Nitris. In: Digital Production 04:04, ACT GmbH, München, S.156-157.
- Reimers, Ulrich 1997: Digitale Fernsehtechnik. Datenkompression und Übertragung für DVB: Springer-Verlag GmbH & Co. KG.
- Rohr, Moritz von 1923: Auswahl aus der Behandlung des Horopters bei Fr. Aguilonius um 1613. In: Zeitschrift für ophthalmologische Optik 11, S. 41-59
- Rollmann, Wilhelm 1853: Zwei neue stereoskopische Methoden. In: J. C. Poggendorff (Hrsg.), Annalen der Physik (und Chemie). Halle/Leipzig. S. 186f
- Sammons, Eddie 1992: The World of 3-D Movies. A Delphi Publication.
- Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie. Ein Lehrbuch. 2., überarb. Aufl. Weinheim: Beltz PVU.
- Schäffler, Arne 1996: Mensch, Körper, Krankheit. 2., überarb. und erw. Aufl., 2. kor. Nachdr. Neckarsulm: Jungjohann.
- Schmidt, R. F. & Lang, F. & Thews†, G. 2005: Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie. 29. vollständig neu bearbeitete und aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg (Springer-11777 /Dig. Serial)]).
- Schmidt, R. F. & Schaible, H.-G. & Birbaumer, N. 2006: Neuro- und Sinnesphysiologie. Mit 12 Tabellen. 5., neu bearb. Aufl. Heidelberg: Springer Medizin (Springer-Lehrbuch).
- Schmidt, Ulrich 2000: Professionelle Videotechnik. Analoge und digitale Grundlagen Signalformen Videoaufnahme Wiedergabe Speicherung Signalverarbeitung und Studiotchnik; mit 49 Tabellen. 2., aktualisierte und erw. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schönherr, Maximilian 2006: Maya 7. Die Referenz; über 1000 Befehle übersetzt, erklärt, illustriert. München: Addison-Wesley (dpi).
- Schubert, G. 1965: Visueller Cortex und Binocularsehen. In: Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology. Springer Berlin / Heidelberg. Volume 168, Number 5 / Oktober 1965, S. 431-437
- Schubert, G. 1967: Die Physiologie des Binocularsehens. In: Documenta ophthalmologica. The official journal of the International Society for Clinical Electrophysiology of Vision. Dordrecht, Dordrecht, The Hague: Springer; Kluwer Acad. Publ.; Junk. Volume 23, Number 1 / Dezember 1967 S. 1-17.
- Schwegler, Johann S. 1996: Der Mensch - Anatomie und Physiologie. Schritt für Schritt Zusammenhänge verstehen. Stuttgart: Thieme.
- Shaw, Jeffrey & Weibel, Peter 2003: Future cinema. The cinematic imaginary after film. Karlsruhe: ZKM (Electronic culture).
- Sillion, Francois X. & Puech, Claude 1994: Radiosity, Global Illumination. Morgan Kaufmann.
- Smith, Steve 2007: Perfect Color Keys: A Checklist, in Creative Cow Magazine. The Magazine for Media Professionals Working in Video, Film, Audio, Motion Graphics, Imaging & Design (May/June 2007). Publishers: Ron & Kathryn Lindeboom. A creativecow.net Publication.

- Steinhäuser A. 1889: Jahrbuch für Photographie und Reproduktionstechnik (1887-1914). Eder J. M. (Hrsg.) Halle, S. Stephan, Volker 2008: Bachelor-Thesis: Konzeption und Implementierung eines praxisorientierten, stereoskopischen HD-Produktionssystems. Hochschule Furtwangen University, Fakultät Digitale Medien, Wintersemester 2007/2008
- Storch, V. & Welsch, U. & Wink, M. & Arendt, D. 2007: Evolutionsbiologie. 2., vollst. überarb. und erw. Aufl. Berlin: Springer (Springer-Lehrbuch). Taylor J. 1750: Mechanismus des menschlichen Auges. Frankfurt
- Thissen, Frank 2000: Screen-Design-Handbuch. Effektiv informieren und kommunizieren mit Multimedia. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Tillmanns, Urs 1991: Foto Lexikon. 1367 Fachbegriffe: Photographie. Tresilian, J. R. & Mon-Williams, M. & Kelly, B. 1999: Increasing confidence in vergence as a cue to distance. in: Proceedings of the Royal Society of London, 266B, S. 39-44.
- Trevor-Roper, Patrick 1989: Chevalier Taylor – Ophthalmiater Royal (1703–1772). In: Documenta Ophthalmologica, Volume 71, Number 2 / Februar 1989, S. 113-122
- Uka, T. & DeAngelis, G. C. 2003: Contribution of middle temporal area to coarse depth discrimination: Comparison of neuronal and psycho-physical sensitivity. In: Journal of Neuroscience 23, S. 3515-3530
- Wade, Nicholas J. 2005: Perception and Illusion. Historical Perspectives. Boston, MA: Springer Science + Business Media Inc.
- Walk, Richard D. & Gibson, Eleanor J. 1961: A comparative and analytical study of visual depth perception. In: Washington: American Psychological Ass. (Psychological monographs 519, S. 75
- Wheatstone, Charles 1838: Contributions to the Physiology of Vision. Part the First. On some remarkable, and hitherto unobserved, Phenomena of Binocular Vision. In: Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Vol. 128, S. 371 - 394. Online verfügbar unter <http://www.stereoscopy.com/library/wheatstone-paper1838.html>, zuletzt geprüft am 02.04.2008
- Wheatstone, Charles 1879: The scientific papers of Sir Charles Wheatstone. Published by The Physical Society of London. London: Taylor and Francis.
- Wheatstone, Charles 2007: The Scientific Papers of Sir Charles Wheatstone: Kessinger Publishing.
- Wurtz, R. H. & Kandel, E. R. 2000: Perception of motion, depth, and form. In: Principles of neuronal science. New York: McGraw-Hill, S. 548-570 2. Internet 3-D Review 2008: The online magazine of stereoscopic product reviews and information. Online verfügbar unter: <http://www.3-dreview.com/>, zuletzt geprüft am 05.05.2008.
- 3-D Revolution Productions 2007. Firmenhomepage. Perspective on 3-D Movie Making. Online verfügbar unter: <http://www.the3drevolution.com/3danatomy.html/>, zuletzt geprüft am 20.05.2008.
- Adobe 2008a: Firmenprofil. Online verfügbar unter: <http://www.adobe.com/de/aboutadobe/>, zuletzt geprüft am 27.04.2008.
- Adobe 2008b: Features von After Effects. Online verfügbar unter: <http://www.adobe.com/de/products/aftereffects/features/>, zuletzt geprüft am 27.04.2008.
- Bahr, Achim 1993: Anaglyphen. Online verfügbar unter <http://www.3dwebsite.de/de/assets/downloads/anaglyphen.pdf>, zuletzt geprüft am 10.04.2008
- BARCO Simulation Products 2002: Stereoscopic Projection. 3D Projection Technologie. Online verfügbar unter: [http://www.barco.com/projection\\_systems/downloads/Barco\\_stereoscopic\\_proj.pdf](http://www.barco.com/projection_systems/downloads/Barco_stereoscopic_proj.pdf), zuletzt geprüft am 02.04.2008.
- Bauhaus 2008: bauhaus – archiv museum für gestaltung. Online verfügbar unter: [http://www.bauhaus.de/bauhaus1919/biographien/druck\\_iten.htm](http://www.bauhaus.de/bauhaus1919/biographien/druck_iten.htm), zuletzt geprüft am 26.02.2008.
- BFS 2008: Bundesverband Filmschnitt Editor e. V. (2008): BFS-Filmeditor. Online verfügbar unter <http://www.bfs-cutter.de/>, zuletzt aktualisiert am 30.01.2008, zuletzt geprüft am 25.02.2008.
- Biesterfeld, Lutz 2008: Förderverein für Kaiser-Panoramen e. V. Online verfügbar unter <http://www.kaiser-panorama.de>, zuletzt geprüft am 07.04.2008.
- CIE 2007: Commission Internationale de l'Éclairage. Online verfügbar unter: [http://www.cie.co.at/index\\_ie.html](http://www.cie.co.at/index_ie.html), zuletzt aktualisiert am 07.01.2008, zuletzt geprüft am 06.03.2008.
- Codex Digital 2008: Firmenhomepage. High Resolution Medie Systems. Online verfügbar unter: <http://www.codexdigital.com/index.php>, zuletzt geprüft am 20.05.2008.
- Cohen, David S. 2008: James Cameron supercharges 3-D. In: Variety. Online verfügbar unter: <http://www.variety.com/VR1117983864.html>, zuletzt geprüft am 10.05.2008.
- Cohen, Karl 2000: Milestones Of The Animation Industry In The 20th Century. ANIMATION WORLD MAGAZINE. Online verfügbar unter: <http://www.awn.com/mag/issue4.10/4.10pages/cohenmilestones.php3>, zuletzt geprüft am 21.02.2008.
- Flat Black Films 2005: Rotoshop. Online verfügbar unter: <http://www.flatblackfilms.com/Rotoshop.html>, zuletzt aktualisiert am 12.10.2005, zuletzt geprüft am 22.02.2008.
- Fleischer, Max 1917: Patent US1242674. Online verfügbar unter: <http://www.freepatentsonline.com/1242674.pdf>, zuletzt geprüft am 04.03.2008.
- FMX 2008: Homepage der fmx/08: 13th International Conference on Animation, Effects, Games and Digital Media. May 05-08, 2008 in Stuttgart. Online verfügbar unter: [www.fmx.de](http://www.fmx.de), zuletzt geprüft am 11.05.2008.
- Garber, Daniel 2003: Routledge Encyclopedia of Philosophy Online: Descartes, René (1596–1650). Online verfügbar unter: <http://www.rep.routledge.com/article/DA026>, zuletzt geprüft am 01.04.2008.
- Gebhard, C. & Voigt-Müller, G. 2008a: Chancen fürs Kino: 3D. Online verfügbar unter: [http://www.film-tv-video.de/newsdetail.html?&no\\_cache=1&uid=37252&L=](http://www.film-tv-video.de/newsdetail.html?&no_cache=1&uid=37252&L=), zuletzt geprüft am 05.05.2008.
- Gebhard, C. & Voigt-Müller, G. 2008b: NAB2008-Trend: Stereo-3D. Online verfügbar unter: <http://www.film-tv-video>.

de/newsdetail.html?&no\_cache=1&uid=37220&L=, zuletzt geprüft am 05.05.2008.

- Gebhard, C. & Voigt-Müller, G. 2008c: NAB2008-Trend: Überall Flash-Speicher. Online verfügbar unter: [http://www.film-tv-video.de/newsdetail.html?&no\\_cache=1&uid=37219&L=](http://www.film-tv-video.de/newsdetail.html?&no_cache=1&uid=37219&L=), zuletzt geprüft am 20.05.2008.
- Gebhard, C. & Voigt-Müller, G. 2008d: NAB2008: Portable 4K-Recorder von Codex. Online verfügbar unter: [http://www.film-tv-video.de/newsdetail.html?&no\\_cache=1&uid=37276&L=](http://www.film-tv-video.de/newsdetail.html?&no_cache=1&uid=37276&L=), zuletzt geprüft am 20.05.2008.
- Hagler, Jürgen 2007: Jürgen Hagler: Digital Film for Artists. Geschichte der Animation - Die wichtigsten Entwicklungsschritte ab 1900. Kunstuniversität Linz. Online verfügbar unter: <http://www.dma.ufg.ac.at/app/link/Grundlagen:3D-Grafik/module/14100;sessionId=91706A9D2B0420CD49503394E6A904DA>, zuletzt geprüft am 21.02.2008.
- HDV 2007: HDV Format Main Specifications (Ver. 1.0). Online verfügbar auf der HDV Information Web Site unter: <http://www.hdv-info.org/HDVSpecifications.pdf>. Letzter Zugriff: 13.02.2008. Auf der beigelegten CD enthalten.
- Jackél, D. 2003: Stereodisplays & autostereoskopische Displays. Lehrmaterial zum Vortragseminar Visuelle Wahrnehmung und 3D-Displays am Lehrstuhl für Visual Computing und Computergraphik der Universität Rostock. Online verfügbar unter: [www.wieg.informatik.uni-rostock.de/Lehre/HCG/scripte0304/04\\_3DDisplays.pdf](http://www.wieg.informatik.uni-rostock.de/Lehre/HCG/scripte0304/04_3DDisplays.pdf), zuletzt geprüft am 28.02.2008.
- Kirsner, Scott 2008: Tech Impact Report. James Cameron, Filmmaker. In: Variety. Online verfügbar unter: <http://www.variety.com/article/VR1117978512.html?categoryid=2438&cs=1>, zuletzt geprüft am 10.05.2008.
- Küppers, Harald 2001: Küppers-Farbenlehre: Biographie H.K. Online verfügbar unter: <http://www.ipsi.fraunhofer.de/Kueppersfarbe/de/kueppers.html>, zuletzt aktualisiert am 2001, zuletzt geprüft am 26.02.2008.
- Kunz, Thomas B. 2007: TBK: Anaglyphen-Stereoskopien & Kaiserpanorama. Online verfügbar unter: <http://www.tbk.de/3dstereo/>, zuletzt geprüft am 20.02.2008.
- Lataille, Roland 2008: Cinerama. Online verfügbar unter: <http://cinerama.topcities.com/>, zuletzt geprüft am 06.05.2008.
- Lipton, Lenny 2007: Vertical Surround Parallax Correction. Online verfügbar unter: [http://www.reald-corporate.com/\\_resources/vertical.pdf](http://www.reald-corporate.com/_resources/vertical.pdf), zuletzt geprüft am 12.05.2008.
- Markstein, Don 2008a: Max Fleischer Studio - Don Markstein's Toonopedia. Online verfügbar unter: <http://www.toonopedia.com/fleischr.htm>, zuletzt geprüft am 21.02.2008.
- Markstein, Don 2008b: Glossary - Don Markstein's Toonopedia. Online verfügbar unter: <http://www.toonopedia.com/glossary.htm#rotoscope>, zuletzt geprüft am 21.02.2008.
- Matteworld 2008a: Effects For Film. Online verfügbar unter: <http://www.matteworld.com/film/index.html>, zuletzt geprüft am 20.02.2008.
- Matteworld 2008b: Company Info. Online verfügbar unter: <http://www.matteworld.com/info/>, zuletzt geprüft am 20.02.2008.
- Mediaprofis 2008: HD - Die neue Dimension des Film(en)s. Online verfügbar unter: <http://www.mediaprofis.net/content/view/132/49/>, zuletzt geprüft am 13.02.2008.
- Müller, Christine Xuán 2006: 5D-Kino: Das große Krabbeln. Online verfügbar unter: <http://www.spiegel.de/kultur/kino/0,1518,396407,00.html>, zuletzt geprüft am 20.05.2008.
- Näther, Markus 2008: 3D: Kino zum Anfassen. Online verfügbar unter: [http://www.film-tv-video.de/newsdetail.html?&no\\_cache=1&uid=37097&L=](http://www.film-tv-video.de/newsdetail.html?&no_cache=1&uid=37097&L=), zuletzt geprüft am 05.05.2008.
- Pastoor, Siegmund & Wöpking, Matthias 2002: 3-D Displays: A review of current technologies. Online verfügbar unter: <http://www.dgp.toronto.edu/~gf/Research/Volumetric%20UI/3-D%20Displays%20A%20review%20of%20current%20technologies.htm>, zuletzt geprüft am 10.04.2008.
- Planck, Max 2008: Max Planck Institute for the History of Science, Berlin: The Virtual Laboratory Essays and Resources on the Experimentalization of Life VL People. Online verfügbar unter: <http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/people/data?id=per90>, zuletzt geprüft am 26.02.2008.
- Poch, Bernd 1999: Das Kaiserpanorama. Das Medium, seine Vorgänger und seine Verbreitung in Nordwestdeutschland. Online verfügbar unter: <http://www.uni-oldenburg.de/kunst/mediengeschichte/kaiserpanorama/emden/emden.htm>
- PresseBox 2003: DVC stellt Baytechs CineRAM erstmalig auf dem Open-House Event vom 8. - 9. Juli 2003 vor. Huber Verlag für Neue Medien GmbH. Online verfügbar unter: <http://www.pressebox.de/pressemeldungen/dvc-digitalvideo-computing-gmbh/boxid-8415.html>, zuletzt geprüft am 18.02.2008.
- Quantel 2008a: Firmenhomepage. Online verfügbar unter: <http://www.quantel.com/>, zuletzt geprüft am 05.05.2008.
- Quantel 2008b: Stereoscopic 3D. Add a new dimension to your business. Online verfügbar unter: [http://www.quantel.com/resource.nsf/Files/Stereoscopic\\_3D\\_nab08/\\$FILE/Stereoscopic\\_3D\\_nab08.pdf](http://www.quantel.com/resource.nsf/Files/Stereoscopic_3D_nab08/$FILE/Stereoscopic_3D_nab08.pdf), zuletzt geprüft am 05.05.2008.
- Radeck, Michael 2003: Radeck, Michael: Biografie. Online verfügbar unter: <http://www.michael-radeck.de/biografie.html>. Zuletzt aktualisiert am 09. Juli 2003, zuletzt geprüft am 25.02.2008
- Sabiston, Bob 2001: Bob Sabiston: G4 - Feature - Rotoshop Animation. Online verfügbar unter: [http://www.g4tv.com/techtvvaull/features/23423/Rotoshop\\_Animation\\_pg2.html](http://www.g4tv.com/techtvvaull/features/23423/Rotoshop_Animation_pg2.html), zuletzt aktualisiert am 16. October 2001, zuletzt geprüft am 22.02.2008.
- SabuCat Productions 2006: 2006 World 3-D Film Festival. Online verfügbar unter: <http://www.3dfilmfest.com/>, zuletzt geprüft am 05.05.2008.
- Screen Digest 2008: Firmenhomepage der Analysefirma. Online verfügbar unter: <http://www.screendigest.com/>, zuletzt geprüft am 05.05.2008.
- Senf, Erhard 2007: Das Kaiser-Panorama. Was ist das? Online verfügbar unter: <http://www.tbk.de/3dstereo/kvpskp.htm>, zuletzt geprüft am 02.04.2008
- Storz Eventfabrik GmbH 2005: Prime Cinema 5D. Online verfügbar unter: <http://www.5dkino.at/index.php>, zuletzt geprüft am 02.06.2008

- Texas Instruments 2008: How DLP technology works. Online verfügbar unter: <http://www.dlp.com/tech/what.aspx>, zuletzt geprüft am 10.05.2008
- The Foundry Visionmongers Ltd. 2008: Homepage der Entwicklerfirma für hochspezialisierte Visual Effects Software. Online verfügbar unter: <http://www.thefoundry.co.uk/index.aspx>, zuletzt geprüft am 24.04.2008
- Tridality Display Solutions GmbH 2008: Firmenhomepage. Online verfügbar unter: <http://www.tridality.de>, zuletzt geprüft am 05.05.2008
- Turner, Henry 2008: Hollywood rediscovers 3-D technology. In: Variety. Online verfügbar unter: <http://www.variety.com/article/VR1117973878.html?categoryid=2731&cs=1&nid=2562>, zuletzt geprüft am 10.05.2008.
- Wacom Co. Ltd. 2008: Hersteller von Grafiktablets mit druckempfindlichen Stift ohne Batterie und Kabel. Die Firmenhomepage ist online verfügbar unter: <http://www.wacomeurope.com>, zuletzt geprüft am 25.04.2008
- Warner 2008: Warner Independent Pictures' A Scanner Darkly -- The Official Film site. Online verfügbar unter <http://wip.warnerbros.com/ascanndarkly/>, zuletzt geprüft am 22.02.2008
- Wettmann, Hartmut; Berlin 2007: Stereoskopiegeschichte. Online verfügbar unter <http://fotoplatz.stereographie.de/stereskopie/>, zuletzt aktualisiert am 06.10.2007, zuletzt geprüft am 06.04.2008.
- Wheatstone, Charles 1838: The Library: Wheatstone Paper 1838. Contributions to the Physiology of Vision. Part the First. On some remarkable, and hitherto unobserved, Phenomena of Binocular Vision. Online verfügbar unter: <http://www.stereoscopy.com/library/wheatstone-paper1838.html>, zuletzt geprüft am 02.04.2008
- Wikipedia 2007: Artikel Bob Sabiston. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Bearbeitungsstand: 30. November 2007. Retrieved 13:00, February 22, 2008, from [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Bob\\_Sabiston&oldid=174867309](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Bob_Sabiston&oldid=174867309)
- Wikipedia 2008a: Artikel RAID. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 6. Februar 2008, 15:19 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=RAID&oldid=42169091> (Abgerufen: 13. Februar 2008, 12:43 UTC)
- Wikipedia 2008b: Artikel HDCAM. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 16. Februar 2008, 17:57 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=HDCAM&oldid=42596265> (Abgerufen: 18. Februar 2008, 13:37 UTC)
- Wikipedia 2008c: Artikel Max Fleischer. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 2. Februar 2008, 09:41 UTC. URL: [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Max\\_Fleischer&oldid=41954368](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Max_Fleischer&oldid=41954368) (Abgerufen: 21. Februar 2008, 14:30 UTC)
- Wikipedia 2008d: Artikel Rotoskopie. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 24. Januar 2008, 07:15 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Rotoskopie&oldid=41570494> (Abgerufen: 21. Februar 2008, 15:06 UTC)
- Wikipedia 2008e: Artikel A Scanner Darkly – Der dunkle Schirm. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 9. Februar 2008, 11:13 UTC. URL: [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=A\\_Scanner\\_Darkly\\_%E2%80%93\\_Der\\_dunkle\\_Schirm&oldid=42285496](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=A_Scanner_Darkly_%E2%80%93_Der_dunkle_Schirm&oldid=42285496) (Abgerufen: 22. Februar 2008, 12:57 UTC)
- Wikipedia 2008f: Artikel Rotoshop. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Bearbeitungsstand: 22. Januar 2008. URL: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Rotoshop&oldid=186115694> (Abgerufen: 22. Februar 2008, 13:05 UTC)
- Wikipedia 2008g: Artikel Laurens Hammond. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Bearbeitungsstand: March 22, 2008. Online verfügbar unter: [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Laurens\\_Hammond&oldid=200170853](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Laurens_Hammond&oldid=200170853), zuletzt geprüft am 05.05.2008.
- Wikipedia 2008h: Artikel Bwana Devil. Wikipedia, The Free Encyclopedia. Bearbeitungsstand: April 29, 2008, 14:22 UTC. Available at: [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Bwana\\_Devil&oldid=208999471](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Bwana_Devil&oldid=208999471), zuletzt geprüft am 06.05.2008.
- Wimmer, Peter 2008: Homepage von 3dvt.at, Entwicklerfirma des Stereoscopic Players. Online verfügbar unter: <http://www.3dvt.at>, zuletzt geprüft am 06.04.2008.
- Wittkowsky, Wilfried 2003: Der 3D-Film. Spielfilme. Online verfügbar unter: <http://www.wittkowsky.net/3d-film/spiel.htm>, zuletzt geprüft am 06.05.2008.
- Woods, Andrew 2008: The virtual library of the Stereoscopic Displays and Applications conference website. Online verfügbar unter: <http://www.stereoscopic.org/>, zuletzt geprüft am 06.05.2008
- Woods, Andrew J. & Rourke, Tegan 2004: Ghosting in Anaglyphic Stereoscopic Images. In: Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XI, Proceedings of SPIE-IS&T Electronic Imaging, SPIE Vol. 5291, San Jose, California. Online verfügbar unter: <http://www.cmsst.curtin.edu.au/publicat/2004-08.pdf>, zuletzt geprüft am 05.04.2008
- Yahoo Groups 2008: Group 3D Video. Online verfügbar unter: <http://de.groups.yahoo.com/group/3d-video/>, zuletzt geprüft am 15.05.2008
- Adam, Hans Christian 2007: PhotoLit. An international databank which aims to list photographic literature published since 1839. Online verfügbar unter: <http://www.schaden.com/photolit/index.html>, zuletzt geprüft am 07.04.2008.
- Bahr, Achim 2008: Stereoskopie und Visualisierung. Online verfügbar unter: <http://www.3dwebsite.de>, zuletzt geprüft am 10.04.2008
- Bungert, Christoph 2005: The independent 3D and Virtual Reality resource. Online verfügbar unter: <http://www.stereo3d.com/>, zuletzt geprüft am 05.05.2008
- EEFX 2006: Firmenhomepage. Chroma Key products for the visual effects industry. Online verfügbar unter: <http://www.eefx.com/>, zuletzt geprüft am 01.05.2008
- Gavrilov, Kirill 2008: Entwicklerseite von sView, einem stereoskopischen Bildbetrachter. Online verfügbar unter: <http://www.sview.ru/en/sview/info>, zuletzt geprüft am 29.04.2008
- Herbig, Gerhard P. 2005: Technische Grundlagen zur Stereofotografie. Online verfügbar unter: <http://www.herbig-3d.de>, zuletzt geprüft am 06.04.2008

- Kiss, Oliver 2006: Tutorial zum Erstellen von 3D-Bildern. Online verfügbar unter: [http://www.hyperstream.de/index.php?option=com\\_content&task=view&id=6&Itemid=5/](http://www.hyperstream.de/index.php?option=com_content&task=view&id=6&Itemid=5/) zuletzt geprüft am 14.04.2008
- Köhler, André 2008: Die Erzeugung des Wheatstoneschen Stereoeffektes und Stereofotografie. Online verfügbar unter: <http://www.koehlerandre.hosting-le.de/ste/ste02.html>, zuletzt geprüft am 02.04.2008
- KUK Filmproduktion 2006: 3D- Film Produktion. Online verfügbar unter: <http://www.kuk-film.de/html/start.html>, zuletzt geprüft am 07.05.2008.
- Lottenburger, Helmut 2007: Private Seite zum Thema Chromakeying. Online verfügbar unter: <http://www.chromakeying.com/>, zuletzt geprüft am 15.05.2008.
- Markus Schaden 2008: Buchhandlung für fotografische Fachpublikationen. Online verfügbar unter: <http://www.schaden.com/index.php>, zuletzt geprüft am 07.04.2008.
- NASA 2008: STEREO (Solar TERrestrial RELations Observatory). Online verfügbar unter: [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/sterEO/main/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/sterEO/main/index.html), zuletzt geprüft am 10.05.2008
- Planding, Wolfgang 2002: Stereoskopische Mondbilder. Online verfügbar unter: <http://www.monatlas.de/stereoskopie/stereoskopie.html>, zuletzt geprüft am 06.05.2008
- Real D 2007: Firmenhomepage des Anbieters von Stereo-3D-Kinoprojektoren. Online verfügbar unter: <http://www.reald-corporate.com/>, zuletzt geprüft am 09.05.2008
- Schneider, A. & Brugger, J. & Beyer, P. 2006: Analyse von 3D Stereo Rendering und Motion-Tracking. Online verfügbar unter: <http://projects.cynapses.org/StereoRender/paper.pdf>, zuletzt geprüft am 09.04.2008
- Schulte, Dieter 2007: Lexikon der Stereoskopie. Online verfügbar unter: [http://www.stereoskopie.com/Lexikon\\_der\\_Stereoskopie/body\\_lexikon\\_der\\_stereoskopie.html](http://www.stereoskopie.com/Lexikon_der_Stereoskopie/body_lexikon_der_stereoskopie.html), zuletzt aktualisiert am 07.08.2007, zuletzt geprüft am 06.04.2008.
- Schulte, Dieter 2008: Virtuelles Museum für Stereofotografie und Stereoskopie. Größte deutsche Website für Stereoskopie mit über 900 Seiten und ca. 6000 Abbildungen. Online verfügbar unter: <http://www.stereoskopie.com/>, zuletzt geprüft am 10.04.2008.
- Shelly, Dan 2006: Homepage mit über 600 Links zur Stereoskopie. Online verfügbar unter: <http://www.dddesign.com/3dbydan/default.htm>, zuletzt geprüft am 09.05.2008
- Starosta, Boris 2005: Stereoscopic Art & 3-D Photography. Online verfügbar unter: <http://www.starosta.com>, zuletzt geprüft am 06.04.2008
- Thies, Heiko 2008: Amateurfilme und visuelle Effekte. Online verfügbar unter: <http://www.hethfilms.de/?show=videos>, zuletzt geprüft am 16.05.2008
- Wilson, Terry 2008: Stereo Artist. Online verfügbar unter: <http://www.terryfic3d.com>, zuletzt geprüft am 06.04.2008.
- Wimmer, Peter 2002: Technik stereoskopischer Videos. Online verfügbar unter: <http://pwimmer.gmxhome.de/LoadFrames.html?/3D/3DVideoTechnique.html>, zuletzt geprüft am 20.04.2008
- Wirths, Karsten 2002: Stereofotografie gestern und heute. Online verfügbar unter: <http://www.stereoblick.de/>, zuletzt geprüft am 05.05.2008
- Wittkowsky, Wilfried: Der 3D-Film. Online verfügbar unter: <http://www.wittkowsky.net/3d-film/index.htm>, zuletzt geprüft am 05.05.2008
- Zang, Christoph 2005: Facharbeit: Stereoskopie. Online verfügbar unter: <http://www.christoph-zang.de/Facharbeit.32.0.html>, zuletzt geprüft am 02.04.2008
- Ziegler, Christian 1999: Facharbeit aus dem Fach Physik: Stereofotografie. Online verfügbar unter: <http://www.fkg-wuerzburg.de/schule/faecher/physik/facharb/zieglchr/stereo.php>, zuletzt geprüft am 02.04.2008



FRANK HOFMEYER

## Grundlagen der stereoskopischen Theorie

Stereoskopie (von gr. stereo: räumlich und skopein: sehen) ist ein aus dem Altgriechischen entlehnter Begriff und bedeutet wörtlich *Raumsicht*. Er bezeichnet „die Gesamtheit aller Verfahren und Techniken zur raumgetreuen, dreidimensionalen Bildwiedergabe.“<sup>1</sup> Das folgende Kapitel rekapituliert die Entwicklung und die aktuelle Bedeutung der technischen Stereoskopie und beantwortet die Frage, auf welchen theoretischen Grundlagen die verschiedenen stereoskopischen Wiedergabeverfahren beruhen.

### 1 Entwicklung der Stereoskopie

Ein eigener Abschnitt über die Geschichte und die Entwicklung der Stereoskopie mag dem Leser angesichts der Tatsache, dass dieser Aspekt bereits in vielen Publikationen aufgegriffen worden ist, zunächst obsolet erscheinen. Ich möchte aber an dieser Stelle ausdrücklich auf die Unvollständigkeit vieler Arbeiten hinweisen, die die Erforschung der stereoskopischen Wahrnehmung oft ausschließlich dem britischen Physiker C. WHEATSTONE (1802-1875) zuschreiben. Dies ist jedoch nicht zutreffend, da die Grundlagen für WHEATSTONEs stereoskopische Theorie schon fast 1700 Jahre vor dessen Geburt erkannt wurden!

---

<sup>1</sup> Hoffmann, Albrecht 1990: Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie, S. 7.

Die Entwicklungsgeschichte der binokularen Tiefenwahrnehmung ist dabei durchaus nicht linear verlaufen, sondern weist viele bemerkenswerte Stagnationen auf. Während das Voranschreiten der Erkenntnisse seit dem Zeitalter der wissenschaftlichen Revolution recht genau bekannt ist, blieben frühere Erkenntnisse von vielen Autoren unbeachtet.

Bereits GALENOS VON PERGAMON (129-179), ein griechischer Arzt und Anatom, machte sich Gedanken darüber, wie mit zwei Augen ein einzelnes Gesamtbild der Umgebung wahrgenommen werden kann. Er vermutete damals eine Bildfusion in der Sehnervenkreuzung und erkannte, dass nahe Objekte auf zwei unterschiedliche Stellen des Augenhintergrunds abgebildet werden, stellte aber noch keinen Zusammenhang von Tiefenwahrnehmung und binokularem Sehen her.<sup>2</sup>

Der vermutlich erste Mensch, der das binokulare Sehen gründlich erforschte war CLAUDIUS PTOLEMAEUS (ca. 84-161), ein griechischer Mathematiker und Astronom. Obwohl er sich nicht primär mit der Tiefenwahrnehmung an sich beschäftigte, dokumentierte er in seinen Niederschriften zur Optik<sup>3</sup> bereits mehrere bedeutende physiologische Grundkonzepte zur Erfassung der räumlichen Tiefe.

Aufgrund seiner Forschungsergebnisse bezüglich der Diplopie und der Winkel korrespondierender Abbildungen, hat er die mathematische Basis für den geometrischen Horopter geschaffen. Darüber hinaus erkannte er das Prinzip des gekreuzten und ungekreuzten Doppelsehens. Wäre ihm bewusst gewesen, dass dieses Prinzip - welches heute als Querdisparität bekannt ist - bereits binokulare Tiefeninformationen liefert, bevor es zum tatsächlichen Doppelsehen kommt, hätte ihm dies die Formulierung einer adäquaten, stereoskopischen Theorie fast 1700 Jahre vor WHEATSTONE ermöglicht.<sup>4</sup>

ABU ALI AL-HASAN IBN AL-HAITHAM (ca. 965-1039), ein bedeutender muslimischer Mathematiker, Optiker und Astronom, baute auf PTOLEMAEUS' Überlegungen auf und erweiterte sie um Erkenntnisse über den anatomischen Aufbau der Augen. Er war wohl der Erste, der eine Idee von korrespondierenden Gewebestrukturen im Auge selbst verfolgte. Darüber hinaus beschrieb er die bis heute noch gültigen monokularen Tiefenreize der atmosphärische Perspektive, der vertrauten Größe und der Bewegungsparallaxe und erkannte außerdem die Bedeutung der spürbaren Augenkonvergenz für die Wahrnehmung von räumlicher Tiefe - ein Ansatzpunkt, der über 500 Jahre später von KEPLER weiterverfolgt wurde.<sup>5</sup>

---

2 Vgl. Crone, Robert A. 1992: The history of stereoscopy, S. 1.

3 Vgl. Lejeune, A. 1948: Euclide et Ptolémée. Deux stades de l'optique géométrique grecque; Lejeune, A. 1958: Les recherches de Ptolémée sur la vision binoculaire.

4 Vgl. Crone, Robert A. 1992: The history of stereoscopy, S. 3.

5 Vgl. Crone, Robert A. 1992: The history of stereoscopy, S. 4.

FRANCISCUS AGUILONIUS (1567-1617), ein belgischer Mathematiker und Physiker, gilt nach wie vor als ein bedeutender Pionier bei der Erforschung des binokularen Sehens. In seinen 1613 erschienenen sechs Büchern über Optik<sup>6</sup> veröffentlicht er eine der ersten geometrischen Darstellungen des binokularen Sehens. Er kannte jedoch nicht den Aufbau und die Funktion der Netzhaut und ging deshalb davon aus, dass die visuelle Wahrnehmung in der Linse stattfinden würde.

AGUILONIUS diskutierte darüber hinaus die Akkomodation im Kontext der Tiefenwahrnehmung<sup>7</sup> und führte erstmals den Begriff des *Horoopters* für eine Fixierungsebene ein, auf der alle Sehstrahlen enden. Er zweifelte jedoch die zugrunde liegenden Theorien von PTOLEMAEUS an.<sup>8</sup> Abbildung 2.1 zeigt eine Zeichnung von Aguilonius aus dem Jahr 1613, die einen theoretischen Horopters darstellt. Die Augen A und B fixieren Punkt C. Die Blickachsen AD und BD korrespondieren aufgrund der identischen Winkel gegen die Blickachsen AC und BC.

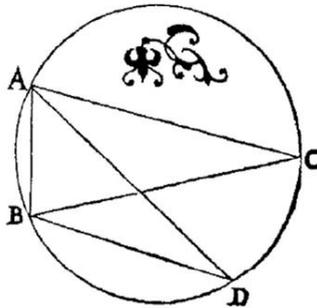


Abb. 2.1: Zeichnung eines Horopters von Aguilonius, 1603

Leider erkannte auch AGUILONIUS nicht die Bedeutung von Disparität und Konvergenz für die Wahrnehmung der räumlichen Tiefe - er vermutete vielmehr, dass die Länge eines Sichtstahls aus einem Auge vom anderen Auge berechnet werden konnte.<sup>9</sup>

JOHANNES KEPLER (1571-1630), ein deutscher Naturphilosoph, kaiserlicher Mathematiker und Astronom, belegte in seinem 1604 erschienenen Buch<sup>10</sup>, dass die gesamte sichtbare Umwelt flach und invertiert auf der Netzhaut abgebildet wird.<sup>11</sup> Dieses Erkenntnis erschwerte die Formulierung einer Theorie zur Tiefenwahrnehmung beträchtlich, da es zum damaligen Zeitpunkt unmöglich erschien, dass aus zweidimen-

6 Opticorum Libri Sex Philosophis iuxta Ac Mathematicis Utiles, erschienen 1613 in Antwerpen, illustriert von Aguilonius' Freund Peter Paul Rubens.

7 Wade, Nicholas J. 2005: Perception and Illusion. Historical Perspectives, S.84.

8 Vgl. Rohr, Moritz von 1923: Auswahl aus der Behandlung des Horopters bei Fr. Aguilonius um 1613.

9 Vgl. Crone, Robert A. 1992: The history of stereoscopy, S. 4-6.

10 Kepler, Johannes 1604: Ad Vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur.

11 Wade, Nicholas J. 2005: Perception and Illusion. Historical Perspectives, S.76.

sionalen Bildern Informationen über die räumliche Tiefe gewonnen werden können. Obwohl KEPLER unzweifelhaft wusste, dass die beiden retinalen Abbildungen nicht vollkommen identisch sind, hielt er es offensichtlich für ausgesprochen unwahrscheinlich, dass diese Bilddifferenzen vom Menschen erkannt und zur Tiefenwahrnehmung genutzt werden könnten. Diese Vermutung wurde von VESALIUS<sup>12</sup> gestützt, der in seinen anatomischen Schriften beschrieb, dass die Sehnerven sich nur annähern aber nicht berühren würden.

Als Erklärung für die Tiefenwahrnehmung führte KEPLER, wie schon ABU ALI ALHASAN IBN AL-HAITHAM 500 Jahre vor ihm, die Erfassung der Augenkonvergenz an.<sup>13</sup>

Die Hypothese der Tiefenwahrnehmung durch Konvergenz vertrat auch RENÉ DESCARTES (1596-1650), ein französischer Philosoph, Mathematiker und Naturwissenschaftler in seinem Werk *La Dioptrique* von 1637.<sup>14</sup> Er ging davon aus, dass Menschen in der Lage seien, Entfernungen mittels der Konvergenz zu triangulieren.<sup>15</sup>

Einen weiteren wichtigen Beitrag zur Erforschung des binokularen Sehens leistete der niederländische Mathematiker und Physiker CHRISTIAAN HUYGENS (1629-1695). Er definierte 1667 erstmals *korrespondierende Netzhautpunkte*.<sup>16</sup> In Abbildung 2.2 sind B und D die retinalen Fixationspunkte, die heute als Fovae centralis bekannt sind. Die Abbildungen F und f liegen ebenfalls auf korrespondierenden Netzhautpunkten, weil die Entfernungen FB und FD identisch sind.<sup>17</sup>

JACQUES ROHAULT (1618-1672), ein französischer Philosoph, Physiker und Mathematiker schloss nur drei Jahre nach der Veröffentlichung von HUYGENS' Erkenntnissen, dass trotz der fehlenden Verbindung zwischen den Sehnerven Bereiche im Gehirn vorhanden sein müssten, in denen sich Nervenfasern aus den beiden jeweilig korrespondierenden Netzhautpunkten vereinigen.

---

12 Andreas Vesalius (geboren 1514 in Brüssel, verschollen 1564 während einer Pilgerreise nach Jerusalem), gilt als Vater der modernen Anatomie. Sein Hauptwerk mit dem Titel „De humani corporis fabrica“ (dt. „Über den Bau des menschlichen Körpers“) erschien 1543 in Basel. Vgl. Storch, V. & Welsch, U. & Wink, M. & Arendt, D. 2007: Evolutionsbiologie, S. 7; Cunningham, Andrew 1997: The anatomical renaissance. The resurrection of the anatomical projects of the ancients.

13 Vgl. Crone, Robert A. 1992: The history of stereoscopy, S. 7.

14 Vgl. Garber, Daniel 2003: Routledge Encyclopedia of Philosophy Online: Descartes, René (1596 - 1650). La Dioptrique war ein Anhang von: Descartes, René 1637: Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences (dt. „Abhandlung über die Methode des richtigen Vernunftgebrauchs und der wissenschaftlichen Wahrheitsforschung“). Eine Übersetzung des Textes ist online verfügbar unter: <http://www.textlog.de/descartes-methode.html>, zuletzt geprüft am 01.04.2008.

15 Vgl. Crone, Robert A. 1992: The history of stereoscopy, S. 7.

16 Vgl. Huygens, Christiaan 1667: Deuxième complément de la Dioptrique.

17 Vgl. Crone, Robert A. 1992: The history of stereoscopy, S. 8.

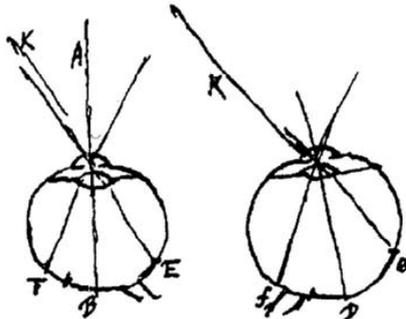


Abb. 2.2: Huygens Zeichnung korrespondierender Netzhautpunkte aus dem Jahre 1667

Der englische Physiker, Mathematiker und Astronom ISAAC NEWTON (1642-1727) beschäftigte sich in seinem 1704 erschienenen Hauptwerk *Optics or a treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light* ebenfalls mit dem Problem der binokularen Wahrnehmung. Er stellte jedoch VESALIUS' anatomische Beobachtungen in Frage und vermutete eine neuronale Verbindung der korrespondierenden Netzhautpunkte in der Chiasma opticum<sup>18</sup>. Seine Theorie erklärte damit zwar das binokulare Sehen - jedoch keinesfalls die Wahrnehmung von Disparität.

Eine deutlich bessere Theorie wurde 1750 in *Mechanismus des menschlichen Auges*<sup>19</sup> von CHEVALIER TAYLOR (1703 - 1772) aufgestellt.<sup>20</sup> Nach seiner Überzeugung bleiben die Nervenfasern der Augen nach einer teilweisen Überkreuzung separat erhalten und verbinden sich nicht im Chiasma opticum, was eine Grundvoraussetzung für die Verarbeitung der Disparität im Gehirn darstellt.<sup>21</sup>

Zu diesem Zeitpunkt waren somit alle theoretischen Grundlagen für die Erklärung der binokularen Wahrnehmung bekannt. Umso erstaunlicher erscheint es deshalb, dass es bis zur Formulierung einer stereoskopischen Theorie noch einmal fast 100 Jahre dauerte. Ein Grund hierfür war der zunehmende Einfluss der Empirie auf das Forschungsgebiet des Sehens, was zunehmend philosophische und psychologische Ansätze als Erklärung für die räumliche Wahrnehmung hervorbrachte. Die Fähigkeit zur Tiefenwahrnehmung wurde nicht mehr in den Bereich der physiologischen Mechanismen eingeordnet, sondern vielmehr als durch jahrelange haptische Erfahrungen gelernt betrachtet.

Wichtige Vertreter der empirischen Theorien waren beispielsweise der englische Philosoph J. LOCKE (1632-1704), der irische Philosoph W. MOLYNEUX (1656-1698),

18 Im Chiasma opticum kreuzen die Sehnerven. Vgl. Benninghoff, Alfred 1994: Anatomie, Bd. 2

19 Vgl. Taylor J. 1750: Mechanismus des menschlichen Auges.

20 Vgl. Trevor-Roper, Patrick 1989: Chevalier Taylor - Ophthalmiater Royal (1703 - 1772), S. 120.

21 Vgl. Crone, Robert A. 1992: The history of stereoscopy, S. 8-10.

der irische Theologe und Philosoph G. BERKELEY (1685-1753) und der französische Naturforscher G.-L. BUFFON (1707-1788).<sup>22</sup>

Den entscheidenden Durchbruch bei der Erforschung des räumlichen Sehens erzielte jedoch letztendlich kein Empirist, sondern der britische Physiker CHARLES WHEATSTONE (1802-1875). Er erkannte als erster den spezifischen Zusammenhang zwischen Querdisparität und Stereopsis.

Er setzte damit den Niedergang des Empirismus<sup>4</sup> und die Etablierung des Nativismus<sup>23</sup> auf diesem Forschungsgebiet in Gang. Die Vorstellung aber, dass Neugeborene prinzipiell keinerlei binokulares räumliches Sehvermögen besitzen und sich dieses erst durch langwierige haptische Erfahrungen erarbeiten müssen, hielt sich noch penetrant bis in die erste Hälfte des vorigen Jahrhunderts. Erst 1961 konnten die schon dargelegten Studien von WALK und GIBSON<sup>24</sup> diese Ansicht endgültig widerlegen.<sup>25</sup>

WHEATSTONE begann etwa um das Jahr 1832 mit der Erforschung des räumlichen Sehens.<sup>26</sup> Seine Erkenntnisse wurden 1838 in dem berühmten Artikel „*Contributions to the Physiology of Vision. Part the First. On some remarkable, and hitherto unobserved, Phenomena of Binocular Vision*“<sup>27</sup> veröffentlicht.

In diesem Artikel konstatiert WHEATSTONE, zu diesem Zeitpunkt Professor am King's College in London, dass die räumliche Wahrnehmung eines Objekts nicht in allen Sehbereichen gleich ist, sondern mit der Entfernung zum Betrachter variiert. Ein Objekt wird umso flächiger wahrgenommen, je weiter es entfernt ist, während die plastische Wirkung zunimmt, je näher sich das Objekt befindet. Der Eindruck der Räumlichkeit steht somit in direkter Abhängigkeit von der Distanz eines Objekts.

Der uns inzwischen wohlbekannte Grund dafür ist die sich ändernde Konvergenz. Je näher ein fixierter Gegenstand positioniert ist, desto größer wird der Konvergenzwinkel, wodurch die seitlichen Begrenzungen des Gegenstandes zunehmend aus anderen Blickwinkeln wahrgenommen werden. Aus den Informationen der sich immer deutlicher unterscheidenden retinalen Abbildungen, wird im Gehirn - innerhalb

---

22 Vgl. Crone, Robert A. 1992: The history of stereoscopy, S. 10-12.

23 Nativismus (von lat. nasci: geboren werden und lat. natus: angeboren, natürlich): Auffassung, dass bestimmte Begabungen, Verhaltensweisen und Fähigkeiten von Geburt an fest im Gehirn verankert sind. Menschen werden nach dieser Ansicht also mit bestimmten kognitiven Modellen geboren, die erlauben, dass man bestimmte Fähigkeiten (wie z.B. die Sprache) erlernt und erwirbt.

24 Vgl. Walk, R. D. & Gibson, E. J. 1961: A comparative and analytical study of visual depth perception.

25 Vgl. Crone, Robert A. 1992: The history of stereoscopy, S. 12-13.

26 Vgl. Hoffmann, Albrecht 1990: Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie, S. 8.

27 Wheatstone, Charles 1838: Contributions to the Physiology of Vision. Dt.: Beiträge zur Physiologie des Sehens. Erster Teil. Über einige beachtliche, bisher un beobachtete Phänomene des binokularen Sehens. Der Originalartikel wurde veröffentlicht in: Philosophical Transactions, dem Organ der Royal Society of London, Vol. 128, S. 371 - 394.

bestimmter Grenzen - ein plastischer Eindruck erzeugt. Im Gegensatz dazu verlaufen die Sehachsen bei der Fixierung weit entfernter Objekte nahezu parallel, wodurch ein flächiger visueller Eindruck entsteht. WHEATSTONE erkannte in der Konvergenz der Sehachsen die Grundbedingung des räumlichen Sehens.<sup>28</sup>

Er musste jedoch seine Ausführungen gegenüber den Mitgliedern der *Royal Society* auch praktisch beweisen können. Zu diesem Zweck konstruierte er den in Abbildung 2.3 dargestellten *Demonstrationsapparat*, den er als *Stereoskop* bezeichnete.

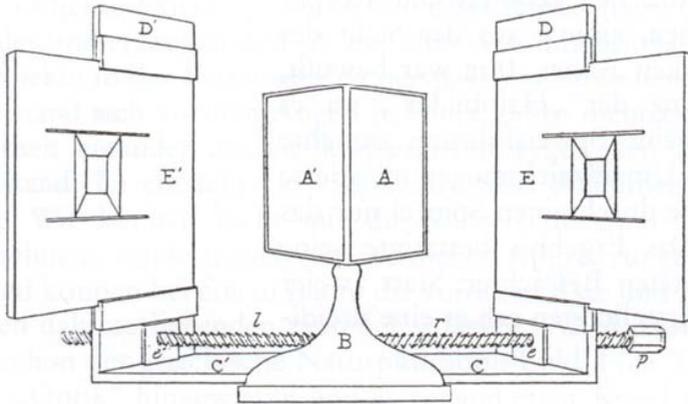


Abb. 2.3: Wheatstones Spiegel-Stereoskop von 1838

Um damit seine Behauptungen zu belegen, dass jedes Auge beim Fixieren naher Objekte ein unterschiedliches Bild wahrnimmt und dass ein räumlicher Tiefeneindruck nur mit beiden Augen möglich ist, ließ er perspektivische Umrisszeichnungen geometrischer Körper in zweifacher Ausfertigung zeichnen, einmal aus Sicht des linken Auges und einmal aus Sicht des rechten Auges.<sup>29</sup>

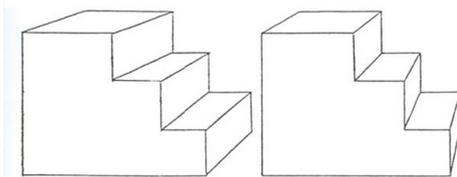


Abb. 2.4: Eine der Demonstrationszeichnungen von Charles Wheatstone von 1838

28 Vgl. Hoffmann, Albrecht 1990: Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie, S. 8.

29 Vgl. Hoffmann, Albrecht 1990: Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie, S. 9.

Abbildung 2.4 zeigt ein Beispiel dieser Zeichnungen aus dem Artikel „*Contributions to the Physiology of Vision*“.

Mittels seines Stereoskops erreichte er nun, dass jedes Auge durch einen Spiegel nur die ihm zugeordnete Ansicht erfassen konnte, d.h. das linke Bild E' war nur im Spiegel A' zu sehen, während das rechte Bild E nur im Spiegel A betrachtet werden konnte.

Das Ergebnis sorgte für großes Erstaunen bei den Betrachtern, da sie statt der erwarteten zwei zweidimensionalen Zeichnungen plötzlich eine dreidimensionale Abbildung sehen konnten - womit WHEATSTONEs Theorie bewiesen war. Das Grundprinzip des binokularen Raumsehens war somit bekannt. Allerdings war man zu dieser Zeit noch weit davon entfernt zu verstehen, wie beispielsweise die cerebrale<sup>30</sup> Bildfusion funktionieren könnte.<sup>31</sup> Für seine Erläuterung des binokularen Sehens bekam CHARLES WHEATSTONE 1840 von der *Royal Society* die *Royal Medal* verliehen.<sup>32</sup>

## 2 Anwendung der Stereoskopie

Nachdem nun einige wichtige Eckpunkte bezüglich der Erforschung des räumlichen Sehens und die Umstände, die zur Entwicklung des ersten Stereoskops führten untersucht wurden, folgt nun eine kurze Betrachtung der Anwendungsgebiete des Stereoskopie.

### 2.1 Stereoskopie für ein Millionenpublikum

Zunächst schien es, als ob die Stereoskopie keinerlei praktische Bedeutung hätte. Das entscheidende Ereignis, aufgrund dessen das Stereoskop ein begehrtes Konsumprodukt für ein Millionenpublikum werden sollte, ereignete sich jedoch kaum sechs Monate nach dem Erscheinen von WHEATSTONEs Artikel. Am 7. Januar 1839 wurde die Erfindung eines fotografischen Verfahrens durch LOUIS J. M. DAGUERRE (1787-1851) und JOSEPH N. NIÉPCE (1765-1833) in der französischen Akademie der Wissenschaften vorgestellt. Die Fachwelt war schlichtweg überwältigt und pries die revolutionäre Technik, nach ihrem Erfinder *Daguerreotypie*<sup>33</sup> benannt, ekstatisch.<sup>34</sup>

30 Cerebral (von lat. cerebrum: das Gehirn) bedeutet: das Gehirn betreffend.

31 Vgl. Hoffmann, Albrecht 1990: Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie, S. 9.

32 Dem interessierten Leser, der mehr über die Arbeit und das Leben des englischen Physikers erfahren möchte, sei folgende Literatur empfohlen. Wheatstone, Charles 1838: *Contributions to the Physiology of Vision*; Wheatstone, Charles 2007: *The Scientific Papers of Sir Charles Wheatstone*; Bowers, Brian 2001: *Sir Charles Wheatstone FRS. 1802-1875*.

33 Bei diesem Verfahren wurden versilberte Kupferplatten mittels Jod- oder Bromdämpfe lichtempfindlich gemacht und nach der Entwicklung mit Quecksilberdämpfen fixiert.

34 Dem interessierten Leser seinen zur Entwicklung und Auswirkung der Fotografie folgende Werke empfohlen: Neumann, Thomas 1966: *Sozialgeschichte der Photographie*; Newhall, Beaumont 2005: *Geschichte der Photographie*.

WHEATSTONE erkannte sofort den Nutzen dieses neuen Mediums für die Demonstration seiner Erkenntnisse zur räumlichen Wahrnehmung und ließ deshalb bereits 1839 stereografische Fotografien von Personen und Gebäuden anfertigen - für Betrachter dieser Bilder war dies „die perfekte Wiedergabe der Wirklichkeit“.<sup>35</sup>

Einen weiteren entscheidenden Schritt zur Verbreitung der Stereoskopie verdanken wir dem schottischer Physiker DAVID BREWSTER (1781-1868). Basierend auf den bisherigen Erkenntnissen über die binokularen Tiefenwahrnehmung, begann er um 1843 mit der Entwicklung eines eigenen Stereoskops. 1849 stellte er in einem Artikel sein *Prismenstereoskop* vor. Dieses bestand im Wesentlichen aus einer einfachen Linse mit einer Brennweite von etwa 150 mm, welche in zwei identische Halblinsen zerschnitten worden waren. Diese Halblinsen bündelten die Sehstrahlen so, dass jedes Auge nur das ihm entsprechende Bild wahrnehmen konnte. Durch diese Bauweise konnten die Stereohalbbilder nebeneinander direkt gegenüber den Linsen montiert werden, wodurch auf WHEATSTONEs Spiegel verzichtet werden konnte.

Die beeindruckende Wirkung und das kompakte Bauprinzip überzeugten die Instrumentenbauer J. DUBOSCQ (1817-1886) und J.-B.-F. SOLEIL (1798-1878) so sehr, dass sie mehrere dieser *Brewsterstereoskope* bauten, die dann auf der Weltausstellung von 1851 in London vorgestellt wurden.<sup>36</sup>

Der dortige Erfolg war sensationell und legte den Grundstein für die unvorhergesehene Karriere der Stereoskopie. Von 1853 an wurde BREWSTERs Stereoskop in einer verbesserten Version in Liverpool und Paris industriell gefertigt und avancierte im Zuge der Verbreitung der Fotografie zu einem der beliebtesten Unterhaltungsgeräte seiner Zeit.

Bereits im Jahre 1856 waren etwa 500.000 Stereoskope verkauft. Um die stetig steigende Nachfrage nach Stereobildern zu befriedigen, wurden spezielle Verlage gegründet, die sich ausschließlich mit der Massenherstellung von Stereoskopbildern beschäftigten.<sup>37</sup>

In den 1860er Jahren kamen auch erstmals die von BREWSTER bereits 1849 entwickelten doppelinsigen Stereokameras zur praktischen Anwendung, was den Fotografen erstmals erlaubte, sich bewegende Motive aufzunehmen.

Eine weitere wichtige Entwicklung war im Jahr 1861 das verbesserte und vor allem preiswerte *Holmesstereoskop* des amerikanischen Anatomieprofessors O. W. HOLMES (1809-1894).

---

35 Vgl. Hoffmann, Albrecht 1990: Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie, S. 12.

36 Vgl. Hoffmann, Albrecht 1990: Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie, S. 15.

37 Der erste Verlag, der sich ausschließlich auf die Herstellung und den Vertrieb von Stereobildern spezialisierte, war die London Stereoscopic Company, gegründet von George C. Nottage (1823-1885). Vgl. Hoffmann, Albrecht 1990: Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie, S. 16.

Die Fortschritte dieser Zeit führten zu einer regelrechten *Stereomanie*. Der Werbeslogan „Kein Heim ohne Stereoskop“<sup>38</sup> der englischen *Photographic and Stereoscopic Company* wurde um 1862 beim gehobenen Bürgertum beinahe zur Realität. Die stereoskopischen Bilder mit Motiven aus allen Teilen der Welt ermöglichten den Menschen einen Blick über den eigenen Tellerrand des Alltäglichen hinaus.

## 2.2 Der Niedergang des Stereobooms

Nach 1865 flaute der stereoskopische Boom deutlich ab. Ein Grund dafür war wohl die inflationäre Massenproduktion von schlecht gemachten, stereoskopischen Bildern, die einen starken Preisverfall bewirkte. Dadurch wurden qualitativ aufwändige Aufnahmen nicht mehr rentabel. Ein weiterer Grund für das schwindende Interesse war, dass es noch keine festgelegten Richtlinien für die Herstellung von Stereoskopen und Stereobildern gab. Dies hatte zur Folge, dass die angebotenen Bildformate nicht mit allen Stereoskopen betrachtet werden konnten, weil beispielsweise der Abstand der Bildmitten nicht konsistent zum Abstand der Linsenmitten war oder der Abstand der beiden Halbbilder zueinander nicht korrekt montiert worden war.<sup>39</sup> Dieser Umstand machte den Kauf von stereoskopischen Bildern zur Glückssache, was viele Stereoskopbesitzer enttäuschte.

Erst die Festlegung einiger Normmaße<sup>40</sup> für die Stereobildproduktion im Jahre 1889 durch den *Internationalen Photographischen Kongress* und weitere technische Verbesserungen im Bereich der Fotografie konnten der Stereoskopie ab 1895 nochmals zu einem Aufschwung verhelfen. Erwähnenswert ist hierbei vor allem das sog. Kaiser-Panorama von AUGUST FUHRMANN (1844-1925), mit dem bis zu 25 Personen gleichzeitig Stereobilder betrachten konnten.<sup>41</sup> Bereits 1909 waren in mehr als 250 in- und ausländischen Städten solche Kaiser-Panoramen, welche sowohl als Bildungsmittel für Schulen als auch als Rummelplatzattraktion galten, installiert. Nach dem ersten Weltkrieg wurde jedoch die Entwicklung der Kinotechnik massiv vorangetrieben, wodurch es sehr bald möglich war, hunderte Zuschauer gleichzeitig mit Nachrichten und Spielfilmen zu faszinieren. Die Vorteile des Kinos waren dabei selbstverständlich das Bewegtbild in Kombination mit Ton. Außerdem waren Formate wie beispielsweise die *Wochenschau* hoch aktuell und dementsprechend von größerer Relevanz für

38 Vgl. Hoffmann, Albrecht 1990: Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie, S. 18.

39 Vgl. Hoffmann, Albrecht 1990: Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie, S. 19.

40 Folgende Maße wurden damals beschlossen: Das Normalmaß für die montierten Stereobilder sollte zukünftig 66 mm betragen, wobei ein Zwischenraum von 4 mm erhalten bleiben sollte. Die Stereobasis für Stereokameras wurde auf 65-90 mm festgelegt. Für einäugige Kameras legte man die Stereobasis bei Porträtaufnahmen auf 70 mm, bei Landschaftsaufnahmen auf 300-400 mm und bei Fernsichten auf 1 m fest. Vgl. Hoffmann, Albrecht 1990: Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie, S. 26.

41 Detaillierte Informationen zum Kaiser-Panorama sind in folgenden Quellen zu finden: Oettermann, Stephan 1980: Das Panorama. Die Geschichte eines Massenmediums; Poch, Bernd 1999: Das Kaiserpanorama; Senf, Erhard 2007: Das Kaiser-Panorama.

die Zuschauer. Durch die Verbreitung der Kinos verebte schnell und nachhaltig das Interesse an der statischen Stereoskopie. Dieses allgemeine Desinteresse hielt - mit Ausnahme einer kurzen Phase während der 1950er Jahre - bis zum Ende des 20. Jahrhunderts an.

Noch 1990 schrieb A. HOFFMANN bezüglich der Entwicklung und Geschichte der Stereoskopie folgendes frustrierte Resümee: Nach dem zweiten Weltkrieg „kam es zu keiner weiteren Entwicklung oder erneuter Popularität der Stereoskopie; [...] Das Wissen um die Stereoskopie ist allgemein in Vergessenheit geraten; als Kinderspielzeug ist das Stereoskop noch auf Jahrmärkten zu kaufen.“<sup>42</sup>

### 2.3 Der Film als neues stereoskopisches Medium

Die bisherigen Ausführungen bezogen sich ausnahmslos auf die fotografische Stereoskopie. Ende des 19. Jahrhunderts wurde jedoch ein neues Medium entwickelt, welches der Stereoskopie zu neuer Popularität verhalf.

Auf Basis der bis zum damaligen Zeitpunkt erreichten Verbesserungen<sup>43</sup> hinsichtlich der Fototechnik, gelang dem amerikanischen Erfinder THOMAS ALVA EDISON (1847-1931) im Jahre 1891 die Konstruktion eines *Kinematographen* zur Aufzeichnung von Bewegtbildsequenzen. Mit dem ebenfalls von ihm erfundenen *Kinematoskop*, konnten diese Aufnahmen betrachtet werden - allerdings immer nur von einer Person zur selben Zeit.

Erst mit dem 1894 entwickelten *Cinématographe* der Brüder AUGUSTE M. LUMIÈRE (1862-1954) und LOUIS J. LUMIÈRE (1864-1948) konnten Filme einem größeren Publikum zugänglich gemacht werden, da die ursprünglich als *Kinétoscope de projection* bezeichnete Erfindung Filmkamera und Filmprojektor in einem war. Die erste öffentliche Vorführung von Kurzfilmen<sup>44</sup> fand im Jahr 1895 statt. 1903 drehten die Brüder Lumière mit zwei Kameras auf 35 mm-Film ihren ersten stereoskopischen Kurzfilm mit dem Titel „*L' Arrivée du Train*“ (Vgl. Abbildung 2.5).

---

42 Hoffmann, Albrecht 1990: Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie, S. 27.

43 Zu diesen Verbesserungen zählen vor allem die Entwicklung lichtstarker Objektive, die Verwendung von Nitrozellulose als flexibles Trägermaterial und die Produktion von Rollfilmen ab 1889.

44 Die ersten Kurzfilme der Brüder Lumière waren im Durchschnitt nur 40 Sekunden lang. Diese historischen Filme sind inzwischen restauriert und online verfügbar unter: <http://www.institut-lumiere.org/>.



Abb. 2.5: L' Arrivée du Train aus dem Jahre 1903

In den folgenden Jahren wurden immer neue Verfahren zur stereoskopischen Filmprojektion adaptiert und entwickelt. LOUIS D. DU HAURON (1837-1920), ein französischer Fotopionier, patentierte bereits 1886 das von ihm benannte **Anaglyphenverfahren**<sup>45</sup>, bei dem die Trennung der stereoskopischen Halbbilder durch Farbfilter erreicht wird. Unter der Regie von EDWIN S. PORTER (1870-1941) erschien 1915 mit „Jim the Penman“ einer der ersten Filme, bei dem zu Testzwecken stereoskopische Einstellungen im Anaglyphenverfahren erstellt worden waren.<sup>46</sup>

LAURENS HAMMOND (1895-1973), ein amerikanischer Ingenieur, entwickelte 1922 ein mechanisches **Shuttersystem** für stereoskopische Filme. Bei diesem sogenannten *Verschlussverfahren* wurden die Bilder durch Flügelscheiben getrennt, die abwechselnd das linke und rechte Projektor-Objektiv verdeckten. Synchron dazu war in jedem Sitz des Kinos ein Mechanismus mit einer weiteren Flügelscheibe eingebaut, die abwechselnd den Blick des linken bzw. rechten Auges auf die Leinwand verdeckte. Prinzipbedingt war es mit diesem System nicht möglich, stereoskopischen Bildpaare gleichzeitig wahrzunehmen, was bei schnellen Bewegungen im Film zu einem zeitlichen Versatz führte. Zur Präsentation dieser Technik wurde der Film „*Radio-Mania*“ gedreht. Obwohl das Publikum begeistert war, verhinderten die hohen Kosten der Shutterinstallation eine weitere Verbreitung.<sup>47</sup>

Ein weiteres Verfahren zur Darstellung von stereoskopischen Filmen beruht auf den Erfindungen des amerikanischen Physiker EDWIN HERBERT LAND (1909-1991). Er entwickelte im Jahr 1932 einen Flächenpolarisationsfilter aus Kunststoff, den sogenannten Polaroid-Filter. Mit diesem Filter war erstmals die Verwendung von polarisiertem Licht zur Bildtrennung möglich.<sup>48</sup> Im Gegensatz zu den Anaglyphen erlaubt

45 Vgl. Bahr, Achim 1993: Anaglyphen, S.1.

46 Vgl. Sammons, Eddie 1992: The World of 3-D Movies, S. 25.

47 Vgl. Sammons, Eddie 1992: The World of 3-D Movies, S. 25; Wikipedia 2008g: Laurens Hammond.

48 Das Prinzip der Bildtrennung mittels polarisierten Lichts wurde bereits 1891 von JOHN ANDERTON vorgeschlagen. Seine Forschungen scheiterten aber an der damals nur schwer durchführbaren Lichtpolarisation.

das Polarisationsverfahren die Darstellung von vollfarbigen 3D-Szenen. Die Trennung der stereoskopischen Halbbilder geschieht hierbei nicht über die Farbe, sondern über polarisierte Lichtwellen. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang der im **Polarisationsverfahren** projizierte deutsche Werbefilm ZUM GREIFEN NAH<sup>49</sup> aus dem Jahr 1937. Es war der erste 3D-Farb-Tonfilm in der Filmgeschichte und ein sensationeller Erfolg.

## 2.4 Der Stereoskopie-Boom der 50er Jahre

Während der 30er und 40er Jahren des vorigen Jahrhunderts wurden nur vereinzelt stereoskopische Kurzfilme produziert. Stereoskopie blieb eine reine Randerscheinung ohne kommerzielle Bedeutung. Dies änderte sich zu Beginn der 50er Jahre zumindest in den USA gewaltig. Ab dem Jahr 1952 brach ein regelrechter Stereoskopie-Boom in den Kinos aus, der etwa zweieinhalb bis drei Jahre lang die gesamte US-amerikanische Filmproduktion bestimmte.

Die Grundlage für diese Entwicklung war eine Krise der Filmindustrie, die zunehmend Zuschauer an das sich immer schneller verbreitende Fernsehen verlor.<sup>50</sup> Die Kinobesucherzahl hatte sich von 90 Millionen Zuschauer im Jahr 1948 auf 46 Millionen Zuschauer im Jahr 1951 annähernd halbiert<sup>51</sup>, weshalb die großen Filmstudios Wege suchten, neue Anreize für das Kino zu schaffen. Ein erster Versuch diesbezüglich war die Einführung eines extremen Breitwandformats namens *Cinerama*<sup>52</sup>, welches mittels dreier synchron laufender 35 mm-Projektoren riesige Bilder auf der Leinwand darstellen konnte. Die Installation dieses Systems war jedoch ausgesprochen teuer.

Ein weiterer Vorschlag zur Lösung der Kinokrise kam 1951 von den Brüdern MILTON und JULIAN GUNZBERG. Sie hatten ein eigenes Verfahren namens „Natural Vision“ zur stereoskopischen Aufnahme und Projektion entwickelt und versuchten nun die großen Filmstudios davon zu überzeugen, dass eine stereoskopische Großproduktion in voller Kinofilmlänge das richtige Mittel sei, um das Publikum wieder in die Kinos zu locken.<sup>53</sup>

Der Vorschlag wurde jedoch von „20th Century Fox“, „Columbia“, „Paramount“ und „Metro-Goldwyn-Mayer“ abgelehnt. Erst der unabhängige Produzent ARCH OBLER (1909-1987), erkannte das große Potential der Stereoskopie. Er war sich sicher, damit die Zuschauer wieder zurück ins Kino locken zu können.

49 Der Auftraggeber für diesen Film war die Volksfürsorge-Lebensversicherung.

50 Vgl. Sammons, Eddie 1992: *The World of 3-D Movies*, S. 32.

51 Vgl. Wikipedia 2008h: Artikel *Bwana Devil*.

52 Der Name *Cinerama* ist ein Kunstwort aus den Worten *Cinema* und *Panorama*. Weitere Informationen zum *Cinerama*-Format sind online verfügbar: Lataille, Roland 2008: *Cinerama*.

53 Vgl. Sammons, Eddie 1992: *The World of 3-D Movies*, S. 34; Mitchell, Rick 2004: *The tragedy of 3-D cinema*.

Am 18. Juni 1952 begannen die Dreharbeiten zu „Bwana Devil“, der bereits am 22. November desselben Jahres in Los Angeles uraufgeführt wurde. Der Film war mit 79 Minuten Länge die erste stereoskopische Großproduktion überhaupt. Er wurde im Polarisationsverfahren projiziert und begeisterte die Zuschauer in höchstem Maße - trotz der vernichteten Kritiken der Filmrezensenten.<sup>54</sup> Der Film spielte allein in der ersten Woche \$100.000 ein und initialisierte einen stereoskopischen Boom in den Kinos der Vereinigten Staaten. „Bwana Devil“ „was the first 3-D feature to be seen around the world, and was the cause of the golden era of 3-D.“<sup>55</sup>

Durch die hohen Einspielergebnisse motiviert, begannen bald alle bedeutenden Filmstudios stereoskopische Filme zu produzieren. Dies hatte zur Folge, dass in den folgenden zweieinhalb Jahren mehr als 50 Stereo-3D-Filme<sup>56</sup> auf den Markt geworfen wurden. Leider spielte bei den meisten dieser Filme die Qualität der Geschichte nur eine untergeordnete Rolle. Vielmehr wurden möglichst viele dramatische 3D-Effekte aneinander gereiht, um das Publikum zu beeindrucken. Zu den wenigen empfehlenswerten Filmen werden im Allgemeinen gezählt:

- „House of Wax“, 1953 („Das Kabinett des Professor Bondi“)
- „Kiss Me Kate“, 1953 („Küss mich Kätschen“)
- „It Came From Outer Space“, 1953 („Gefahr aus dem Weltall“)
- „Dial M For Murder“, 1954 („Bei Anruf Mord“), Regie: Alfred Hitchcock<sup>57</sup>
- „Creature From The Black Lagoon“, 1954 („Der Schrecken vom Amazonas“)



Abb. 2.6: Typische Kinopлакate der frühen 1950er Jahre

54 Vgl. Sammons, Eddie 1992: The World of 3-D Movies, S. 34-35; Wikipedia 2008h: Bwana Devil.

55 SabuCat Productions 2006: 2006 World 3-D Film Festival. Online verfügbar unter: [http://www.3dfilmfest.com/Bwana\\_Devil.html](http://www.3dfilmfest.com/Bwana_Devil.html).

56 Eine gute Auswahl dieser 3D-Filme mit den dazugehörigen Filmplakaten ist verfügbar unter: Wittkowsky, Wilfried 2003: Der 3D-Film. Spielfilme. URL: <http://www.wittkowsky.net/3d-film/spiel.htm>.

57 Monoskopisch ein klassischer Hitchcock-Film, bei dem der stereoskopisch basierte Immersionsmehrwert eher schwach ausfiel.

Der 3D-Boom endete genauso abrupt wie er begonnen hatte. Die stereoskopischen Filme verschwanden bis zum Jahr 1955 wieder vollständig aus den Kinos. Dafür lassen sich aus heutiger Sicht mehrere Gründe identifizieren:

- Aus Sicht der Kinobetreiber wirkten sich die erhöhte Kosten für neue Projektoren, Brillen und zusätzliches Personal negativ auf die Verbreitung aus.
- Aus Sicht des Publikums war die meist schlechte dramaturgische Qualität der Filme zu bemängeln. Anstatt Filme mit schlüssiger Handlung zu produzieren, setzten die Filmstudios zu sehr auf stereoskopische Gimmicks, derer die Zuschauer bald überdrüssig wurden. Dazu kamen noch technische Mängel bei der Projektion, wie z.B. vertikale Versätze, schlechte Polarisationsbrillen, mangelnde Synchronisation und Helligkeitsunterschiede in den stereoskopischen Halbbildern, was zu Kopfschmerzen und Unwohlsein führte.<sup>58</sup>

## 2.5 Der aktuelle Stereoskopie-Boom

Nachdem stereoskopische Kinofilme über Jahrzehnte hinweg keinerlei Bedeutung mehr innehatten<sup>59</sup>, entwickelten sie sich etwa seit dem Jahr 2000 zunächst zu einem Randthema der Branche. Nach den ersten kommerziellen Erfolgen der neuen Stereo-3D-Filme, rückte das Thema Stereoskopie deutlich weiter ins Zentrum des Interesses vor. Inzwischen wird das Verfahren von vielen Kennern der Branche schlichtweg als der nächste logische Entwicklungsschritt des Kinos bezeichnet.

JEFFREY KATZENBERG<sup>60</sup>, ein bekannter US-amerikanischer Filmproduzent, bezeichnete die Stereoskopie sogar als „The single most revolutionary change since color pictures.“<sup>61</sup> JAMES CAMERON<sup>62</sup>, einer der erfolgreichsten Regisseure der Welt, ist fest entschlossen in seiner weiteren Karriere ausschließlich Filme in Stereo-3D zu drehen: „When I first started shooting it in 2001 and I saw the images and how beautiful they were, I said, ‚I can’t go back to the way I shot before.‘“<sup>63</sup> „I’m just going to

58 Vgl. Sammons, Eddie 1992: The World of 3-D Movies, S. 42.

59 Als kleine Ausnahme darf hier eine kurze Zeit in den 1980er Jahren gelten, innerhalb welcher der Stereo-3D-Film ein kleines Revival durchlebte. Allerdings war der kommerzielle Erfolg relativ unbedeutend. Die bekannteste Produktion dieser Zeit ist sicherlich Jaws 3-D (dt.: Der weiße Hai 3-D). Das seit 1986 existierende IMAX 3D-Verfahren zeigte zwar stereoskopische Filme, diese waren aber ausschließlich für IMAX-Kinos produziert und hatten keinesfalls die volle Kinolänge.

60 J. KATZENBERG (geboren 1950), Oscar gekrönter US-Filmproduzent, ehemaliger Vorsitzenden von Paramount Pictures und Chef der Disney-Studios. Im Jahr 1994 gründete KATZENBERG zusammen mit STEVEN SPIELBERG und DAVID GEFEN DreamWorks SKG. Unter seiner Leitung entstanden z.B. die Animationsfilme Shrek - Der tollkühne Held (2001), Madagascar (2005) und Ab durch die Hecke (2006).

61 Quantel 2008b: Stereoscopic 3D. Add a new dimension to your business. Online verfügbar unter: [http://www.quantel.com/resource.nsf/Files/Stereoscopic\\_3D\\_nab08/\\$FILE/Stereoscopic\\_3D\\_nab08.pdf](http://www.quantel.com/resource.nsf/Files/Stereoscopic_3D_nab08/$FILE/Stereoscopic_3D_nab08.pdf).

62 Kirsner, Scott 2008: Tech Impact Report. James Cameron, Filmmaker.

63 Kirsner, Scott 2008: Tech Impact Report. James Cameron, Filmmaker.

do everything in 3D now. I'm going to shoot my daughter's birthday party in 3D."<sup>64</sup>

#### *Ursachen für den neuen Boom*

Es sollen an dieser Stelle einige wichtige Gründe für die neuen Verbreitung der Stereoskopie herausgestellt werden:

- Zunächst kann festgestellt werden, dass die heutige Kinoindustrie vor ähnlichen Problemen steht wie zuvor in den 1950er Jahren. Damals verlor das Kino seine Zuschauer an das sich immer schneller verbreitende Fernsehen.<sup>65</sup> Heute sinken die Besucherzahlen aufgrund multimedialer Angebote am Heimcomputer und der stark verbesserten Bild- und Soundqualität im Heimkino-Bereich (DVD, BlueRay-Disc) bei gleichzeitiger massiver Verbilligung des dafür notwendigen Equipments. Die Kinos brauchen somit ein neues Alleinstellungsmerkmal, um Besucher zurück in die Säle locken zu können. Die Vorführung stereoskopischer 3D-Filme scheint sich dafür aufgrund der bemerkenswerten finanziellen Erfolge der ersten Stereo-3D-Produktionen zu eignen. Dazu JOHN FITHIAN, Präsident des US-Kinoverbands: „Angesichts des Unterhaltungsprogramms, das den Leuten zur Verfügung steht, ist 3-D wichtig, da die Technologie fürs Heim so nicht zur Verfügung steht.“<sup>66</sup> JAMES CAMERON ist davon überzeugt, dass das Stereo-3DKino sich erfolgreich am Markt etablieren wird. „And that's because audiences are seeing something they like and are demonstrating a willingness to pay more for it.“<sup>67</sup>
- Durch die finanziellen Erfolge der ersten Stereo-3D-Filme haben sich auch wirtschaftliche Motivationsgründe für den Aufschwung von Stereo-3D ergeben. Ausschlaggebend für diese Entwicklung war unter anderem der große Erfolg des Kinofilms „*The Polar Express*“<sup>68</sup>. Dieser wurde im Jahr 2004 als einer der ersten Hollywood-Filme überhaupt simultan als 2D-Film und als Stereo-3D-Film in

---

64 Quantel 2008b: Stereoscopic 3D. Add a new dimension to your business.

65 Vgl. Sammons, Eddie 1992: *The World of 3-D Movies*, S. 32.

66 Laube, Helene 2007: Vorwärts in die Vergangenheit. In: *Financial Times Deutschland*, 27.03.2007.

67 Cohen, David S. 2008: James Cameron supercharges 3-D.

68 *The Polar Express* ist eine Produktion der Warner Bros. Entertainment Inc. Regisseur war R. ZEMECKIS. Verantwortlich für die digitalen Effekte und die 3D-Konvertierung war die Firma Sony Pictures Imageworks ([www.imageworks.com](http://www.imageworks.com)).

*IMAX 3D*<sup>69</sup> veröffentlicht. Seit seiner Uraufführung hat dieser Film nach Angaben von *IMAX* allein in seiner 3D-Version weltweit mehr als 65 Millionen US-Dollar eingespielt.<sup>70</sup> Ein aktuelles Beispiel für den großen finanziellen Erfolg von Stereo-3D-Produktionen ist „*Beowulf*“, der sowohl in konventionellem 2D als auch in Stereo-3D präsentiert wurde. Die 3D-Vorführung erzielte bisher 25 Millionen US-Dollar an die Kinokassen - etwa 185.000 US-Dollar pro Veranstaltungsort!<sup>71</sup> Einen direkten Vergleich der Erlösunterschiede zwischen einer 2D- und einer Stereo-3D-Version desselben Films ermöglicht CHRIS JOHNSON, Vizepräsident von *Classic Cinemas*<sup>72</sup>: „It’s amazing, the difference of the 3-D performance of a film that is also shown next door in 2-D. At Classic, two 3-D showings of ‚Meet the Robinsons‘ grossed more than \$101,000 during its run, while a single 2-D ‚Robinsons‘ screening in the same multiplex grossed approximately \$21,000 for the same period.“<sup>73</sup> Diese Aussagen decken sich mit den Einschätzungen von CHARLOTTE JONES, Analystin der Firma Screen Digest4. In Ihrem anlässlich der *fmx/08*<sup>74</sup> gehaltenen Vortrag „*Digital 3D Cinema Market*“ führt Sie aus: „Early adopter exhibitors are already seeing very strong return on 3D investments.“

- Neben den höheren Einnahmen, die sowohl der Filmindustrie im allgemeinen, als auch den Kinobesitzern im speziellen zu Gute kommen, weisen auch die deutlich verbesserten Projektionsmöglichkeiten auf eine Verbreitung von Stereo-3D-Filmen hin. Die Vorführung von stereoskopischen Filmen war mit der bisherigen konventionellen Filmtechnik für den normalen Kinobetrieb zu aufwändig und zu teuer, da hierfür zwei synchron verkoppelte Filmprojektoren nötig waren. Durch die voranschreitende Digitalisierung der Kinos ist die 3D-Projektion deutlich einfacher geworden und technisch ausgereifter.<sup>75</sup> So erleichtert beispielsweise die *DLP-Cinema-Technologie*<sup>76</sup> die Integration der stereoskopischen Projektion in bereits bestehende Kinotechnik beträchtlich.

69 Das Wort IMAX ist aus den Worten Images und Maximum zusammengesetzt. Die gleichnamige Firma IMAX Corporation mit Sitz in Toronto, Kanada und New York City, USA, wurde 1967 von G. FERGUSON, R. KROITOR und R. KERR gegründet. Ziel des Unternehmens war die Entwicklung von Großprojektoren um das bisherige Kinoerlebnis zu revolutionieren. Im Jahr 1986 wurde auf der Expo 86 in Vancouver das stereoskopische IMAX 3D vorgestellt, welches das bisherige IMAX-Erlebnis noch verbessern sollte. Das neue Verfahren arbeitete im Zweibandverfahren. Das bedeutet, dass bei der Aufnahme für die linke und die rechte Ansicht insgesamt zwei 70 mm Filmstreifen durch die Kamera laufen. Die Wiedergabe erfolgt dementsprechend ebenfalls mit zwei Filmstreifen, die synchron projiziert werden müssen. Die Trennung der beiden Ansichten erfolgt in der Regel mit dem Polarisationsverfahren.

70 Vgl. Gebhard, C. & Voigt-Müller, G. 2008b: NAB2008-Trend.

71 Vgl. Gebhard, C. & Voigt-Müller, G. 2008b: NAB2008-Trend.

72 Classic Cinemas ist eine 1978 gegründete Kinokette in den USA. URL: <http://www.classiccinemas.com>

73 Turner, Henry 2008: Hollywood rediscovers 3-D technology.

74 *fmx/08*: 13th International Conference on Animation, Effects, Games and Digital Media. May 05-08, 2008 in Stuttgart. URL: [www.fmx.de](http://www.fmx.de).

75 Vgl. Gebhard, C. & Voigt-Müller, G. 2008b: NAB2008-Trend.

76 D-Cinema (Digital Cinema) wird hier als Oberbegriff für eine durchgehende, filebasierte Kinodistributionskette inkl. elektronischer Projektion verwendet.

- Ein weiterer entscheidender Grund, der für die kontinuierliche Verbreitung der stereoskopischen Filme spricht ist, dass inzwischen viele weltbekannte Filmemacher und führende Filmproduktionsfirmen sich ganz klar für den Einsatz von Stereo-3D Technik aussprechen. JAMES CAMERON bringt es auch hier auf den Punkt: „The new 3-D, this stereo renaissance, not only solves all the old problems of bad projection, eyestrain, etc., but it is being used on first-class movies that are on people’s must-see lists. These are fundamental changes from what happened with the flash-in-the-pan 3-D craze of the ‚50s.“<sup>77</sup> Als weiteres Beispiel seien hier die Filmstudios *Disney* und *Pixar* erwähnt, die nach eigener Aussage in den kommenden vier Jahren acht neue Stereo-3D-Filme fertigstellen werden.<sup>78</sup> Die *Dreamworks Studios* schließen sich dieser Entwicklung ebenfalls an und werden alle ihre zukünftigen Kinofilme in einer stereoskopischen Version anbieten.<sup>79</sup>
- Im Zusammenhang mit der Zusage der großen Filmstudios zukünftig verstärkt Stereo-3D-Filme zu produzieren, muss unbedingt auch auf die verbesserte Hard- und Software im Postproduktionsbereich hingewiesen werden. Denn: „Der wichtigste Beschleuniger für die Produktion von 3D-Filmen ist derzeit aber sicher die Postproduktion.“<sup>80</sup> In den vergangenen Jahren war die Bearbeitung der doppelten Bild- und Datenmenge der Stereo-3D-Produktion von keinem verfügbaren Postproduktions-System in Echtzeit zu bewältigen. Inzwischen sind jedoch aufgrund der verstärkten Nachfrage Schnitt- und Compositing-Systeme von verschiedenen Herstellern verfügbar, die in der Lage sind, Stereo-3D-Material komfortabel zu bearbeiten. Auch im Bereich des übrigen 3D-Equipments werden verstärkt neue Entwicklungen angeboten. Dieser Trend war auf der NAB2008<sup>81</sup> in Las Vegas deutlich zu bemerken. Neben neuen Aufbauten für Stereokameras (3D-Rigs) sorgten vor allem auffallend viele Postproduktionslösungen für Aufsehen. Marktführer in diesem Bereich ist zweifelsohne die Firma *Quantel*<sup>82</sup>. Deren Postproduction-System „*Pablo*“ ist das erste System überhaupt, das stereoskopisches Video mit bis zu 4k Auflösung in Echtzeit verarbeiten kann. Aber auch die Compositing-Software „*Nuke*“ der britischen Firma *The Foundry*<sup>83</sup>, bietet in seiner neuen Version 5 eine umfangreiche Stereo-3DFunktionalität.<sup>84</sup>

77 Cohen, David S. 2008: James Cameron supercharges 3-D.

78 Vgl. 3-D Review 2008: The online magazine of stereoscopic product reviews and information. URL: <http://www.3-dreview.com/>.

79 CHARLOTTE JONES, Analystin der Firma Screen Digest, in ihrem anlässlich der fmx/08 gehaltenen Vortrag Digital 3D Cinema Market.

80 Gebhard, C. & Voigt-Müller, G. 2008: Chancen fürs Kino: 3D.

81 NAB steht für National Association of Broadcasters, ein US-amerikanischer Wirtschaftsverband, der die Interessen und Rechte der Radio- und Fernsehstationen vertritt. In Las Vegas findet jährlich die NAB Show statt, die weltweit größte Messe für elektronische Medien.

82 Die Firma Quantel wurde 1973 in England gegründet und entwickelt digitale Produktionssysteme im Broadcast- und Filmbereich. Der Firmenname ist von dem Begriff Quantised Television abgeleitet. URL: <http://www.quantel.com/>.

83 The Foundry Visionmongers Ltd. ist eine international bekannte Entwicklerfirma für hochspezialisierte Visual Effects Software mit Sitz in London.

84 Vgl. Gebhard, C. & Voigt-Müller, G. 2008b: NAB2008-Trend.

Es kann durchaus vermutet werden, dass aufgrund der verstärkten Verfügbarkeit solcher Produkte vermehrt die Entscheidung getroffen werden wird, stereoskopisch zu produzieren.

#### *Vorteile der Stereo-3D-Filme*

Für die Filmstudios ergeben sich folgende Vorteile:

- Aufgrund der zunehmenden Nachfrage nach stereoskopischen 3D-Filmen eröffnet sich den Filmstudios eine völlig neue Plattform mit großem Wachstumspotential.
- Durch die neue Dimension im Film bietet sich den Filmemachern ein bisher nicht zur Verfügung stehendes, neues kreatives Element.
- Außerdem hegt man die (womöglich irri)ge Hoffnung, aufgrund der komplexen Projektionsverfahren und der großen Datenmengen die Schwelle für Filmpiraterie nochmals zu erhöhen.

Aus Sicht der Kinobetreiber lassen sich folgende Benefits identifizieren:

- Erhöhte Besucherzahlen durch eine deutliche Abgrenzung zum Home Cinema (höhere Immersion, Group Experience, noch höhere Qualität)
- Mehreinnahmen durch eine verstärkte Besucherfrequenz („second sitting“)
- Höhere Einnahmen aufgrund der Akzeptanz erhöhter Eintrittspreise für Stereo-3DFilme beim Publikum („premium pricing“)
- Zusätzliches alternatives Filmangebot, z.B. Music Shows, Live-3D-Content...

#### *Bestehende Probleme*

Der exzessiven Verbreitung von stereoskopischen Filmen stehen nach wie vor einige Hürden gegenüber. Zunächst muss festgehalten werden, dass die kritische Masse an Kinos mit Stereo-3D-Projektionsverfahren noch nicht erreicht ist. Nach Schätzungen<sup>85</sup> werden im Jahr 2011 erst etwa 9000 Kinos weltweit - 6000 davon in den USA - Stereo-3D-Content zeigen können. Es bleibt also abzuwarten wie schnell die Kinobetreiber ihre Kinos auf bzw. umrüsten. Des Weiteren fehlt ein weltweiter einheitlicher Standard zur Projektion. Mehrere zueinander inkompatible Lösungen konkurrieren miteinander und verzögern somit die erforderlichen Kostensenkungen. Projektionsverfahren mit (Shutter- oder Polarisations-) Brillen für die Zuschauer stehen in USA regelmäßig in der Diskussion bezüglich ihrer Hygienestandards. Außerdem wird sich erst zeigen müssen, ob zukünftig tatsächlich genügend Stereo-3D-Filme produziert werden, um den Markt aufrecht erhalten zu können.

#### *Stereoskopie in Wissenschaft und Technik*

Bei der Anwendung der Stereoskopie in der Wissenschaft und Technik sind deutlich weniger Popularitätsschwankungen zu verzeichnen als in der Unterhaltungsindustrie.

---

85 CHARLOTTE JONES, Analystin der Firma Screen Digest. Aus Ihrem anlässlich der fmx/08 gehaltenen Vortrag Digital 3D Cinema Market.

Ganz im Gegenteil. Es werden kontinuierlich neue Anwendungsgebiete für den Einsatz der Stereoskopie erschlossen.

Der amerikanischen Anatomieprofessor O. W. HOLMES (1809-1894) nutzte bereits in den 1860er Jahren stereoskopische Fotografien, um plastische Vorlagen von menschlicher Bewegung und Haltung zu bekommen. Er nutzte diese Studien um verbesserte Prothesen für die im amerikanischen Bürgerkrieg verstümmelten Soldaten zu bauen.<sup>86</sup>

Im Jahr 1855 gelang dem britischen Physiker L. RUTHERFORD erstmals eine stereoskopische Fotografie des Mondes. Anstatt eine Stereobasis für die Aufnahmen zu verwenden, die rechnerisch etwa 13.000 Kilometer betragen hätte, wurden die beiden Fotos *nacheinander* aufgenommen. Zur Bestimmung der richtigen Zeitdifferenz, wurde auf das Verhältnis der Umdrehungsgeschwindigkeit von Mond und Erde zurückgegriffen.<sup>87</sup>

Durch diese ersten Erfolge auf dem Gebiet der Stereoskopie wurden auch Wissenschaftler anderer Fachrichtungen inspiriert, die relativ neue Technik für ihre Zwecke zu nutzen. Eine wichtige Entwicklung war der mit einem Stereoskop kombinierte Augenspiegel, mit dem Augenärzte ab 1870 auch kleinste Unebenheiten auf dem Augenhintergrund feststellen konnten. Um das Jahr 1880 wurde dann das erste *binokulare Mikroskop* entwickelt. Aufgrund der wahrnehmbaren Tiefe erlaubte es eine präzisere Untersuchung von Objekten als bisher.<sup>88</sup>

1876 wurde mit der Fotogrammetrie ein neues Gebiet der stereoskopischen Fotografie erschlossen, das bis heute Verwendung findet. Bei der Fotogrammetrie handelt es sich um ein Verfahren zur kartografischen Vermessung mittels Stereofotografien, die in kurzen Zeitintervallen von einem Flugzeug aus aufgenommen werden. Die entstandenen Bilder werden anschließend übereinander projiziert, wodurch ein dreidimensionales Modell des Areal entsteht. Anhand dieses Modells werden die Höhenlinien für topografische Landkarten erstellt. Im Februar 2000 wurde mit diesem Verfahren vom Space Shuttle „Endeavour“ fast die gesamte Erdoberfläche kartografiert.<sup>89</sup>

In unserer heutigen Zeit, gibt es inzwischen unzählige Anwendungsgebiete für die wissenschaftliche und technische Stereoskopie. Stereoskopische Satellitenbilder ermöglichen in der Meteorologie Wolkenstrukturen zur Wettervorhersage zu analysieren, während in der Architektur mit Hilfe stereoskopischer Animationen geplante Bauwerke für den Kunden eindrucksvoll prävisualisiert werden. Bei der industriellen Konstruktionsplanung wird die Stereoskopie für ein effizienteres Prototyping genutzt.

In der Naturwissenschaft können durch eine stereoskopische Darstellung beispielsweise der Aufbau von Molekül- und Kristallstrukturen oder eine komplexe mathema-

---

86 Vgl. Hoffmann, Albrecht 1990: Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie, S. 32.

87 Vgl. Hoffmann, Albrecht 1990: Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie, S. 32.

88 Vgl. Hoffmann, Albrecht 1990: Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie, S. 33.

89 Vgl. Hoffmann, Albrecht 1990: Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie, S. 33-34.

tische Funktionen anschaulicher und damit leichter verständlicher gemacht werden.<sup>90</sup> Im medizinischen Bereich werden immer mehr bildgebende Verfahren stereoskopisch umgesetzt. Dazu gehören vor allem Röntgendiagnostik und Endoskopie. Dadurch verbessern sich die Diagnostik und die Planung von Operationen erheblich. Die Anwendungsmöglichkeiten der Stereoskopie in der Wissenschaft und Technik sind noch lange nicht ausgeschöpft. Vielmehr werden kontinuierlich neue Einsatzgebiete erschlossen, für die stereoskopische Darstellungen geradezu prädestiniert sind.

### 3 Grundlegende Techniken der Stereoskopie in Film und Computeranimation

Auf Basis der physiologischen und wahrnehmungspsychologischen Vorüberlegungen aus Kapitel 2 werden im Folgenden einige grundlegende Verfahren und Begriffe vorgestellt und erläutert, die zur Übertragung der stereoskopischen Tiefe in das Medium Film und für das Compositing von realen und computergenerierten Elementen notwendig sind.

#### 3.1 Die stereoskopische Aufnahme

Zunächst einmal muss ganz grundsätzlich festgehalten werden, dass eine stereoskopische Aufnahme lediglich eine *dreidimensionale Reproduktion* einer natürlichen Szenerie mittels optischer und kameratechnischer Hilfsmittel darstellt. „Stereoscopy is not attempt to emulate the human visual experience; stereoscopy creates the illusion of 3D viewing by displaying two 2D images, one to each eye. The Observer is not seeing a genuine 3D scene, as with a hologram, but rather fooled into believing that the scene is 3D.“<sup>91</sup>

Das Prinzip, das hinter einer Stereo-Aufnahme steht, ist die Visualisierung der binokularen Disparität. Wie aus Kapitel 2 bekannt ist, führt der durchschnittliche Augenabstand von 63-65 Millimeter dazu, dass sich die retinalen Abbilder des linken und rechten Auges unterscheiden. Dieser Unterschied, die binokulare Disparität, ist die Basis unserer Tiefenwahrnehmung.

Um stereoskopische Bilder mit Kameras zu erzeugen, müssen demnach zwei Bilder derselben Szene mit einem horizontalen Versatz aufgenommen werden. Anschließend müssen diese sogenannten **Stereo-Halbbilder** dem jeweiligen Auge separat zugeführt werden. Werden bei diesem Vorgang bestimmte Regeln beachtet, fusioniert unser Gehirn die beiden 2D-Bilder zu einem virtuellen 3D-Bild mit wahrnehmbarer Tiefe.<sup>92</sup>

90 Vgl. Hoffmann, Albrecht 1990: Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie, S. 34.

91 Allen, Damian 2007: Encyclopedia of visual effects, S. 488-489.

92 Vgl. Kuhn, Gerhard 1999: Stereo-Fotografie und Raumbild-Projektion, S. 13.

Um einen guten Stereo-3D-Film zu erstellen, müssen die gegenseitigen Beziehungen zwischen Aufnahme- und Projektionsbedingungen bekannt sein. Außerdem müssen die bestehenden Grenzen des menschlichen Fusionsvermögens beachtet werden, was bedeutet, dass bereits im Vorfeld bekannt sein muss, unter welchen Bedingungen der Tiefeneindruck vom Betrachter als natürlich wahrgenommen werden wird. Das oberste Ziel einer Stereo-Produktion muss es sein, dem Betrachter komfortable, leicht zu fusionierende Stereobilder anzubieten.

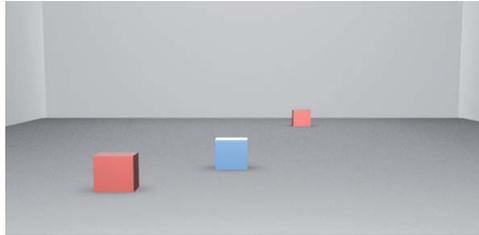


Abb. 2.7: linkes Stereo-Halbbild der Szene

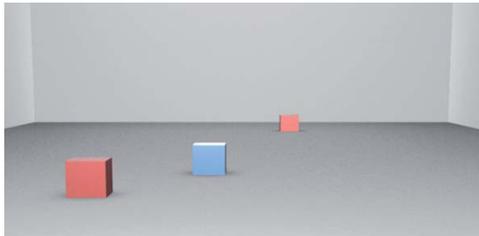


Abb. 2.8: rechtes Stereo-Halbbild der Szene

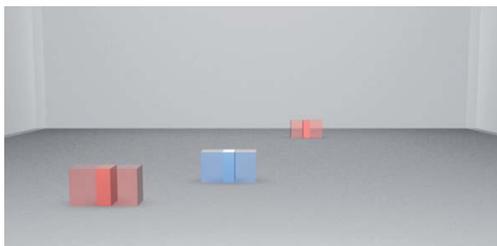


Abb. 2.9: parallaktische Verschiebungen im Stereobild

Die obigen Abbildungen verdeutlichen noch einmal das Prinzip. Abbildung 2.7 zeigt das linke Stereo-Halbbild der Szene. Abbildung 2.8 zeigt das rechte Stereo-Halbbild,

das mit einer Stereobasis<sup>93</sup> von 6,5 Zentimetern aufgenommen wurde. In Abbildung 2.9 wurden die beiden Halbbilder übereinandergelegt, um den horizontalen Versatz zwischen den beiden Ansichten explizit zu verdeutlichen.

### *Begriffsdefinitionen*

An dieser Stelle scheint es sinnvoll, zunächst die stereoskopischen Begriffe zu definieren, welche als sogenannte „starke Parameter“ bei der Erzeugung/Aufnahme zu beachten sind. Aufgrund der mangelnden Konsistenz in der Literatur bezüglich der Formelzeichen, wurden für diese Arbeit eigene festgelegt. Zur besseren Übersicht ist in Abbildung 2.12 die komplette Aufteilung einer stereoskopischen Szene dargestellt.

- **Akkommodation:** Akkommodation (von lat. *accommodare*: anpassen) bezeichnet die Veränderung der Linienbrechkraft im Auge, um nahe und ferne Objekte durch Verkürzung oder Verlängerung der Brennweite fokussieren zu können.
- **Konvergenz:** (engl.: *toe in*) Konvergenz (von lat. *convergere*: sich hinneigen) bedeutet allgemein *Annäherung* und beschreibt die nach innen gerichtete Bewegung der Augen, wenn Objekte in extremer Nähe betrachtet werden sollen. Bei diesem Vorgang, der in Abbildung 2.10. dargestellt ist, wird die Kontraktion der Augenmuskeln wahrgenommen, sobald diese den Konvergenzwinkel verändern.
- **Konvergenzwinkel ( $\alpha$ ):** der Winkel, den die Blickachsen im fixierten Objekt miteinander bilden. In Abbildung 2.10 ist dieser Winkel  $\alpha$  eingezeichnet.
- **Divergenz:** Die in Abbildung 2.11 dargestellte Divergenz beschreibt das Auseinanderdriften der Blickachsen nach außen und ist somit das Gegenteil der Konvergenz. Divergenzbewegungen der Augen kommen beim natürlichen Sehen niemals vor. Aus diesem Grund muss eine Divergenz bei Stereobildern unbedingt vermieden werden.

---

<sup>93</sup> Die Stereobasis ist der Abstand zwischen den optischen Achsen der Objektive während der Aufnahme. Die Stereobasis ist verantwortlich für den horizontalen Versatz der beiden Stereo-Halbbilder.

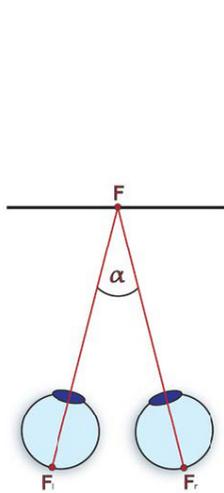


Abb. 2.10: Konvergenz

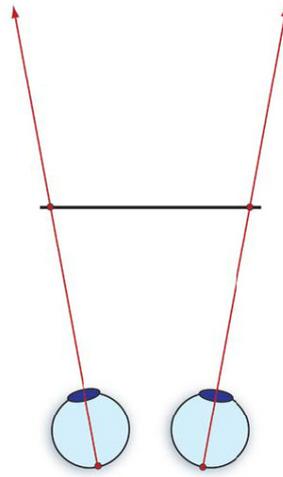


Abb. 2.11: Divergenz

- **Stereobild:** Ein Stereobild besteht aus einem linken und einem rechten (Stereo-) Halbbild, die mittels verschiedener Verfahren aufeinander projiziert werden, wobei einander entsprechende Bildpunkte in einem bestimmten Abstand (siehe **Parallaxe**) zueinander wiedergegeben werden.
- **Parallaxe:** Parallaxe (von gr. παραλλαγή parallagé) bedeutet Abweichung und beschreibt den horizontalen Versatz zusammengehöriger (korrespondierender) Bildpunkte aus dem linken und rechten Stereohalbbild. Genauer ist in diesem Zusammenhang der Ausdruck parallaktische Verschiebung, der auch als *Deviation (v)* bezeichnet wird.
- **Stereobasis (SB):** Der Abstand zwischen den Sehachsen der Objektive während der Aufnahme. Die Stereobasis ist verantwortlich für den horizontalen Versatz der beiden Stereo-Halbbilder. Vgl. Abbildung 2.12.
- **Raum-Fernpunkt (F):** Der entfernteste von der Aufnahme erfasste Raumpunkt. Wird auf dem Film als Bild-Fernpunkt abgebildet. Vgl. Abbildung 2.12.
- **Fernpunktweite (FPW):** Die Entfernung des Fernpunktes F zur Filmebene. Bei normalen Außenaufnahmen ist diese unendlich groß. Vgl. Abbildung 2.12.
- **Fernpunktastand (FPA):** Der Abstand des Raum-Fernpunktes im linken und rechten Stereo-Halbbild.
- **Scheifenster (SF):** Das Scheifenster ist die Bezugsebene für die Abbildung des Raumes mittels der Zentralprojektion. Es teilt den Tiefenbereich in Vordergrund und Mittel-/ Hintergrund. Vgl. Abbildung 2.12.
- **Scheifensterweite (SFW):** Die Entfernung des Scheifensters von der Filmebene. Vgl. Abbildung 2.12.

- **Raum-Nahpunkt (N)**: Der nächste von der Aufnahme erfasste Raumpunkt. Wird auf dem Film als Bild-Nahpunkt abgebildet. Vgl. Abbildung 2.12.
- **Nahpunktweite (NPW)**: Die Entfernung des Nahpunktes N zur Filmebene. Vgl. Abbildung 2.12.
- **Nahpunktabstand (NPA)**: Der Abstand des Raum-Nahpunktes im linken und rechten Stereo-Halbbild.
- **Tiefenbereichsweite (TBW)**: Der gesamte 3D-Tiefenraum, auch Motivraum genannt. Vgl. Abbildung 2.12.

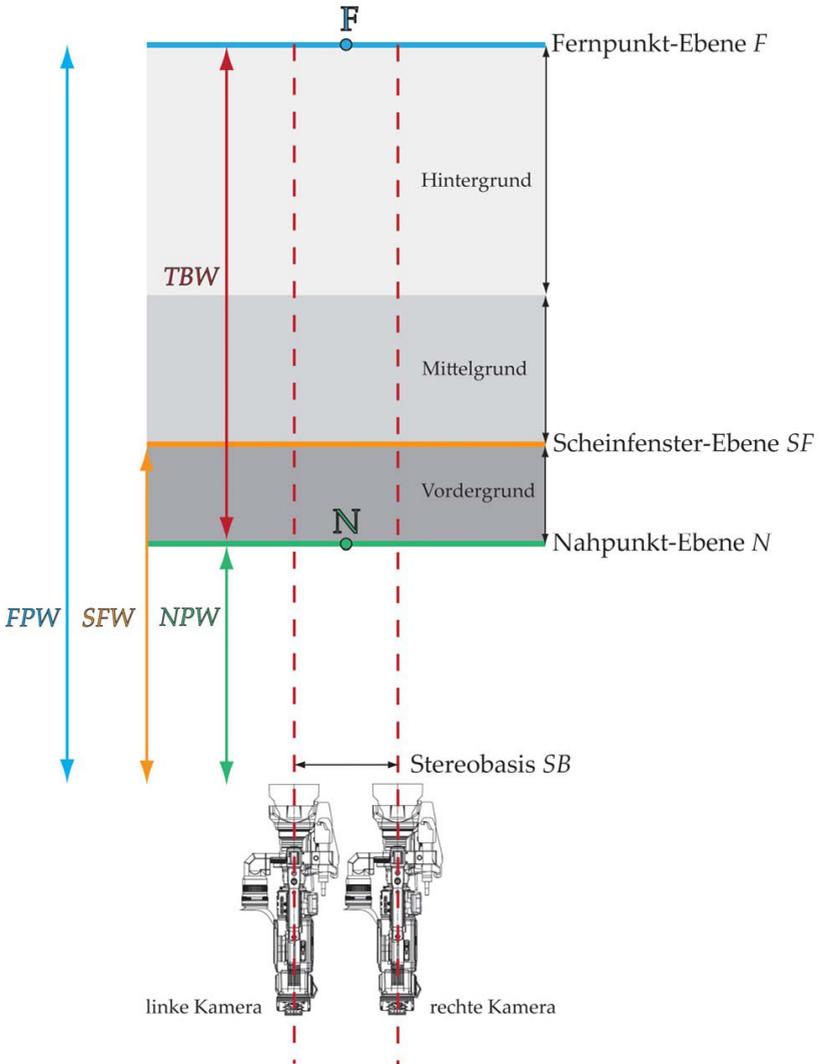


Abb. 2.12: Übersicht über die zu beachtenden Abstände am Stereo-Set

### *Problematiken*

Der erste entscheidende Problempunkt ist, dass beim natürlichen Sehen in der Regel niemals Divergenzbewegungen der Augen vorkommen. Aus diesem Grund sollte die *parallaktische Verschiebung* ( $v$ ) in Stereobildern keinesfalls den Augenabstand übersteigen.

Eine weitere prinzipielle Problematik, die bei der Betrachtung von Stereo-3D-Filmen auftritt, lässt sich leicht aus unserem in Kapitel 2 beschriebenen Sehverhalten ableiten: Wir sehen die Einzelheiten einer kompletten Szenerie niemals gleichzeitig scharf, sondern müssen unsere Augen von Objekt zu Objekt wandern lassen und fokussieren.

Aus dieser Tatsache kann man schließen, dass retinale Abbildungen im Gehirn nur aus einem begrenzten anfokusierten Raum fusioniert werden können.<sup>94</sup> Sehen wir Objekte in der Nähe an, werden weit entfernte Objekte so unscharf, dass nur noch diffuse Helligkeits- und Farbeindrücke wahrgenommen werden. Doppelte Konturen verschwinden somit automatisch. Der Gesichtssinn begrenzt also den Bereich in dem wir Objekte relativ zu ihrer Raumorientierung erkennen können.<sup>95</sup>

Wird nun eine reale Szenerie stereofotografisch mit durchgehender Tiefenschärfe abgebildet, und auf eine drei Meter entfernte Leinwand projiziert, akkomodieren und konvergieren die Augen des Betrachters aufgrund der kompletten Bildschärfe zunächst automatisch auf die Leinwand. Das liegt daran, dass Akkomodation und Konvergenz beim natürlichen Sehen gekoppelte Reflexe sind.

Um die in unterschiedlichen Tiefenebenen positionierten virtuellen Objekte eines projizierten Stereobildes erfassen zu können, muss die Konvergenz jedoch unabhängig erfolgen. Während unsere Augen also kontinuierlich auf die Leinwand akkomodieren, muss sich die Konvergenz beim Betrachten des Stereobildes ständig anpassen - je nachdem ob Objekte im Vorder-, Mittel- oder Hintergrund fixiert werden. Es gilt jedoch: „Je stärker Konvergenzpunkt und Akkomodationspunkt auseinanderfallen, desto unnatürlicher kommt uns die Beobachtung vor.“<sup>96</sup>

Erschwerend kommt hinzu, dass durch die Adaption der Augen auf die Leinwand und die durchgehende Tiefenschärfe des projizierten Bildes der Hintergrund beim Fusionsversuch des Vordergrundes nicht in dem Maße unterdrückt wird, wie es den normalen Seherfahrungen entspricht. Dies macht sich durch Augen- und Kopfschmerzen bemerkbar. Eine Stereopräsentation ist also nur dann als komfortabel zu bezeichnen, wenn sie den natürlichen Sehgewohnheiten nahekommt.

---

94 Vgl. Monaco, James 2007: Film verstehen, S. 156.

95 Vgl. Kuhn, Gerhard 1999: Stereo-Fotografie und Raumbild-Projektion, S. 21-22.

96 Kuhn, Gerhard 1999: Stereo-Fotografie und Raumbild-Projektion, S. 22.

*Lösungen*

Aus den bisherigen Betrachtungen, lassen sich zwei existentielle Bedingungen für eine funktionierende und komfortable Stereo-3D-Produktion ableiten:

1. Die Größe der Parallaxe muss regelmäßig kontrolliert werden (Divergenzverbot)
2. Der Stereoraum, genauer die Tiefenbereichsweite (TBW), muss ebenfalls regelmäßig kontrolliert werden

Um das Divergenzverbot einzuhalten, darf die Größe der *parallaktische Verschiebung* ( $v$ ) in Stereobildern den durchschnittlichen **Augenabstand** (**A**) der Betrachter nicht übersteigen. Da der **Fernpunkt** (**FPA**), also der Abstand des Raum-Fernpunktes im linken und rechten Stereo-Halbbild, in der Regel die größte Verschiebung aufweist, muss gelten:

$$FPA_{\max} \leq A_n$$

Um dies sicherzustellen, muss die gegenseitige Beziehung zwischen Aufnahme- und Projektionsbedingung bekannt sein. Da eine Projektion<sup>97</sup> eine vergrößerte Abbildung zur Folge hat, ist es zwingend erforderlich, zu wissen, wie groß die maximale Parallaxe im aufgenommenen Originalbild sein darf. Will man dies errechnen, ist zunächst der **Vergrößerungsfaktor** (**p**) der Projektion festzulegen. Wird beispielsweise ein normales KB-Dia mit einem Aufnahmeformat von 36 Millimetern auf eine Breite von 1,80 Metern projiziert, entspricht dies einem Vergrößerungsfaktor von 50. Aufgrund der bisherigen Überlegungen lässt sich folgende Formeln ableiten<sup>98</sup>:

$$FPA_{\max} \text{ (mm)} = A_n \text{ (mm)} = p \times v \text{ (mm)} \text{ woraus folgt } v \text{ (mm)} = A_n \text{ (mm)} / p$$

Bei einem durchschnittlichen Augenabstand von 63 Millimetern und einem angenommenen Vergrößerungsfaktor von 50 ergibt sich bei der Aufnahme eine maximal tolerierbare parallaktische Verschiebung von 1,26 Millimetern. Es ist jedoch zu beachten, dass dieser Wert speziell auf die Diafotografie bezogen ist. Demnach muss für jedes neue Projektionsverhältnis ein separater Wert definiert werden. Für die Leinwandprojektion von HD-Filmen ist also zunächst der **Vergrößerungsfaktor** (**p**) zu bestimmen, der zwischen der HD-Aufnahme und der *tatsächlich* genutzten Projektionsfläche besteht.

Wird die berechnete maximale parallaktische Verschiebung während der Aufnahme berücksichtigt, stellt dies eine natürliche und komfortable Betrachtung bei der stereoskopischen Projektion sicher. Damit wäre die erste Bedingung erfüllt.

97 Die Berechnungen von Projektionsdistanz ( $g$ ), Projektionsbildgröße ( $G$ ) oder erforderlicher Brennweite ( $f$ ) des Projektionsobjektivs können mit Hilfe folgender Formeln vorgenommen werden ( $B$  = Längsseite des Diapositivs oder Filmbild):  $G = (f(G - B))/B$ ;  $G = (B(g - f))/f$ ;  $f = (g \times B)/(G + B)$  Vgl. Tillmanns, Urs 1991: Foto Lexikon.

98 Vgl. Kuhn, Gerhard 1999: Stereo-Fotografie und Raumbild-Projektion, S. 24-25.

Um die zweite Bedingung einzuhalten, ist es erforderlich, die **Scheinfensterweite (SFW)**, die **Nahpunktweite (NPW)**, die **Fernpunktweite (FPW)** und die **Tiefenbereichsweite (TBW)** vor der eigentlichen Aufnahme festzulegen. Nur so kann garantiert werden, dass Konvergenzpunkt und Akkomodationspunkt nicht zu weit auseinanderdriften. Dabei muss zwischen zwei verschiedenen Aufnahmesituationen unterschieden werden:

1. Bei normalen **Außenaufnahmen**, bei denen die **FPW** unendlich groß ist, ist die Einteilung des Tiefenbereichs relativ einfach zu bewerkstelligen. In diesem Fall sollte die NPW mindestens der SFW entsprechen. Dies bedeutet, dass die korrespondierenden Nahpunkte des linken und rechten Halbbilds direkt auf dem Scheinfenster zusammenfallen. Wird dies berücksichtigt, wird das Divergenzverbot eingehalten. Die Formel<sup>99</sup> zur Berechnung der **Scheinfensterweite (SFW)** lautet:

**Scheinfensterweite SFW = Stereobasis SB × (Brennweite f / Parallaxe v)**  
 kurz: **SFW (cm) = SB (cm) × (f (mm) / v (mm))**

Beispiel:

Bei einer gegebenen maximalen parallaktischen Verschiebung von 1,26 mm, einer gewählten Stereobasis von 6,5 cm und einer Brennweite von 35 mm, ergibt sich eine Scheinfensterweite von rund 180 cm. Somit sind für diesen Fall alle erforderlichen Tiefenparameter verfügbar:

**SFW = 180 cm, NPW = SFW, FPW = ∞, TBW = 180 cm bis ∞**

2. Wie inzwischen festgestellt wurde, darf der darzustellende Raum einer Stereoaufnahme nur eine begrenzte Tiefe aufweisen, da sonst Konvergenzpunkt und Akkomodationspunkt zu weit auseinanderdriften. Sollen **Nahaufnahmen** gemacht werden, bei denen der Nahpunkt *vor* dem Scheinfenster liegt - bei der Projektion also *vor* der Leinwand erscheint - wird der fotografische Raum nach *vorne* erweitert. Das bedeutet, dass eine Begrenzung der Tiefenbereichsweite von *hinten* erfolgen muss, weshalb die Fernpunktweite nicht mehr unendlich groß sein darf. Die Tiefenbereichsweite, die bei späterer Betrachtung auch wirklich räumlich wirkt, ist somit bei Nahaufnahmen kleiner. Um die benötigten Tiefenparameter zu erhalten, ist wie folgt vorzugehen:

- a) **Scheinfensterweite (SFW)** wie oben gezeigt berechnen.
- b) Den **Nahpunkt (N)** festlegen und die Nahpunktweite (NPW) ausmessen.
- c) Die dazu passende **Fernpunktweite (FPW)** nach folgender Formel<sup>100</sup> berechnen:

**FPW (cm) = (SFW (cm) × NPW (cm)) / (SFW (cm) – NPW (cm))**

99 Vgl. Kuhn, Gerhard 1999: Stereo-Fotografie und Raumbild-Projektion, S. 25.

100 Vgl. Kuhn, Gerhard 1999: Stereo-Fotografie und Raumbild-Projektion, S. 26-27.

d) Die **Tiefenbereichsweite (TBW)** errechnet sich dann aus **FPW – NPW**

Wird bei einer Innenaufnahme die **Fernpunktweite (FPW)** durch das Bühnenbild oder die Studiowand vorgegeben, kann die dazu passende **Nahpunktweite (NPW)** nach folgender Formel berechnet werden:

$$\text{NPW (cm)} = (\text{SFW (cm)} \times \text{FPW (cm)}) / (\text{SFW (cm)} + \text{FPW (cm)})$$

## 3.2 Die stereoskopische Postproduktion

Während im Bereich der klassischen Stereofotografie eine beinahe unüberschaubare Menge an Literatur zur Verfügung steht, gibt es derzeit keine Publikation, die sich speziell mit der digitalen Stereo-3D-Postproduktion auf professionellem Niveau beschäftigt. Erfreulicherweise waren während der *fmx*-Konferenz 2008<sup>101</sup> mehrere Studios bereit, ihren Stereo-3D-Workflow teilweise offenzulegen. Damit war erstmalig ein Einblick in die stereoskopische Arbeit von *Walt Disney Animation*<sup>102</sup>, *Sony Imageworks*<sup>103</sup>, und *Frantic Films*<sup>104</sup> möglich. Darüber hinaus präsentierte die Firma *Quantel*<sup>105</sup> zum ersten Mal in Deutschland ein Echtzeit-Stereo-3D-Postproduktionssystem.

### *Bedeutung*

Der stereoskopischen Postproduktion kommt eine entscheidende Bedeutung bei der Herstellung und der Verbreitung von Stereo-3D-Filmen zu. „Die Postproduktion wird bei der Herstellung von Stereo-3D-Filmen eine noch wichtigere Rolle spielen als bei konventionellen Produktionen.“<sup>106</sup> Dies lässt sich damit begründen, dass bei einer stereoskopischen Produktion deutlich mehr potentielle Fehlerquellen existieren, als dies bei 2D-Drehs der Fall ist. Dadurch werden vermehrt korrigierende Eingriffe in der Postproduktion notwendig. Zu den typischen Fehlern, die nach dem Dreh behoben werden müssen, zählen<sup>107</sup>:

- Vertikaler oder horizontaler Versatz der Stereokameras
- Unterschiedliche Winkelversätze der Stereokameras

---

101 fmx/08: 13th International Conference on Animation, Effects, Games and Digital Media. May 05-08, 2008 in Stuttgart. URL: [www.fmx.de](http://www.fmx.de).

102 M. EMPEY, CG Supervisor und R. NEUMAN, Stereo Lead, Walt Disney Animation Studio: The Use of Stereoscopic Depth as a Storytelling Tool. URL: <http://www.disney.com>.

103 D. DENISE, Executive Vice President und R. ENGLE, Stereographer: Glorious Detail: The Magic of 3D Stereo Production. URL: <http://www.imageworks.com>.

104 C. HARVEY, Facility Supervisor, Frantic Films: A Journey in Stereo: A Case Study on Journey 3D and what a Stereo Film means for VFX. URL: <http://www.franticfilms.com>.

105 Die Firma Quantel wurde 1973 in England gegründet und entwickelt digitale Produktionssysteme im Broadcast- und Filmbereich. URL: <http://www.quantel.com/>.

106 Gebhard, C. & Voigt-Müller, G. 2008b: NAB2008-Trend: Stereo-3D.

107 Aus einem Interview mit JIM MANSFIELD, Post & ID Application Specialist der Firma Quantel, anlässlich der fmx/08. Vgl. Gebhard, C. & Voigt-Müller, G. 2008b: NAB2008-Trend: Stereo-3D.

- Unterschiedliche Abbildungsleistungen der Objektive durch Herstellungstoleranzen
- Einseitige Spiegelungen in Objektiven und optischem Zubehör
- Einseitige Bildstörungen
- Unruhige, ruckartige Kamerabewegungen oder unstabiler Bildstand

Neben der Korrektur solcher Aufnahmefehler besteht die Hauptaufgabe der Postproduktion darin, einen für den Zuschauer angenehmen Bildeindruck sicherzustellen und eine korrekte Tiefenwahrnehmung zu garantieren. Dazu gehört die Einstellung einer dem Projektionsmedium angepassten Parallaxe und die Einhaltung der maximal möglichen Tiefenwirkung. Um die Eingreifmöglichkeiten der Postproduktion zu verdeutlichen, wird im Folgenden nochmals auf die Entstehung der Stereobilder, speziell auf Rolle des Scheinfensters eingegangen.

#### *Manipulationsansätze*

Das **Scheinfenster (SF)** entspricht physiologisch betrachtet dem **Horopter** (siehe hierzu Kapitel 2). Aus mathematischer Sicht handelt es sich jedoch um die Bezugs- oder Projektionsebene für die Abbildung des Raumes mittels der **Zentralprojektion**. Da es in diesem Fall aufgrund der menschlichen Binokularität zwei **Aug- oder Zentralpunkte (Z)** gibt, werden alle Raumpunkte der Szene zweimal auf dem Scheinfenster abgebildet. Mittels zweier Aufnahmen aus der Position des linken und rechten Augpunktes kann der Raum bei der Projektion stereoskopisch rekonstruiert werden.<sup>108</sup>

Die Position der abgebildeten korrespondierenden Punkte der linken und rechten Ansicht hängt logischerweise von der räumlichen Position der Raumpunkte ab. Die linken und rechten Bildpunkte ferner Objekte liegen auf dem Scheinfenster weit auseinander. Je näher die Objekte positioniert sind, desto geringer werden die Abstände der korrespondierenden Bildpunkte. Bildpunkte von Objekten *auf* der Scheinfensterebene werden deckungsgleich abgebildet, während Bildpunkte von Objekten *vor* dem Scheinfenster seitenvertauscht abgebildet werden.

Abbildung 2.13 stellt die Projektion eines unendlich fernen Raumpunktes auf das Scheinfenster dar. Beide Blickachsen sind parallel, der Konvergenzwinkel ist somit Null. Dadurch werden die Schnittpunkte zwischen Projektionsgeraden und Projektionsebene - also die korrespondierenden linken und rechten Bildpunkte - auf dem Scheinfenster im Abstand der Augenbasis von etwa 65 Millimetern abgebildet. Dies ist die maximal zu erreichende stereoskopische Tiefe, das sogenannte „maximum

---

108 Kuhn, Gerhard 1999: Stereo-Fotografie und Raumbild-Projektion, S. 22-23.

for the in-screen value<sup>109</sup>, auch „stereo-optical infinity“<sup>110</sup> genannt. Die farbliche Markierung der Bildpunkte - Magenta für das linke Auge und Cyan für das rechte Auge - wird in den folgenden Beispielen beibehalten.

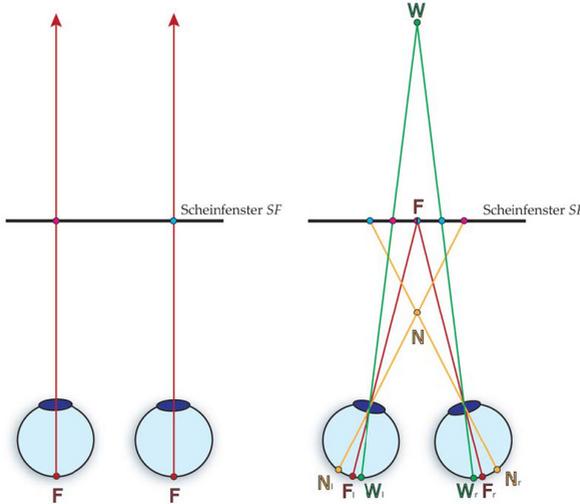


Abb. 2.13: Die maximale stereoskopische Tiefe    Abb. 2.14: Korrespondierende Bildpunkte der Projektion

In Abbildung 2.14 soll zunächst die Projektion des grünen Raumpunktes **W** analysiert werden, der im Verhältnis zu den Raumpunkten **F** und **N** am weitesten vom Betrachter entfernt ist. Dessen beide projizierten Bildpunkte liegen auf dem Scheinfenster näher beisammen als dies bei einem unendlich weit entfernten Punkt der Fall wäre. Je weniger weit sich also ein Raumpunkt *hinter* dem Scheinfenster befindet, desto *kleiner* wird der Abstand der korrespondierenden Bildpunkte. Bei einer stereoskopischen Rekonstruktion dieser Bildpunkte käme es zum **in-screen-effect**, der resultierend virtuelle Raumpunkt würde also *hinter* der Leinwandebene wahrgenommen werden.

Wie bereits eingangs erwähnt, entspricht das Scheinfenster dem physiologischen Horopter. Aus Kapitel 2 ist bekannt, dass die Querdisparation nach nasal gerichtet ist, wenn sich Objekte *hinter* dem Horopter befinden.<sup>111</sup> Je weiter also ein Objekt hinter dem Horopter liegt, desto weiter innen befinden sich die entsprechenden retinalen Abbilder dieses Objekts. Eine solche Disparität wird als **ungekreuzte Querdisparität** oder **positive Parallaxe** bezeichnet.

109 L. LIPTON, Chief Technology Officer of Real D in: Lipton, Lenny 2007: Vertical Surround Parallax Correction, S. 2. Online verfügbar unter: [http://www.reald-corporate.com/\\_resources/vertical.pdf](http://www.reald-corporate.com/_resources/vertical.pdf).

110 Lipton, Lenny 2007: Vertical Surround Parallax Correction, S. 1.

111 Vgl. Schmidt, R. F. & Schaible, H.-G. & Birbaumer, N. 2006: Neuro- und Sinnesphysiologie, S.278.

Der Raumpunkt **F** liegt offensichtlich auf der Scheinfensterebene. Aus diesem Grund werden seine korrespondierenden Bildpunkte des linken und rechten Auges deckungsgleich auf das Scheinfenster projiziert. Bei einer stereoskopischen Rekonstruktion dieser Bildpunkte würde der resultierend virtuelle Raumpunkt *auf* der Leinwandebene wahrgenommen, es käme zum **on-screen-effect**. Kommen korrespondierende Bildpunkte auf der Ebene der Leinwand zur Deckung, entspricht dies unseren normalen Sehgewohnheiten. Man spricht in diesem Fall von einer **Disparität 0** oder einer **zero parallax**<sup>112</sup>.

Der Raumpunkt **N** befindet sich vor dem Scheinfenster und ist damit dem Betrachter im Verhältnis zu den Raumpunkten **W** und **F** am nächsten. Seine korrespondierenden Bildpunkte werden *seitenvertauscht* abgebildet. Dadurch würde der resultierend virtuelle Raumpunkt bei einer stereoskopisch Rekonstruktion vor der Leinwandebene wahrgenommen werden, es käme zum **off-screen-effect**. Je weiter ein Objekt vor dem Horopter liegt, desto weiter außen befinden sich die entsprechenden retinalen Abbilder dieses Objekts. Eine solche Disparität wird als **gekreuzte Querdisparität** oder **negative Parallaxe** bezeichnet.

Aus diesen Vorüberlegungen lässt sich nun ein Zusammenhang zwischen der Bildpunktposition und der Stereotiefe ableiten. Es ist demnach offensichtlich möglich, durch die Verschiebung der Stereo-Halbbilder zu bestimmen, in welcher Tiefe die einzelnen Elemente der Szene im 3D-Raum erscheinen werden. Es gelten folgende Regeln:

1. Erscheint ein Objekt im linken Halbbild weiter links als im rechten Halbbild, scheint sich dieses Objekt hinter dem Scheinfenster (in-screen) zu befinden.
2. Ist ein Objekt im linken und rechten Halbbild deckungsgleich, wird es auf der Ebene des Scheinfensters (on-screen) erscheinen.
3. Erscheint ein Objekt im linken Halbbild weiter rechts als im rechten Halbbild, scheint sich dieses Objekt vor dem Scheinfenster (off-screen) zu befinden.

Diese Schlussfolgerungen sind vor allem für das **Compositing** entscheidend, bei dem schließlich mehrere unterschiedliche Elemente zu einem stimmigen Stereo-3D-Bild zusammengesetzt werden müssen. Das bedeutet konkret, dass die beiden Ansichten jedes einzelnen Layers entsprechend der gewünschten Tiefe auszurichten sind.

Um die Möglichkeiten der Manipulation zu verdeutlichen, sind im Folgenden drei Bildmontagen dargestellt, bei denen die Stereo-Halbbilder jeweils unterschiedlich verschoben wurden. Um die Verschiebungen eindeutig visualisieren zu können, wurden für diese Beispiele keine Anaglyphenbilder sondern Bildmontagen verwendet.

---

<sup>112</sup> Vgl. Lipton, Lenny 2007: Vertical Surround Parallax Correction, S. 2.

Abbildung 2.13 zeigt eine Bildmontage, bei der die beiden Stereo-Halbbilder so zueinander verschoben wurden, dass die Bildpunkte des Vordergrundobjekts deckungsgleich abgebildet werden. Dadurch würde der vordere rote Quader auf der Ebene des Bildschirms oder der Projektionsleinwand erscheinen (on-screen), während der blaue und der hintere rote Quader in der Tiefe wahrgenommen werden (in-screen).

In Abbildung 2.14 ist dasselbe Stereobildpaar abgebildet. Allerdings wurden die beiden Stereo-Halbbilder in diesem Beispiel so zueinander verschoben, dass die Bildpunkte des blauen Quaders im Mittelgrund deckungsgleich abgebildet werden. Dies hätte zur Folge, dass der blaue Quader auf der Ebene des Bildschirms oder der Projektionsleinwand erscheinen würde (on-screen), während der vordere rote Quader vor dem Scheinfenster wahrgenommen werden würde (off-screen). Der hintere rote Quader würde im Hintergrund erscheinen - allerdings nicht so tief wie in Abbildung 2.15. An dieser Stelle sei bereits auf eine Problematik des *off-screen-effects* hingewiesen: Der rote Quader im Vordergrund würde zwar theoretisch vor der Leinwand wahrgenommen werden. Da es sich jedoch aufgrund seines Schattens nicht um ein frei schwebendes Objekt handeln kann, käme es mit Sicherheit zu einem Fusionskonflikt.

Im letzten Beispiel in Abbildung 2.15 sind die korrespondierenden Bildpunkte des hinteren roten Quaders deckungsgleich, wodurch er auf der Ebene des Bildschirms oder der Projektionsleinwand erscheinen würde (on-screen). Die beiden anderen Quader müssten dementsprechend vor dem Scheinfenster wahrgenommen werden (off-screen). In der Praxis würde dies jedoch nicht funktionieren, da die negative parallaktische Verschiebung im Vordergrund das Fusionsvermögen der Zuschauer deutlich übersteigen würde. Der Tiefenendruck des Bildes würde zusammenbrechen. Durch Verschiebung der beiden Halbbilder zueinander können also die Tiefenpositionen der einzelnen Objekte verändert bzw. angepasst werden. Dies ist theoretisch fast unbegrenzt möglich. Die einzigen Einschränkungen sind dabei:

1. Das Divergenzverbot muss eingehalten werden.
2. Ein Objekt mit einer negativen Parallaxe, das dementsprechend *vor* dem Scheinfenster wahrgenommen wird, darf nicht von der Außenkante des Monitors oder der Leinwandbegrenzung angeschnitten werden, da dies zwangsweise zu einem Fusionskonflikt führen würde. Ein solcher Konflikt, im englischen Sprachraum als *Window Violation*, *Breaking Window* oder *3D drop out* bezeichnet, ist für die Zuschauer nicht lange zu ertragen, denn schließlich kann ein Objekt nicht gleichzeitig *vor* und *hinter* dem Screen positioniert sein! Tritt dieser Fall trotz sorgfältiger Durchführung auf, müssen diese Objekte spätestens in der Postproduktion „von Hand“ auf die Ebene des Scheinfensters gesetzt werden.<sup>113</sup>

---

113 Vgl. Allen, Damian 2007: Encyclopedia of visual effects, S. 494.

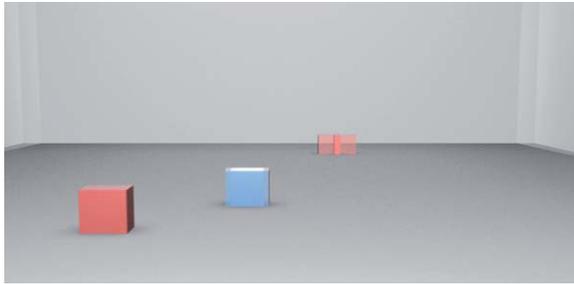


Abb. 2.15: Das Vordergrundobjekt ist on-screen

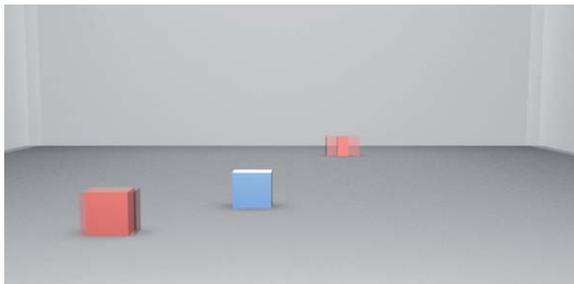


Abb. 2.16: Das Mittelgrundobjekt ist on-screen

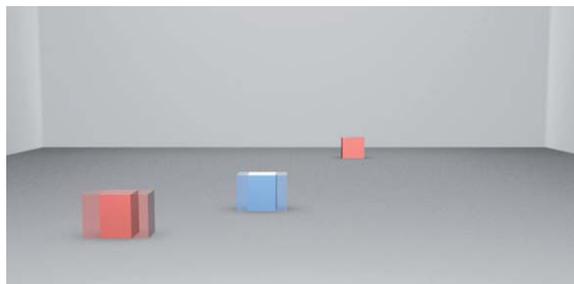


Abb. 2.17: Das Hintergrundobjekt ist on-screen



## Autor

Frank Hofmeyer



Studium der Medieninformatik an der Hochschule Furtwangen University von 2003 - 2007 mit dem Abschluß Dipl.-Inform. (FH). Anschließend Masterstudium Computer Science in Media ebenfalls an der Hochschule Furtwangen. Derzeit in einer leitenden Position im Produktionsmanagement der Neue Medien bei PLAZAMEDIA GmbH TV & Film Produktion in Ismaning.



## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 2.1: Zeichnung eines Horopters von Aguilonius, 1603  
Crone, Robert A. 1992: The history of stereoscopy, S. 3
- Abb. 2.2: Huygens Zeichnung korrespondierender Netzhautpunkte aus dem Jahre 1667  
Crone, Robert A. 1992: The history of stereoscopy, S. 8
- Abb. 2.3: Wheatstones Spiegel-Stereoskop von 1838  
Hoffmann, Albrecht 1990: Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie, S. 10
- Abb. 2.4: Eine der Demonstrationszeichnungen von Charles Wheatstone von 1838  
Hoffmann, Albrecht 1990: Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie, S. 11
- Abb. 2.5: L' Arrivée du Train aus dem Jahre 1903  
<http://www.institut-lumiere.org/francais/patrimoinelumiere/filmslumiere.html>
- Abb. 2.6: Typische Kinoplakate der frühen 1950er Jahre  
Wittkowsky, Wilfried 2003: Der 3D-Film. Spielfilme
- Abb. 2.7: linkes Stereo-Halbbild der Szene  
Rendering: Frank Hofmeyer
- Abb. 2.8: rechtes Stereo-Halbbild der Szene  
Rendering: Frank Hofmeyer
- Abb. 2.9: parallaktische Verschiebungen im Stereobild  
Rendering: Frank Hofmeyer
- Abb. 2.10: Konvergenz  
Illustration: Frank Hofmeyer
- Abb. 2.11: Divergenz  
Illustration: Frank Hofmeyer
- Abb. 2.12: Übersicht über die zu beachtenden Abstände am Stereo-Set  
Illustration: Frank Hofmeyer, Kameras aus der aktuellen GY-HD251 Brochüre, S. 9
- Abb. 2.13: Die maximale stereoskopische Tiefe  
Illustration: Frank Hofmeyer
- Abb. 2.14: Korrespondierende Bildpunkte der Projektion  
Illustration: Frank Hofmeyer
- Abb. 2.15: Das Vordergrundobjekt ist on-screen  
Rendering: Frank Hofmeyer
- Abb. 2.16: Das Mittelgrundobjekt ist on-screen  
Rendering: Frank Hofmeyer
- Abb. 2.17: Das Hintergrundobjekt ist on-screen  
Rendering: Frank Hofmeyer



## Literaturverzeichnis

- Alias Wavefront 2004: Learning Maya 6. MEL Fundamentals; a hands-on introduction to Maya Embedded Language. Toronto: Maya.
- Allen, Damian 2007: Encyclopedia of visual effects. Berkeley, Calif., London: Peachpit Press; Pearson Education.
- Bär, Gert 2001: Geometrie - Eine Einführung für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Teubner.
- Bähr, Achim 1993: Anaglyphen. In: 3D-Magazin 4, Haltern. Engl. Fassung: Anaglyphs. In: Stereoscopia Nr. 2/36, International Stereoscopic Union 1998.
- Barlow, H. B. & Blackmore C. & Pettigrew, J. D. 1967: The neural mechanism of binocular depth discrimination. In: J. Physiol 193, S.327-342
- Bartels, Heinz 1995: Physiologie. Lehrbuch und Atlas; 20 Tabellen. 5., überarb. Aufl. München, Wien, Baltimore: Urban und Schwarzenberg.
- Bender, Michael & Brill, Manfred 2006: Computergrafik. Ein anwendungsorientiertes Lehrbuch. 2., überarb. Aufl. München: Hanser.
- Benninghoff, Alfred 1994: Anatomie, Bd. 1: Zellenlehre und Gewebelehre, Entwicklungsbiologie, Bewegungsapparat, Herz-Kreislauf-System, Immunsystem, Atemapparat; 15., völlig neu bearb. Aufl. München: Urban & Schwarzenberg.
- Benninghoff, Alfred 1994: Anatomie, Bd. 2: Niere, Reproduktionsorgane, endokrine Drüsen, Nervensystem, Sinnesorgane, Haut. 15., völlig neu bearb. Aufl. München: Urban & Schwarzenberg.
- Bertram, Sacha 2005: VFX. Konstanz: UVK-Verl.-Ges. (Praxis Film, 22).
- Birbaumer, N. & Schmidt, R. F. 2006: Biologische Psychologie. 6. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg.
- Birn, Jeremy 2006: Digital lighting & rendering. 2. ed. Berkeley, Calif.: New Riders.
- Blake, R. & Hirsch, H. V. B. 1975: Deficits in binocular depth perception in cats after alternating monocular deprivation. In: Science 190, S. 1114-1116
- Bortz, Jürgen & Döring, Nicola 2006: Forschungsmethoden und Evaluation. Für Human- und Sozialwissenschaftler. 4., überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg.
- Bowers, Brian 1975: Sir Charles Wheatstone FRS, 1802-1875. Science Museum (Hg.). London: H.M.S.O.
- Bowers, Brian 2001: Sir Charles Wheatstone FRS. 1802-1875. 2. ed. London: IEE (IEE history of technology series, 29).
- Choi, Jae-jin 2004: Maya. Character animation, 2nd edition. Sophisticated modeling and animation techniques. 2nd ed. Alameda CA: SYBEX.
- Churchland, P. S. & Ramachandran, V. S. 1996: Filling in: Why Dennett is wrong. In K. Atkins (Hrsg.), Perception. Oxford, England: Oxford Press
- Cohen, Michael F. & Wallace, John R. 1993: Radiosity and Realistic Image Synthesis. Academic Press, 1993
- Crone, Robert A. 1992: The history of stereoscopy. In: Documenta Ophthalmologica 81. The official journal of the International Society for Clinical Electrophysiology of Vision, S. 1-16
- Cunningham, Andrew 1997: The anatomical renaissance. The resurrection of the anatomical projects of the ancients. Aldershot: Scolar Press [u.a.].
- Cutting, J.E. & Vishon, P.M. 1995: Perceiving layout and knowing distances: The integration, relative potency, and contextual use of different information about depth. In
- Epstein, W. & Rogers, S. (Hrsg.), Handbook of perception and cognition: Perception of space and motion, S.69-117. New York: Academic Press.
- Descartes, René 1637: Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences (dt: „Abhandlung über die Methode des richtigen Vernunftgebrauchs und der wissenschaftlichen Wahrheitsforschung“). Eine Übersetzung des Textes ist online verfügbar unter: <http://www.textlog.de/descartes-methode.html>, zuletzt geprüft am 01.04.2008.
- Driemeyer, Thomas & Herken, Rolf 2005: Rendering with mental ray, mental ray Handbooks Vol. 1. 3. völlig überarbeitete Ausgabe. Springer-Verlag. Wien, New York.
- Driemeyer, Thomas 2005: Programming mental ray, mental ray Handbooks, Vol. 2. 3. völlig überarbeitete Ausgabe. Springer-Verlag. Wien, New York.

- Epstein, William 1965: Nonrelational judgements of size and distance. In: *American Journal of Psychology* 78, S. 120-123
- Fahle, M. 1982: The apparent size of objects situated in front of or behind the horopter. In: Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology. Official organ of the Club Jules Gonin – Albrecht von Graefe's Archiv für klinische und experimentelle Ophthalmologie. Berlin, Heidelberg: Springer. Volume 225, Number 1 / Februar 1987.
- Faller, A. & Schünke, M. & Schünke, G. 1995: *Der Körper des Menschen. Einführung in Bau und Funktion*. 12. Aufl. Stuttgart: Thieme [u.a.]
- Fellner, Wolf-Dietrich 1988: *Computer-Grafik*. Mannheim: BI-Wissenschaftsverl. (Reihe Informatik, 58).
- Fleischer, F. P. & Ludwig, W. & Wartmann, R. 1952: *Der optimale Horopter*. In: *Pflügers Archiv*, Bd. 254, S. 377-392
- Fletcher, Nick 2007: *Highway*. Das JVC Kundenmagazin. Chefredakteur: Nick Fletcher. JVC Professional Europe Ltd. Ausgabe September 2007
- Foley, Jim & Dam, Andries van & Feiner, Steven & Hughes, John 1991: *Computer Graphics - Principles and Practice*. Addison-Wesley.
- Frank, Anja 2007: *Bachelor-Thesis: Stereoskopische High Definition Produktion*. Hochschule Furtwangen University, Fakultät Digitale Medien, Sommersemester 2007
- Fries, Christian 2002: *Mediengestaltung*. Hanser, Carl, GmbH & Co.
- Gauthier, Jean-Marc 2005: *Building interactive worlds in 3D. Virtual sets and pre-visualization for games, film, and the Web*. Amsterdam: Elsevier/Focal Press.
- Giesen, Rolf 2000: *Künstliche Welten. Tricks Special Effects und Computeranimation im Film von den Anfängen bis heute*; Orig.-Ausg. (2000). Hamburg, Wien: Europa-Verlag
- Giesen, Rolf 2003: *Lexikon des Trick- und Animationsfilms. Von Aladdin, Akira und Sindbad bis zu Shrek, Spider-Man und South Park; Filme und Figuren, Serien und Künstler, Studios und Technik; die große Welt der animierten Filme; Zeichen-, Puppen-, Silhouetten- und Legetrick, Stop Motion, Mischfilme und 3D-Computeranimation*. Berlin: Schwarzkopf & Schwarzkopf.
- Glassner, Andrew S. 1989: *An Introduction to Ray Tracing*. Academic Press.
- Goldstein, E. Bruce 2001: *Pictorial perception and art*. In Goldstein, E. B. (Hrsg.): *Blackwell handbook of perception*, S. 344-378. Oxford, UK: Blackwell.
- Goldstein, E. Bruce 2008: *Wahrnehmungspsychologie. Der Grundkurs*. 7. Aufl. Berlin, Heidelberg: Spektrum Akad. Verl.
- Harten, Ulrich 2007: *Physik. Einführung für Ingenieure und Naturwissenschaftler*. 3., bearb. und erw. Aufl. Berlin: Springer (Springer-Lehrbuch).
- Heine, L. 1935: *Anatomisch-physiologisch-pathologische Grundlagen der Stereoskopie*. In: *Naturwissenschaften*, Jg. 23, H. 51, S. 855-860.
- Hoffmann, Albrecht 1990: *Das Stereoskop. Geschichte der Stereoskopie*. München: Deutsches Museum (Materialien für die betriebliche Ausbildung).
- Huygens, Christiaan 1667: *Deuxième complément de la Dioptrique*. In: *Oeuvres Complètes*, XIII/2. La Haye, Nijhoff, 1916.
- Julesz, Bela 1964: *Binocular depth perception without familiarity cues*. In: *Science* 145, S. 356-362
- Kaplan, G. 1969: *Kinetic disruption of optical texture: The perception of depth at an edge*. In: *Perception and Psychophysics* 6, S. 193-198
- Kepler, Johannes 1604: *Ad Vitellionem palapipomena, quibus astronomiae pars optica traditur*. In: *Johannes Kepler: Gesammelte Werke*, Ed. Walther von Dyck & Max Caspar, München, 1939
- Kidd, S.A. 2002: *The role of qualitative research in psychological journals*. In: *Psychological Methods*, 7, S. 126-138.
- Knoll, John 2005: *Star Wars. George Lucas und die Schöpfung seiner Welten*: Knesebeck.
- Küppers, Harald 2005: *Farbenlehre. Orig.-Ausg. Köln: DuMont (DuMont-Taschenbücher, 563 : DuMont-Schnellkurs)*.
- Kuhn, Gerhard 1999: *Stereo-Fotografie und Raumbild-Projektion. Theorie und Praxis, Geräte, Materialien*. Gilching: vfv.
- Kurzer, F. 2004: *The life and work of Charles Tomlinson FRS: A Career in Victorian Science and Technology*. In *NR 2004 Vol 58 S. 203-226*
- Laube, Helene 2007: *Vorwärts in die Vergangenheit*. In: *Financial Times Deutschland*, 27.03.2007. Verlag: Financial Times Deutschland GmbH & Co. KG
- Lejeune, A. 1948: *Euclide et Ptolémée. Deux stades de l'optique géométrique grecque*. Université de Louvain, Recueil de travaux d'histoire et de philologie, ser. 3, fasc. 31
- Lejeune, A. 1958: *Les recherches de Ptolémée sur la vision binoculaire*. In: *Janus* 1958, 47, S. 79-86
- Lippert, Herbert 1995: *Anatomie. Text und Atlas; deutsche und lateinische Bezeichnungen*. 6., überarb. u. erw. Aufl. München: Urban & Schwarzenberg.
- Lipton, Lenny 1982: *Foundations of the Stereoscopic Cinema. A Study in Depth*. Van Nostrand Reinhold Company. New York, Cincinnati, Toronto, London, Melbourne
- Mach, Rüdiger & Petschek, Peter 2006: *Visualisierung digitaler Gelände- und Landschaftsdaten*. Berlin: Springer.
- Mäusel, Rudolf 1992: *Repetitorium - Fernsehtechnik*. München: Rohde & Schwarz.
- Mamassian, P. & Knill, D. & Kersten, D. 1998: *The perception of cast shadows*. In: *Trends in Cognitive Sciences* 2, S. 288-295.
- Mahintorabi, Keywan 2003: *Maya. 3D-Grafik und 3D-Animation; Modellieren, Rendern, Animieren; Texturen, Materialien, Lichteffekte*. 1. Aufl. Bonn: mitp-Verl. (Grafik).

- Manthey, Dirk & Fiebig, Helmut 1998a: Making of ... wie ein Film entsteht. Band 1: Idee, Produktion, Drehbuch, Storyboard & Konzept, Regie, Kamera, Schauspieler, Kostüm & Design, Marketing. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt (Rororo, 60574 : Rororo-Sachbuch: Rororo Film + TV).
- Manthey, Dirk & Fiebig, Helmut 1998b: Making of ... wie ein Film entsteht. Band 2: Set-Team, Effekte & Tricks, Maske, Stop motion Animation, digitale Effekte, Schnitt, Ton & Musik, Synchronisation, Zukunft des Kinos. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt (Rororo Rororo-Sachbuch, 60575).
- Marchesi, Jost J. 2002: Photokollegium. Ein Selbstlehrgang über d. technischen Grundlagen der Photographie. 5. Auflage. Schaffhausen: Verl. Photographie (Band 1-6).
- McWade, John 2006: Our color wheel. In: Before & After magazine 45, S. 7. Online verfügbar unter: <http://www.bamagazine.com>, zuletzt geprüft am 10.12.2007.
- Mitchell, Rick 2004: The tragedy of 3-D cinema. In Film History: An International Journal, Vol. 16, No. 3, Pages 208-215
- Monaco, James 2007: Film verstehen. Kunst, Technik, Sprache, Geschichte und Theorie des Films und der Medien; mit einer Einführung in Multimedia. 9. Aufl., überarb. und erw. Neuausg. 2000. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt-Taschenbuch-Verl.
- Mon-William, M. & Tresilian, J. R. 1999: Some recent studies on the extraretinal contribution to distance perception. In: Perception 28, S. 167-181.
- Mulack, Thomas & Giesen, Rolf 2002: Special visual effects. Planung und Produktion. 1. Aufl. Gerlingen: Bleicher (Produktionspraxis, 10).
- Neumann, Thomas 1966: Sozialgeschichte der Photographie. Neuwied: Luchterhand (Soziologische Essays).
- Newhall, Beaumont 2005: Geschichte der Photographie. München: Schirmer Mosel.
- Nischwitz, Alfred & Haberäcker, Peter 2004: Masterkurs Computergrafik und Bildverarbeitung. Alles für Studium und Praxis - Bildverarbeitungswerkzeuge. 1. Aufl. Wiesbaden: Vieweg.
- Ooi, T. L. & Wu, B. & He, Z. J. 2001: Distance determined by the angular declination below the horizon. In: Natur 414, S. 197-200.
- Ottermann, Stephan 1980: Das Panorama. Die Geschichte eines Massenmediums. Frankfurt a.M.
- Patterson, D. A. & Gibson, G. & Katz, R. H. 1988: A Case for Redundant Arrays of Inexpensive Disks (RAID). University of California, Computer Science Division. Online verfügbar unter: <http://www.cs.cmu.edu/~garth/RAIDpaper/Patterson88.pdf>. Letzter Zugriff: 12.02.2008.
- Pietsch, Werner 1957: Die Praxis der Stereo-Nahaufnahmen. Wilhelm-Knapp-Verlag, Halle/Saale
- Poynton, Charles A. 2003: Digital Video and HDTV. Algorithms And Interfaces: Morgan Kaufmann Publishing.
- Radeck, Michael 2004: Artikel: Keying am AVID DS Nitris. In: Digital Production 04:04, ACT GmbH, München, S.156-157.
- Reimers, Ulrich 1997: Digitale Fernsehtechnik. Datenkompression und Übertragung für DVB: Springer-Verlag GmbH & Co. KG.
- Rohr, Moritz von 1923: Auswahl aus der Behandlung des Horopters bei Fr. Agulionius um 1613. In: Zeitschrift für ophthalmologische Optik 11, S. 41-59
- Rollmann, Wilhelm 1853: Zwei neue stereoskopische Methoden. In: J. C. Poggendorff (Hrsg.), Annalen der Physik (und Chemie). Halle/Leipzig. S. 186f
- Sammons, Eddie 1992: The World of 3-D Movies. A Delphi Publication.
- Schandry, Rainer 2006: Biologische Psychologie. Ein Lehrbuch. 2., überarb. Aufl. Weinheim: Beltz PVU.
- Schäffler, Arne 1996: Mensch, Körper, Krankheit. 2., überarb. und erw. Aufl., 2. kor. Nachdr. Neckarsulm: Jungjohann.
- Schmidt, R. F. & Lang, F. & Thews†, G. 2005: Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie. 29. vollständig neu bearbeitete und aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg (Springer-11777 /Dig. Serial)].
- Schmidt, R. F. & Schaible, H.-G. & Birbaumer, N. 2006: Neuro- und Sinnesphysiologie. Mit 12 Tabellen. 5., neu bearb. Aufl. Heidelberg: Springer Medizin (Springer-Lehrbuch).
- Schmidt, Ulrich 2000: Professionelle Videotechnik. Analoge und digitale Grundlagen Signalformen Videoaufnahme Wiedergabe Speicherung Signalverarbeitung und Studiotchnik; mit 49 Tabellen. 2., aktualisierte und erw. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schönherr, Maximilian 2006: Maya 7. Die Referenz; über 1000 Befehle übersetzt, erklärt, illustriert. München: Addison-Wesley (dpi).
- Schubert, G. 1965: Visueller Cortex und Binocularsehen. In: Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology. Springer Berlin / Heidelberg. Volume 168, Number 5 / Oktober 1965, S. 431-437
- Schubert, G. 1967: Die Physiologie des Binocularsehens. In: Documenta ophthalmologica. The official journal of the International Society for Clinical Electrophysiology of Vision. Dordrecht, Dordrecht, The Hague: Springer; Kluwer Acad. Publ.; Junk. Volume 23, Number 1 / Dezember 1967 S. 1-17.
- Schwegler, Johann S. 1996: Der Mensch - Anatomie und Physiologie. Schritt für Schritt Zusammenhänge verstehen. Stuttgart: Thieme.
- Shaw, Jeffrey & Weibel, Peter 2003: Future cinema. The cinematic imaginary after film. Karlsruhe: ZKM (Electronic culture).
- Sillion, Francois X. & Puech, Claude 1994: Radiosity, Global Illumination. Morgan Kaufmann.
- Smith, Steve 2007: Perfect Color Keys: A Checklist, in Creative Cow Magazine. The Magazine for Media Professionals Working in Video, Film, Audio, Motion Graphics, Imaging & Design (May/June 2007). Publishers: Ron & Kathlyn Lindeboom. A creativecow.net Publication.

- Steinhäuser A. 1889: Jahrbuch für Photographie und Reproduktionstechnik (1887-1914). Eder J. M. (Hrsg.) Halle, S. Stephan, Volker 2008: Bachelor-Thesis: Konzeption und Implementierung eines praxisorientierten, stereoskopischen HD-Produktionssystems. Hochschule Furtwangen University, Fakultät Digitale Medien, Wintersemester 2007/2008
- Storch, V. & Welsch, U. & Wink, M. & Arendt, D. 2007: Evolutionsbiologie. 2., vollst. überarb. und erw. Aufl. Berlin: Springer (Springer-Lehrbuch). Taylor J. 1750: Mechanismus des menschlichen Auges. Frankfurt
- Thissen, Frank 2000: Screen-Design-Handbuch. Effektiv informieren und kommunizieren mit Multimedia. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Tillmanns, Urs 1991: Foto Lexikon. 1367 Fachbegriffe: Photographie. Tresilian, J. R. & Mon-Williams, M. & Kelly, B. 1999: Increasing confidence in vergence as a cue to distance. in: Proceedings of the Royal Society of London, 266B, S. 39-44.
- Trevor-Roper, Patrick 1989: Chevalier Taylor – Ophthalmiater Royal (1703–1772). In: Documenta Ophthalmologica, Volume 71, Number 2 / Februar 1989, S. 113-122
- Uka, T. & DeAngelis, G. C. 2003: Contribution of middle temporal area to coarse depth discrimination: Comparison of neuronal and psycho-physical sensitivity. In: Journal of Neuroscience 23, S. 3515-3530
- Wade, Nicholas J. 2005: Perception and Illusion. Historical Perspectives. Boston, MA: Springer Science + Business Media Inc.
- Walk, Richard D. & Gibson, Eleanor J. 1961: A comparative and analytical study of visual depth perception. In: Washington: American Psychological Ass. (Psychological monographs 519, S. 75
- Wheatstone, Charles 1838: Contributions to the Physiology of Vision. Part the First. On some remarkable, and hitherto unobserved, Phenomena of Binocular Vision. In: Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Vol. 128, S. 371 - 394. Online verfügbar unter <http://www.stereoscopy.com/library/wheatstone-paper1838.html>, zuletzt geprüft am 02.04.2008
- Wheatstone, Charles 1879: The scientific papers of Sir Charles Wheatstone. Published by The Physical Society of London. London: Taylor and Francis.
- Wheatstone, Charles 2007: The Scientific Papers of Sir Charles Wheatstone: Kessinger Publishing.
- Wurtz, R. H. & Kandel, E. R. 2000: Perception of motion, depth, and form. In: Principles of neuronal science. New York: McGraw-Hill, S. 548-570 2. Internet 3-D Review 2008: The online magazine of stereoscopic product reviews and information. Online verfügbar unter: <http://www.3-dreview.com/>, zuletzt geprüft am 05.05.2008.
- 3-D Revolution Productions 2007. Firmenhomepage. Perspective on 3-D Movie Making. Online verfügbar unter: <http://www.the3drevolution.com/3danatomy.html/>, zuletzt geprüft am 20.05.2008.
- Adobe 2008a: Firmenprofil. Online verfügbar unter: <http://www.adobe.com/de/aboutadobe/>, zuletzt geprüft am 27.04.2008.
- Adobe 2008b: Features von After Effects. Online verfügbar unter: <http://www.adobe.com/de/products/aftereffects/features/>, zuletzt geprüft am 27.04.2008.
- Bahr, Achim 1993: Anaglyphen. Online verfügbar unter <http://www.3dwebsite.de/de/assets/downloads/anaglyphen.pdf>, zuletzt geprüft am 10.04.2008
- BARCO Simulation Products 2002: Stereoscopic Projection. 3D Projection Technologie. Online verfügbar unter: [http://www.barco.com/projection\\_systems/downloads/Barco\\_stereoscopic\\_proj.pdf](http://www.barco.com/projection_systems/downloads/Barco_stereoscopic_proj.pdf), zuletzt geprüft am 02.04.2008.
- Bauhaus 2008: bauhaus – archiv museum für gestaltung. Online verfügbar unter: [http://www.bauhaus.de/bauhaus1919/biographien/druck\\_iten.htm](http://www.bauhaus.de/bauhaus1919/biographien/druck_iten.htm), zuletzt geprüft am 26.02.2008.
- BFS 2008: Bundesverband Filmschnitt Editor e. V. (2008): BFS-Filmeditor. Online verfügbar unter <http://www.bfs-cutter.de/>, zuletzt aktualisiert am 30.01.2008, zuletzt geprüft am 25.02.2008.
- Biesterfeld, Lutz 2008: Förderverein für Kaiser-Panoramen e. V. Online verfügbar unter <http://www.kaiser-panorama.de>, zuletzt geprüft am 07.04.2008.
- CIE 2007: Commission Internationale de l'Éclairage. Online verfügbar unter: [http://www.cie.co.at/index\\_ie.html](http://www.cie.co.at/index_ie.html), zuletzt aktualisiert am 07.01.2008, zuletzt geprüft am 06.03.2008.
- Codex Digital 2008: Firmenhomepage. High Resolution Medie Systems. Online verfügbar unter: <http://www.codexdigital.com/index.php>, zuletzt geprüft am 20.05.2008.
- Cohen, David S. 2008: James Cameron supercharges 3-D. In: Variety. Online verfügbar unter: <http://www.variety.com/VR1117983864.html>, zuletzt geprüft am 10.05.2008.
- Cohen, Karl 2000: Milestones Of The Animation Industry In The 20th Century. ANIMATION WORLD MAGAZINE. Online verfügbar unter: <http://www.awn.com/mag/issue4.10/4.10pages/cohenmilestones.php3>, zuletzt geprüft am 21.02.2008.
- Flat Black Films 2005: Rotoshop. Online verfügbar unter: <http://www.flatblackfilms.com/Rotoshop.html>, zuletzt aktualisiert am 12.10.2005, zuletzt geprüft am 22.02.2008.
- Fleischer, Max 1917: Patent US1242674. Online verfügbar unter: <http://www.freepatentsonline.com/1242674.pdf>, zuletzt geprüft am 04.03.2008.
- FMX 2008: Homepage der fmx/08: 13th International Conference on Animation, Effects, Games and Digital Media. May 05-08, 2008 in Stuttgart. Online verfügbar unter: [www.fmx.de](http://www.fmx.de), zuletzt geprüft am 11.05.2008.
- Garber, Daniel 2003: Routledge Encyclopedia of Philosophy Online: Descartes, René (1596–1650). Online verfügbar unter: <http://www.rep.routledge.com/article/DA026>, zuletzt geprüft am 01.04.2008.
- Gebhard, C. & Voigt-Müller, G. 2008a: Chancen fürs Kino: 3D. Online verfügbar unter: [http://www.film-tv-video.de/newsdetail.html?&no\\_cache=1&uid=37252&L=](http://www.film-tv-video.de/newsdetail.html?&no_cache=1&uid=37252&L=), zuletzt geprüft am 05.05.2008.

- Gebhard, C. & Voigt-Müller, G. 2008b: NAB2008-Trend: Stereo-3D. Online verfügbar unter: [http://www.film-tv-video.de/newsdetail.html?&no\\_cache=1&uid=37220&L=](http://www.film-tv-video.de/newsdetail.html?&no_cache=1&uid=37220&L=), zuletzt geprüft am 05.05.2008.
- Gebhard, C. & Voigt-Müller, G. 2008c: NAB2008-Trend: Überall Flash-Speicher. Online verfügbar unter: [http://www.film-tv-video.de/newsdetail.html?&no\\_cache=1&uid=37219&L=](http://www.film-tv-video.de/newsdetail.html?&no_cache=1&uid=37219&L=), zuletzt geprüft am 20.05.2008.
- Gebhard, C. & Voigt-Müller, G. 2008d: NAB2008: Portable 4K-Recorder von Codex. Online verfügbar unter: [http://www.film-tv-video.de/newsdetail.html?&no\\_cache=1&uid=37276&L=](http://www.film-tv-video.de/newsdetail.html?&no_cache=1&uid=37276&L=), zuletzt geprüft am 20.05.2008.
- Hagler, Jürgen 2007: Jürgen Hagler: Digital Media for Artists. Geschichte der Animation - Die wichtigsten Entwicklungsschritte ab 1900. Kunstuniversität Linz. Online verfügbar unter: <http://www.dma.ufg.ac.at/app/link/Grundlagen:3D-Grafik/module/14100;jsessionid=91706A9D2B0420CD49503394E6A904DA>, zuletzt geprüft am 21.02.2008.
- HDV 2007: HDV Format Main Specifications (Ver. 1.0). Online verfügbar auf der HDV Information Web Site unter: <http://www.hdv-info.org/HDVSpecifications.pdf>. Letzter Zugriff: 13.02.2008. Auf der beigelegten CD enthalten.
- Jackel, D. 2003: Stereodisplays & autostereoskopische Displays. Lehrmaterial zum Vortragsseminar Visuelle Wahrnehmung und 3D-Displays am Lehrstuhl für Visual Computing und Computergraphik der Universität Rostock. Online verfügbar unter: [www.icg.informatik.uni-rostock.de/Lehre/HCG/scripte0304/04\\_3DDisplays.pdf](http://www.icg.informatik.uni-rostock.de/Lehre/HCG/scripte0304/04_3DDisplays.pdf), zuletzt geprüft am 28.02.2008.
- Kirsner, Scott 2008: Tech Impact Report. James Cameron, Filmmaker. In: Variety. Online verfügbar unter: <http://www.variety.com/article/VR1117978512.html?categoryid=2438&cs=1>, zuletzt geprüft am 10.05.2008.
- Küppers, Harald 2001: Küppers-Farbenlehre: Biographie H.K. Online verfügbar unter: <http://www.ipsi.fraunhofer.de/Kueppersfarbe/de/kueppers.html>, zuletzt aktualisiert am 2001, zuletzt geprüft am 26.02.2008.
- Kunz, Thomas B. 2007: TBK: Anaglyphen-Stereoskopien & Kaiserpanorama. Online verfügbar unter: <http://www.tbk.de/3dstereo/>, zuletzt geprüft am 20.02.2008.
- Lataille, Roland 2008: Cinerama. Online verfügbar unter: <http://cinerama.topcities.com/>, zuletzt geprüft am 06.05.2008.
- Lipton, Lenny 2007: Vertical Surround Parallax Correction. Online verfügbar unter: [http://www.readl-corporate.com/\\_resources/vertical.pdf](http://www.readl-corporate.com/_resources/vertical.pdf), zuletzt geprüft am 12.05.2008.
- Markstein, Don 2008a: Max Fleischer Studio - Don Markstein's Toonopedia. Online verfügbar unter: <http://www.toonopedia.com/fleischr.htm>, zuletzt geprüft am 21.02.2008.
- Markstein, Don 2008b: Glossary - Don Markstein's Toonopedia. Online verfügbar unter: <http://www.toonopedia.com/glossary.htm#rotoscope>, zuletzt geprüft am 21.02.2008.
- Matteworld 2008a: Effects For Film. Online verfügbar unter: <http://www.matteworld.com/film/index.html>, zuletzt geprüft am 20.02.2008.
- Matteworld 2008b: Company Info. Online verfügbar unter: <http://www.matteworld.com/info/>, zuletzt geprüft am 20.02.2008.
- Mediaprofiles 2008: HD - Die neue Dimension des Film(en)s. Online verfügbar unter: <http://www.mediaprofiles.net/content/view/132/49/>, zuletzt geprüft am 13.02.2008.
- Müller, Christine Xuán 2006: 5D-Kino: Das große Krabbeln. Online verfügbar unter: <http://www.spiegel.de/kultur/kino/0,1518,396407,00.html>, zuletzt geprüft am 20.05.2008.
- Näher, Markus 2008: 3D: Kino zum Anfassen. Online verfügbar unter: [http://www.film-tv-video.de/newsdetail.html?&no\\_cache=1&uid=37097&L=](http://www.film-tv-video.de/newsdetail.html?&no_cache=1&uid=37097&L=), zuletzt geprüft am 05.05.2008.
- Pastoor, Siegmund & Wöpping, Matthias 2002: 3-D Displays: A review of current technologies. Online verfügbar unter: <http://www.dgp.toronto.edu/~gf/Research/Volumetric%20UI/3-D%20Displays%20A%20review%20of%20current%20technologies.htm>, zuletzt geprüft am 10.04.2008.
- Planck, Max 2008: Max Planck Institute for the History of Science, Berlin: The Virtual Laboratory Essays and Resources on the Experimentalization of Life VL People. Online verfügbar unter <http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/people/data?id=per90>, zuletzt geprüft am 26.02.2008.
- Poch, Bernd 1999: Das Kaiserpanorama. Das Medium, seine Vorgänger und seine Verbreitung in Nordwestdeutschland. Online verfügbar unter: <http://www.uni-oldenburg.de/kunst/mediengeschichte/kaiserpanorama/emden/emden.htm>
- PresseBox 2003: DVC stellt Baytechs CineRAM erstmalig auf dem Open-House Event vom 8. - 9. Juli 2003 vor. Huber Verlag für Neue Medien GmbH. Online verfügbar unter: <http://www.pressebox.de/pressemitteilungen/dvc-digitalvideocomputing-gmbh/boxid-8415.html>, zuletzt geprüft am 18.02.2008.
- Quantel 2008a: Firmenhomepage. Online verfügbar unter: <http://www.quantel.com/>, zuletzt geprüft am 05.05.2008.
- Quantel 2008b: Stereoscopic 3D. Add a new dimension to your business. Online verfügbar unter: [http://www.quantel.com/resource.nsf/Files/Stereoscopic\\_3D\\_nab08/\\$FILE/Stereoscopic\\_3D\\_nab08.pdf](http://www.quantel.com/resource.nsf/Files/Stereoscopic_3D_nab08/$FILE/Stereoscopic_3D_nab08.pdf), zuletzt geprüft am 05.05.2008.
- Radeck, Michael 2003: Radeck, Michael: Biografie. Online verfügbar unter: <http://www.michael-radeck.de/biografi.html>. Zuletzt aktualisiert am 09. Juli 2003, zuletzt geprüft am 25.02.2008
- Sabiston, Bob 2001: Bob Sabiston: G4 - Feature - Rotoshop Animation. Online verfügbar unter: [http://www.g4tv.com/techtv/vault/features/23423/Rotoshop\\_Animation\\_pg2.html](http://www.g4tv.com/techtv/vault/features/23423/Rotoshop_Animation_pg2.html), zuletzt aktualisiert am 16. October 2001, zuletzt geprüft am 22.02.2008.
- SabuCat Productions 2006: 2006 World 3-D Film Festival. Online verfügbar unter: <http://www.3dfilmfest.com/>, zuletzt geprüft am 05.05.2008.
- Screen Digest 2008: Firmenhomepage der Analysefirma. Online verfügbar unter: <http://www.screendigest.com/>, zuletzt geprüft am 05.05.2008.
- Senf, Erhard 2007: Das Kaiser-Panorama. Was ist das? Online verfügbar unter: <http://www.tbk.de/3dstereo/kpvskp.htm>, zuletzt geprüft am 02.04.2008
- Storz Eventfabrik GmbH 2005: Prime Cinema 5D. Online verfügbar unter: <http://www.5dkino.at/index.php>, zuletzt geprüft am 02.06.2008

- Texas Instruments 2008: How DLP technology works. Online verfügbar unter: <http://www.dlp.com/tech/what.aspx>, zuletzt geprüft am 10.05.2008
- The Foundry Visionmongers Ltd. 2008: Homepage der Entwicklerfirma für hochspezialisierte Visual Effects Software. Online verfügbar unter: <http://www.thefoundry.co.uk/index.aspx>, zuletzt geprüft am 24.04.2008
- Tridality Display Solutions GmbH 2008: Firmenhomepage. Online verfügbar unter: <http://www.tridality.de>, zuletzt geprüft am 05.05.2008
- Turner, Henry 2008: Hollywood rediscovers 3-D technology. In: Variety. Online verfügbar unter: <http://www.variety.com/article/VR1117973878.html?categoryid=2731&cs=1&nid=2562>, zuletzt geprüft am 10.05.2008.
- Wacom Co. Ltd. 2008: Hersteller von Grafiktablets mit druckempfindlichen Stift ohne Batterie und Kabel. Die Firmenhomepage ist online verfügbar unter: <http://www.wacomeurope.com>, zuletzt geprüft am 25.04.2008
- Warner 2008: Warner Independent Pictures' A Scanner Darkly -- The Official Film site. Online verfügbar unter <http://wip.warnerbros.com/ascannerdarkly/>, zuletzt geprüft am 22.02.2008
- Wettmann, Hartmut; Berlin 2007: Stereoskopiegeschichte. Online verfügbar unter <http://fotoplatz.stereographie.de/steroskopie/>, zuletzt aktualisiert am 06.10.2007, zuletzt geprüft am 06.04.2008.
- Wheatstone, Charles 1838: The Library: Wheatstone Paper 1838. Contributions to the Physiology of Vision. Part the First. On some remarkable, and hitherto unobserved, Phenomena of Binocular Vision. Online verfügbar unter: <http://www.stereoscopy.com/library/wheatstone-paper1838.html>, zuletzt geprüft am 02.04.2008
- Wikipedia 2007: Artikel Bob Sabiston. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia. Bearbeitungsstand: 30. November 2007. Retrieved 13:00, February 22, 2008, from [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Bob\\_Sabiston&oldid=174867309](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Bob_Sabiston&oldid=174867309)
- Wikipedia 2008a: Artikel RAID. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 6. Februar 2008, 15:19 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=RAID&oldid=42169091> (Abgerufen: 13. Februar 2008, 12:43 UTC)
- Wikipedia 2008b: Artikel HDCAM. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 16. Februar 2008, 17:57 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=HDCAM&oldid=42596265> (Abgerufen: 18. Februar 2008, 13:37 UTC)
- Wikipedia 2008c: Artikel Max Fleischer. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 2. Februar 2008, 09:41 UTC. URL: [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Max\\_Fleischer&oldid=41954368](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Max_Fleischer&oldid=41954368) (Abgerufen: 21. Februar 2008, 14:30 UTC)
- Wikipedia 2008d: Artikel Rotoskopie. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 24. Januar 2008, 07:15 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Rotoskopie&oldid=41570494> (Abgerufen: 21. Februar 2008, 15:06 UTC)
- Wikipedia 2008e: Artikel A Scanner Darkly – Der dunkle Schirm. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 9. Februar 2008, 11:13 UTC. URL: [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=A\\_Scanner\\_Darkly\\_%E2%80%93\\_Der\\_dunkle\\_Schirm&oldid=42285496](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=A_Scanner_Darkly_%E2%80%93_Der_dunkle_Schirm&oldid=42285496) (Abgerufen: 22. Februar 2008, 12:57 UTC)
- Wikipedia 2008f: Artikel Rotoshop. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia. Bearbeitungsstand: 22. Januar 2008. URL: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Rotoshop&oldid=186115694> (Abgerufen: 22. Februar 2008, 13:05 UTC)
- Wikipedia 2008g: Artikel Laurens Hammond. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia. Bearbeitungsstand: March 22, 2008. Online verfügbar unter: [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Laurens\\_Hammond&oldid=200170853](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Laurens_Hammond&oldid=200170853), zuletzt geprüft am 05.05.2008.
- Wikipedia 2008h: Artikel Bwana Devil. Wikipedia, The Free Encyclopedia. Bearbeitungsstand: April 29, 2008, 14:22 UTC. Available at: [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Bwana\\_Devil&oldid=208999471](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Bwana_Devil&oldid=208999471), zuletzt geprüft am 06.05.2008.
- Wimmer, Peter 2008: Homepage von 3dtv.at, Entwicklerfirma des Stereoscopic Players. Online verfügbar unter: <http://www.3dtv.at>, zuletzt geprüft am 06.04.2008.
- Wittkowsky, Wilfried 2003: Der 3D-Film. Spielfilme. Online verfügbar unter: <http://www.wittkowsky.net/3d-film/spiel.htm>, zuletzt geprüft am 06.05.2008.
- Woods, Andrew 2008: The virtual library of the Stereoscopic Displays and Applications conference website. Online verfügbar unter: <http://www.stereoscopic.org/>, zuletzt geprüft am 06.05.2008
- Woods, Andrew J. & Rourke, Tegan 2004: Ghosting in Anaglyphic Stereoscopic Images. In: Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XI, Proceedings of SPIE-IS&T Electronic Imaging, SPIE Vol. 5291, San Jose, California. Online verfügbar unter: <http://www.cmsc.curtin.edu.au/publicat/2004-08.pdf>, zuletzt geprüft am 05.04.2008
- Yahoo Groups 2008: Group 3D Video. Online verfügbar unter: <http://de.groups.yahoo.com/group/3d-video/>, zuletzt geprüft am 15.05.2008
- Adam, Hans Christian 2007: PhotoLit. An international databank which aims to list photographic literature published since 1839. Online verfügbar unter: <http://www.schaden.com/photolit/index.html>, zuletzt geprüft am 07.04.2008.
- Bahr, Achim 2008: Stereoskopie und Visualisierung. Online verfügbar unter: <http://www.3dwebsite.de>, zuletzt geprüft am 10.04.2008
- Bungert, Christoph 2005: The independent 3D and Virtual Reality resource. Online verfügbar unter: <http://www.stereo3d.com/>, zuletzt geprüft am 05.05.2008
- EEFX 2006: Firmenhomepage. Chroma Key products for the visual effects industry. Online verfügbar unter: <http://www.eefx.com/>, zuletzt geprüft am 01.05.2008
- Gavrilov, Kirill 2008: Entwicklerseite von sView, einem stereoskopischen Bildbetrachter. Online verfügbar unter: <http://www.sview.ru/en/sview/info>, zuletzt geprüft am 29.04.2008
- Herbig, Gerhard P. 2005: Technische Grundlagen zur Stereofotografie. Online verfügbar unter: <http://www.herbig-3d.de>, zuletzt geprüft am 06.04.2008

- Kiss, Oliver 2006: Tutorial zum Erstellen von 3D-Bildern. Online verfügbar unter: [http://www.hyperstream.de/index.php?option=com\\_content&task=view&id=6&Itemid=5/](http://www.hyperstream.de/index.php?option=com_content&task=view&id=6&Itemid=5/) zuletzt geprüft am 14.04.2008
- Köhler, André 2008: Die Erzeugung des Wheatstoneschen Stereoeffektes und Stereofotografie. Online verfügbar unter: <http://www.koehlerandre.hosting-le.de/ste/ste02.html>, zuletzt geprüft am 02.04.2008
- KUK Filmproduktion 2006: 3D- Film Produktion. Online verfügbar unter: <http://www.kuk-film.de/html/start.html>, zuletzt geprüft am 07.05.2008.
- Lottenburger, Helmut 2007: Private Seite zum Thema Chromakeying. Online verfügbar unter: <http://www.chromakeying.com/>, zuletzt geprüft am 15.05.2008.
- Markus Schaden 2008: Buchhandlung für fotografische Fachpublikationen. Online verfügbar unter: <http://www.schaden.com/index.php>, zuletzt geprüft am 07.04.2008.
- NASA 2008: STEREO (Solar TERrestrial RELations Observatory). Online verfügbar unter: [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/sterEO/main/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/sterEO/main/index.html), zuletzt geprüft am 10.05.2008
- Planding, Wolfgang 2002: Stereoskopische Mondbilder. Online verfügbar unter: <http://www.monatlas.de/stereoskopie/stereoskopie.html>, zuletzt geprüft am 06.05.2008
- Real D 2007: Firmenhomepage des Anbieters von Stereo-3D-Kinoprojektoren. Online verfügbar unter: <http://www.reald-corporate.com/>, zuletzt geprüft am 09.05.2008
- Schneider, A. & Brugger, J. & Beyer, P. 2006: Analyse von 3D Stereo Rendering und Motion-Tracking. Online verfügbar unter: <http://projects.cynapses.org/StereoRender/paper.pdf>, zuletzt geprüft am 09.04.2008
- Schulte, Dieter 2007: Lexikon der Stereoskopie. Online verfügbar unter: [http://www.stereoskopie.com/Lexikon\\_der\\_Stereoskopie/body\\_lexikon\\_der\\_stereoskopie.html](http://www.stereoskopie.com/Lexikon_der_Stereoskopie/body_lexikon_der_stereoskopie.html), zuletzt aktualisiert am 07.08.2007, zuletzt geprüft am 06.04.2008.
- Schulte, Dieter 2008: Virtuelles Museum für Stereofotografie und Stereoskopie. Größte deutsche Website für Stereoskopie mit über 900 Seiten und ca. 6000 Abbildungen. Online verfügbar unter: <http://www.stereoskopie.com/>, zuletzt geprüft am 10.04.2008.
- Shelly, Dan 2006: Homepage mit über 600 Links zur Stereoskopie. Online verfügbar unter: <http://www.dddesign.com/3dbydan/default.htm>, zuletzt geprüft am 09.05.2008
- Starosta, Boris 2005: Stereoscopic Art & 3-D Photography. Online verfügbar unter: <http://www.starosta.com>, zuletzt geprüft am 06.04.2008
- Thies, Heiko 2008: Amateurfilme und visuelle Effekte. Online verfügbar unter: <http://www.hethfilms.de/?show=videos>, zuletzt geprüft am 16.05.2008
- Wilson, Terry 2008: Stereo Artist. Online verfügbar unter: <http://www.terryfic3d.com>, zuletzt geprüft am 06.04.2008.
- Wimmer, Peter 2002: Technik stereoskopischer Videos. Online verfügbar unter: <http://pwimmer.gmxhome.de/LoadFrames.html?/3D/3DVideoTechnique.html>, zuletzt geprüft am 20.04.2008
- Wirths, Karsten 2002: Stereofotografie gestern und heute. Online verfügbar unter: <http://www.stereoblick.de/>, zuletzt geprüft am 05.05.2008
- Wittkowsky, Wilfried: Der 3D-Film. Online verfügbar unter: <http://www.wittkowsky.net/3d-film/index.htm>, zuletzt geprüft am 05.05.2008
- Zang, Christoph 2005: Facharbeit: Stereoskopie. Online verfügbar unter: <http://www.christoph-zang.de/Facharbeit.32.0.html>, zuletzt geprüft am 02.04.2008
- Ziegler, Christian 1999: Facharbeit aus dem Fach Physik: Stereofotografie. Online verfügbar unter: <http://www.fkg-wuerzburg.de/schule/faecher/physik/facharb/zieglchr/stereo.php>, zuletzt geprüft am 02.04.2008



ANJA FRANK

# Gestalterische Aspekte einer stereoskopischen HD-Produktion

## 1 Grundlegende gestalterische Aspekte einer stereoskopischen HD-Produktion

Die Ausführungen im vorangegangenen Kapitel machen deutlich, daß es - um einen stereoskopischen Film zu produzieren - nicht ausreicht, alle Szenen einfach mit zwei Kameras zu drehen. Es gilt bestimmte, grundlegende, technische und gestalterische Regeln zu beachten, damit auf der einen Seite der Tiefeneffekt gewährleistet wird und auf der anderen Seite der Betrachter den Film ohne „Unwohlsein“ anschauen kann. Um konkret für stereoskopische HD-Filme herauszufinden, wie traditionelle bildsprachliche Elemente z.B. wie Einstellungsgröße, Kamerabewegungen und Kamerasetting in der stereoskopischen Betrachtung wirken, welche einen starken Einfluss haben und welche nicht, wurden einige Testproduktionen mit einer side-by-side HDV-Kameraanordnung (in diesem Falle zwei *Sony ZR1E*) im Modus 1080/i/50 durchgeführt. Die grundlegenden Ergebnisse sind im Folgenden kurz beschrieben.

### 1.1 Schärfe

Die gezielte Kombination von Schärfe und Unschärfe sowie deren zeitliche Manipulation (Schärfeverlagerung) ist seit langer Zeit ein probates Gestaltungsmittel in

der monokularen Filmproduktion, um die Aufmerksamkeit des Zuschauer gezielt zu bannen und zu lenken. Optimalerweise ist der Fokus eines Stereokamerasystems so eingestellt, dass von Vordergrund bis Hintergrund alles scharf ist. So bietet man dem Zuschauer ein natürliches Bild, bei dem er sich durch die Fokussierung seiner Augen selbst aussuchen kann, welchen Teil des Bildes er sich anschauen möchte. Bei stereoskopischen Filmen muss aber extrem darauf geachtet werden, dass der Fokus beider Kameras identisch eingestellt ist, damit sich die Bildgestaltung der beiden Kameras nicht unterscheidet.

Das soll aber nicht bedeuten, dass man bei Stereofilmen komplett auf Tiefenunschärfe verzichten muss. Der 3D-Effekt leidet zwar unter der teilweisen Unschärfe, als Stilmittel kann man jedoch gelegentlich darauf zurückgreifen. Dort wo traditionell gezielte Hintergrundunschärfe als Mittel zur Tiefenwirkung eingesetzt wurde (Figur/Grund-Unterscheidung) ist dies auf jeden Fall nicht mehr unbedingt notwendig. Zur gezielten Führung der Aufmerksamkeit des Zuschauers ist dies aber weiterhin legitim. Es ist dann aber in jedem Fall zu empfehlen, dass Objekte, welche im Vordergrund stehen, scharf gestellt sind, um dem Zuschauer ein relativ natürliches Bild zu liefern. Verläufe in der Schärfe während der Aufnahme sind problematisch, da sie in beiden Kameras absolut synchron und identisch ablaufen müssen. Dies ist ohne spezielle, genau justierte Apparaturen, bei denen die Fokusringe der beiden Objektive synchron gekoppelt werden, nicht möglich.

## 1.2 Szenenkomposition

Grundsätzlich gelten für stereoskopische Filme im Hinblick auf das Arrangement von Objekten im Bild die gleichen Regeln und auch beinahe die gleichen Freiheiten, wie im herkömmlichen monoskopischen Film. Hier bietet die Stereoskopie sogar noch eine weitere Ebene zur Bildgestaltung - die verstärkte Tiefenwahrnehmung. Sofern eine günstige Bildgestaltung realisierbar ist, kann der Zuschauer Nähe, Weite oder Ferne intensiv miterleben. Allerdings gibt es auch hier eine Beschränkung: Objekte, die im Vordergrund stehen, insbesondere Objekte im Mittelpunkt des Interesses, dürfen den Bildausschnitt nicht überschreiten. Das bedeutet konkret, dass Objekte vom Rand des Bildes nicht angeschnitten sein dürfen. Unser Gehirn sagt uns, dass ein Objekt nicht im Vordergrund sein kann, wenn es z.B. von der Leinwand beschnitten wird. Zudem wird das Objekt von den beiden Kameras durch die verschobenen Perspektiven an den Seitenrändern unterschiedlich beschnitten. Bei der Projektion ist dann auf einem der Bilder mehr von dem Objekt zu sehen als auf dem anderen Bild, und unser Gehirn weiß damit ebenfalls nichts anzufangen.

### 1.3 Kamerabewegung

Vor dem eigentlichen Dreh sollte feststehen, in welchem Ausspielmedium der Film später gezeigt wird. Je nach Projektionsgröße sind Kamerabewegungen entweder gar kein oder ein großes Problem. Sitzt man in einem großen Kino, wie z.B. einem *IMAX*-Saal, wo die Leinwand das komplette Sichtfeld vereinnahmt und man keinen Anhaltspunkt zum eigentlichen Raum hat, in dem man sich befindet, können Kamerabewegungen sehr kritisch werden. Dem Zuschauer kann es dann so vorkommen, als würde sich der ganze Raum bewegen, eine Wirkung, die bei der Aufnahme oft nicht bedacht wird.

Wird der Film allerdings auf einer kleineren Leinwand oder einem Display gezeigt, sind Kamerabewegungen eher kein Problem. Im Gegenteil, horizontale Fahrten („*travelling shots*“) bringen den 3D-Effekt aufgrund der zusätzlichen Bewegungsparallaxe gut zur Geltung. Der Zuschauer hat einen Anhaltspunkt und weiß, dass sich der Raum nicht bewegen kann. Doch auch hierbei sollte darauf geachtet werden, dass die Kamerabewegungen nicht zu sprunghaft sind, um eventuelles Unwohlsein bei den Zuschauern zu vermeiden.

### 1.4 Einstellungsgrößen

Allgemein funktioniert in stereoskopischen Filmen jede Einstellungsgröße, von Panorama bis Close Up. Hier gibt es allerdings oft technisch-mechanische Grenzen zu beachten. Je näher die Kameras nebeneinander stehen (Stereobasis), desto closer kann die Einstellungsgröße sein.

Die meisten heutigen, semiprofessionellen und professionellen Kameras sind zu breit, um sie in einem Abstand von etwa 6,5 cm (also dem Abstand der menschlichen Augen) nebeneinander oder gar noch näher aneinander zu stellen. In unserer Testproduktion wurden zwei *Sony ZRIE* - Kameras benutzt. Bei diesen Kameras ist ein minimaler Abstand von 15,5 cm möglich. Dies wirkt sich auf die Bildgestaltung insofern aus, dass alle aufzunehmenden Objekte weiter von den Kameras entfernt positioniert werden müssen als bei einem stereoskopischen Kameraaufbau mit interokularem Abstand. Der minimale Abstand zwischen aufzunehmendem Objekt und den Kameras, der Nahpunkt, wurde bei den Testaufnahmen auf 4 bis 5 m festgelegt, vorausgesetzt die Brennweite ist so kurz wie möglich eingestellt. Bei dieser Entfernung ist es allerdings nicht möglich Close Ups geschweige denn Detailaufnahmen zu machen. Für solche Einstellungen muss man sich anders behelfen.



Abb. 3.1: Stereoschiene mit zwei Sony Z1 – Kameras

Um stereoskopische Nahaufnahmen zu machen, sollte der Abstand der Kameras weniger als 6,5cm betragen. Dies ist mit miniaturisierten HD-Kameras in side-by-side Anordnung oder mit orthogonal angeordneten Kameras mit Spiegelteiler realisierbar. Eine andere Art zu einer größeren Einstellungsgröße zu kommen ist, dass man einen besonders großen Abstand zwischen Kamera und Objekt wählt. Ein Abstand von mehr als 10 Metern ist zu empfehlen. Nun gilt es die Brennweite so zu vergrößern, dass man den gewünschten Bildausschnitt erhält. Dabei ist die Wechselwirkung zwischen Bildsensorgroße, Brennweite und Tiefenunschärfe zu beachten. Damit sichergestellt ist, dass das Bild stereoskopisch funktioniert, gilt es zu überprüfen, dass das Objekt des Interesses in den stereoskopischen Seitenbildern nicht zu sehr verschoben ist. Ist dies doch der Fall, sollte man den Abstand zwischen Objekt und Kameras vergrößern und die Brennweite angleichen. Sollte sich in der Postproduktion herausstellen, dass die Bilder zu unterschiedlich für eine stereoskopische Projektion sind, gibt es zur Schadensbegrenzung noch die Möglichkeit, die Bilder in der Postproduktion noch näher aneinander zu schieben. Dies sollte aber aus arbeitsökonomischen Gründen die allerletzte Alternative bleiben.

## 1.5 Brennweite

Bei manchen Einstellungen ist es wünschenswert, die Brennweite über die Zeit zu verändern („Zoom“). Hier ist in jedem Fall zu beachten, dass beide Kameras dieselbe Startbrennweite verwenden und so keine Differenzen im Verlauf entstehen. Dies ist insbesondere der Fall, wenn der Abstand zum aufzunehmendem Objekt und den Kameras sehr groß ist. Wird dann die Brennweite erhöht, kann es zu divergierenden Bildern kommen. In jedem Fall muss sichergestellt sein, dass der Nahpunkt der Brennweite und der Stereobasis angeglichen sind. Der Nahpunkt muss immer größer sein als die Scheinfensterweite. Soll die Brennweite während der Aufnahme verändert werden, muss ein Mechanismus vorhanden sein, der sicherstellt, dass die

Veränderung bei beiden Kameras absolut synchron abläuft. Verändert die eine Kamera die Brennweite schneller als die andere, ist das resultierende Stereobild asynchron und damit unbrauchbar.

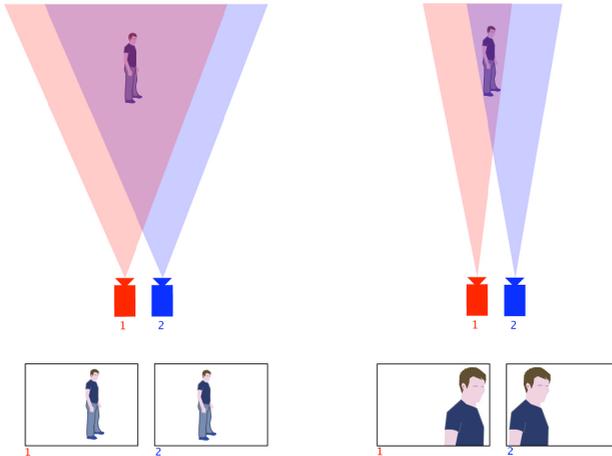


Abb. 3.2: Auswirkung der Veränderung an der Brennweite

Die Brennweite von Hand zu verändern ist dabei ausgeschlossen. Hier bietet sich eventuell eine Fernbedienung an, die beide Kameras simultan anspricht. Mit absoluter Sicherheit ist auch dabei nicht zu rechnen, allerdings konnten bei unseren Testaufnahmen mit zwei klassischen Broadcastkameras akzeptablen Resultate erzielt werden.

## 1.6 Montage

Ein stereoskopisches Bild lässt dem Betrachter zu, seine Augen wandern zu lassen und sich den Teil des Bildes auszusuchen und anzuschauen, welchen man gerne möchte. Zweidimensionale Bilder sind heute meist so gestaltet, dass der Blick auf etwas Bestimmtes im Bild gezielt gelenkt wird. Dies kann z.B. durch unterschiedliche Schärferebenen im Bild geschehen. Da also beim 2D-Film üblicherweise schon die Blickrichtung feststeht, lassen diese Filme auch eine hohe Schnittfrequenz zu, ohne dass es zu Irritationen beim Zuschauer kommt. In modernen Actionfilmen ist es keine Seltenheit, dass in einigen Szenen beinahe jede Sekunde eine neue Einstellung zu sehen ist.

Beim stereoskopischen Film ist dies nicht ohne weiteres möglich. Beim Schnitt eines stereoskopischen Filmes sollte man beachten, dass es für viele Menschen schwierig ist, die Augen nach einem Schnitt im Film wieder an eine neue Tiefenwirkung zu gewöhnen. Bei unseren Tests ist aufgefallen, dass dies insbesondere bei älteren Menschen der Fall ist. Junge Menschen haben eher weniger Probleme damit, die Augen

schnell zu konvergieren. Aufgefallen ist ebenfalls, dass sich die Augen nach einiger Zeit durch häufiges Anschauen stereoskopischer Aufnahmen schneller an den 3D-Effekt gewöhnen.

Generell ist aber zu empfehlen, beim Schnitt ein eher langsames Schnitttempo zu wählen. So gibt man dem visuellen System Zeit, sich an die neue Tiefensituation zu gewöhnen.

Schwierigkeiten gibt es zudem auch, wenn sich die Augen schnell an zwei sehr unterschiedliche Entfernungen gewöhnen müssen: wenn z.B. als Perspektivkontrast in der einen Einstellung eine weite Landschaft zu sehen ist und in der nächsten Einstellung eine nahe Einstellung eines Objektes in kurzer Entfernung zum Zuschauer. Auf der sicheren Seite ist der stereoskopische Cutter eher, wenn er den Zuschauer langsam an die neue Situation heranführt. Dies kann mit Zwischenschnitten mit immer näheren Einstellungen gelöst werden. Dies wird in manchen Fällen aber nicht ohne Einfluss auf die Dramaturgie bleiben.

Abschließend kann festgestellt werden, dass stereoskopische Filme zu einer veränderten Bildsprache gegenüber dem heutigen Kino-Mainstream führen werden. Dies ist aber nicht als kritisch zu bewerten, da Zuschauer über die Jahrzehnte hinweg schon ähnlich große Entwicklungsschritte des Mediums problemlos mitvollzogen haben (z.B. Farbfilm, Breitwandformat und Mehrkanalton). Interessanter ist in diesem Zusammenhang eher, welche neuen bildsprachlichen Elemente durch die stereoskope Produktion in das Medium Film Einzug halten werden.

## 2 Zusammenfassung der Besonderheiten bei stereoskopischen HD-Produktionen

Bei jeder Filmproduktion muss konzentriert gearbeitet werden. Doch bei stereoskopischen Produktionen gilt es überdies, außerordentlich präzise zu arbeiten, damit der 3D-Effekt gesichert ist. Dies hat bei stereoskopischen Produktionen allerhöchste Priorität. Die dramaturgische Qualität der Geschichte wird belanglos, wenn der Film dem Betrachter kein Vergnügen bereitet, weil er beim Zuschauen Kopfschmerzen bekommt.

### 2.1 Besonderheiten hinsichtlich der Arbeitsweise und Technik

Bei stereoskopischen Produktionen ist stets zu bedenken, dass man beinahe alles doppelt macht. Das bedeutet nicht zwingend die zweifache, aber in jedem Fall eine längere Arbeitszeit als bei herkömmlichen monoskopischen Produktionen. Bei einer stereoskopischen side-by-side Produktion benötigt man z.B. zwei Kameras und die doppelte Anzahl an Aufzeichnungskapazität (z.B. Bänder). Man muss fortwährend im

Hinterkopf behalten, dass es immer eine linke und eine rechte Seite gibt. Insbesondere in der Postproduktion wird dies deutlich, wenn man das doppelte Material einspielen muss und somit auch den zweifachen Festplattenspeicher braucht. Beim Ausspielen des fertigen Produktes gilt es zwei Videos auszuspielen, was also die doppelte Ausspielfrequenz bedeutet. Wird mit einem weiteren Programm, wie z.B. After Effects, noch nachbearbeitet, muss auch hier an die zweifache Renderzeit gedacht werden. Bereits in der Vorbereitung gilt es in der Shotlist zu notieren, wie der Setaufbau für die einzelnen Einstellungen zu gestalten ist. Hier liegt der Fokus insbesondere auf Scheinfensterweite, Stereobasis, Brennweite und Fokus. Dazu mehr im nächsten Kapitel.

Bevor nun eine Aufnahme gestartet werden kann, muss gesichert sein, dass beide Kameras die gleichen technischen Settings, wie z.B. Weißabgleich und dergleichen, haben. Ist dies der Fall, muss danach mechanisch überprüft werden, ob die Kameras parallel zueinander und genau nebeneinander liegen. Als nächstes wird dann das Set entsprechend der Notizen in der Shotlist aufgebaut. Das heißt insbesondere, dass der Abstand zwischen den Kameras, der Abstand von aufzunehmendem Objekt und den Kameras und die Brennweite gemäß den Einträgen in der Shotlist eingerichtet sind.

Bei den Dreharbeiten ist außerordentlich zu empfehlen, die Kameras mit „Links“ und „Rechts“ zu beschriften. Findet während der Dreharbeiten ein Ortswechsel statt und das Equipment ist abzumontieren, muss beim Aufbau am nächsten Drehort gewährleistet werden, dass die Kameras wieder korrekt aufgebaut sind. Ebenfalls sollten Tapes bereits vor dem Einlegen in die Kameras mit „Links“ und „Rechts“ beschriftet werden, damit es später nicht zu Verwechslungen kommen kann.

So gesehen ist es zwar keine Besonderheit, aber eine Notwendigkeit, dass die Regieklappe vor jedem Take eingesetzt wird. Die Synchronisation der Bilder ist essentiell für jeden Stereofilm. Sind nun auch beide Bilder inhaltlich gleich, sind die technischen Bedingungen erfüllt.

In der Postproduktion wird der Unterschied zur herkömmlichen 2D-Produktion ebenfalls deutlich. Die Postproduktion eines stereoskopischen Films vereinnahmt viel mehr Zeit als eine 2D-Produktion. Die wesentliche Herausforderung liegt darin, den Überblick zu behalten. Welches Bild ist links, welches rechts, ist dieser Schnitt zu früh, funktioniert hier der 3D-Effekt? All dies ist nur ein Bruchteil der Fragen, die während einer stereoskopischen Postproduktion aufkommen. Dies fordert ständige Testscreenings. Eine genaue Beschriftung aller Clips, Tracks, Racks, Ordner und sonstiger Komponenten ist von enormer Wichtigkeit, um hier den Überblick zu behalten.

## 2.2 Besonderheiten hinsichtlich der Gestaltung

Die größte Besonderheit hinsichtlich der Bildgestaltung ist die zusätzliche Dimension, die Tiefe, die nun intensiv genutzt werden kann. Damit kann die Aussage vieler Bilder bekräftigt werden. Während der Arbeit am Storyboard muss schon klar sein, ob die gewünschten Einstellungen in stereoskopischer Form funktionieren und falls nicht, müssen Alternativen gefunden werden.

Bei der Bildgestaltung muss stets auf das Scheinfenster geachtet werden. Je nachdem wie das Bild gestaltet werden soll, müssen Aufbau des Sets und die Positionseinstellungen der Kameras umarrangiert werden.

Verläufe in Schärfe sowie Brennweite sind zwar wünschenswerte Stilmittel, sind aber kritisch bei stereoskopischen Produktionen. Veränderungen im Bild müssen bei beiden Kameras absolut synchron ablaufen. Sofern keine Vorrichtung besteht, die dies garantiert, wird dringend davon abgeraten, die Schärfe oder die Brennweite der Kameras während der Aufnahme zu verändern.

Ja nach späterer Projektion können Kamerabewegungen kritisch oder erwünscht sein. Bei großer Projektion, wie etwa in einem *IMAX*-Kino, können Kamerabewegungen irritierend wirken, wohingegen Kamerabewegungen bei der Betrachtung auf Displays selten ein Problem darstellen.

Die Montage muss so gestaltet sein, dass dem Zuschauer ein angenehmes Bild geboten wird, welches körperliches Unwohlsein vermeidet. Hier können insbesondere schnelle Schnittabfolgen mit hohem Perspektivkontrast kritisch sein. Während des Schnitts muss regelmäßig überprüft werden, ob der gewünschte Tiefeneffekt funktioniert, dafür sind häufige Testscreenings notwendig.



ANJA FRANK

## Autor

Anja Frank



Geb. 1982. 2003-2007 Studium der Online Medien an der Hochschule Furtwangen. Titel der Bachelor Thesis: „Stereoskopische HD-Produktion“. Derzeit Studierende des Masterstudiengangs Computer Science in Media an der Hochschule Furtwangen. Abschluss voraussichtlich Mitte 2010.

ANJA FRANK

## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 3.1: Stereoschiene mit zwei Sony Z1 – Kameras  
Foto: Anja Frank
- Abb. 3.2: Auswirkung der Veränderung an der Brennweite  
Illustration: Anja Frank

ANJA FRANK

## Literaturverzeichnis

- 21st Century 3D (2007): 3DVX3.5, 3DVX-H, 3D-SSR Press Release. <http://www.21stcentury3d.com/press/pr-070130-3dvx35.html> (Datum des Zugriffs: 24. April 2007). [CD]
- 3dtv (2007): 3dtv.at - Stereoscopic Player Overview. [http://www.3dtv.at/Products/Player/Index\\_de.aspx](http://www.3dtv.at/Products/Player/Index_de.aspx) (Datum des Zugriffs: 14. August 2007). [CD]
- Bähr, Achim: Thales Themenheft Nr. 49, Stereoskopie – Räume-Bilder-Raubilder, Essen: THALES Verlag, 1991.
- Digital Production (2007): NEWS 18.04.2007. [http://www.digitalproduction.com/dp/news\\_detail.asp?ID=4143&NS=1](http://www.digitalproduction.com/dp/news_detail.asp?ID=4143&NS=1) (Datum des Zugriffs: 19. April 2007). [CD]
- Eisenstein, Sergej M. u.a.: Manifest zum Tonfilm, 1928. In: Albersmeier, F.-J. [Hrsg.]: Texte zur Theorie des Films. 5., durchges. und erw. Aufl., Stuttgart: Reclam, 1979.
- fmx/07 (2007): Digital Cinema Day. <http://www.fmx.de/E.2212.html> (Datum des Zugriffs: 24. August 2007).
- Frankfurter Rundschau (2007): Das Bildungsbürgertum interessiert uns kein bisschen. [http://www.fr-online.de/top\\_news/?em\\_cnt=1175288](http://www.fr-online.de/top_news/?em_cnt=1175288) (Datum des Zugriffs: 22. Juli 2007). [CD]
- Friedrichs, Uwe: Quantel. E-Mail von Uwe Friedrichs <uwe.friedrichs@quantel.com> (14. August 20007). [CD]
- Fries, Christian: Grundlagen der Mediengestaltung, 2. Aufl., München/Wien: Fachbuchverlag Leipzig, 2004.
- Gabathuler, Simon: Video Digital – Das Filmhandbuch, München: 2006.
- Hahn, Philipp: Mit High Definition ins digitale Kino, Marburg: Schüren Verlag, 2005.
- HDV Format Specifications (2007): <http://www.hdv-info.org/HDVSpecifications.pdf> (Datum des Zugriffs: 10. März 2007). [CD]
- Hébert, Allène: Digital Cinema Perspectives, Louvain-la-Neuve (Belgien): BCM Éditions/XDC, 2006. Und Online in Internet: URL: [http://www.i6doc.com/I6Doc/WebObjects/I6Doc5.woa/wo/bPDJ9lae59i4BviysaQgb0\\_/3.0.11.2.61.6.0](http://www.i6doc.com/I6Doc/WebObjects/I6Doc5.woa/wo/bPDJ9lae59i4BviysaQgb0_/3.0.11.2.61.6.0) (Datum des Zugriffs: 01. März 2007). [CD]
- JPEG (2001): JPEG 2000 for Digital Cinema Applications. <http://www.jpeg.org/public/DCINEMA-v2.pdf> (Datum des Zugriffs 05. August 2007). [CD]
- JPEG (2007): Digital Cinema. <http://www.jpeg.org/apps/cinema.html> (Datum des Zugriffs: 05. August 2007). [CD]
- Kafka, Franz: Erzählungen, Stuttgart: Philipp Reclam jun. GmbH&Co., 1995.
- Labor Neue Medien der HFU (2007): LaborNeueMedien. <http://webuser.hsfurtwangen.de/~fetzner/spacestudies/index.php?n=Main.LaborNeueMedien> (Datum des Zugriffs: 19. Juni 2007). [CD]
- Mkpe (2005): Digital 3D – In a Theatre Near You?. [http://www.mkpe.com/publications/digital\\_cinema/insasia/3d.php](http://www.mkpe.com/publications/digital_cinema/insasia/3d.php) (Datum des Zugriffs: 21. Juli 2007). [CD]
- Monaco, James: Film verstehen, 8. Aufl., Reinbek b. Hamburg: Rowohlt Tb., 2006.
- Poggio, Tomaso: Wie Computer und Menschen sehen. In Ritter, Manfred [Vorr.]: Wahrnehmung und visuelles System – mit e. Einf. Von Manfred Ritter, 2. Aufl., Heidelberg: Spektrum d. Wissenschaft, 1987.
- Poynton, Charles: Digital Video and HDTV – Algorithms and Interfaces, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2003.
- Quantel (2007): Stereoscopic 3D: The Next Big Thing. <http://www.quantel.com/site/en.nsf/html/LSOV-75-GAK6?OpenDocument> (Datum des Zugriffs: 09. August 2007). [CD]
- Riegler, Thomas: HDTV – Alles rund ums hochauflösende Fernsehen, Baden-Baden: Vth, 2006.
- Röder, Oliver: Grundlagen der Stereoskopie - Analyse der Aufnahme und Projektion von 3D-Bildern, Saarbrücken: VDM Verlag, 2007.
- Russ, John: The Image Processing Handbook, 4th ed., Baco Raton: CRC, 2002.
- Schmidt, Ullrich [Hrsg.]: Datenformate im Medienbereich, München/Wien: Hanser Verlag, 2003.
- Schmidt, Ullrich [Hrsg.]: Digitale Film- und Videotechnik, München/Wien: Hanser Verlag, 2002.
- Screendigest (2007): Press Release 21. Juni 2007. [http://www.screendigest.com/press/releases/press\\_releases\\_21\\_06\\_2007/view.html](http://www.screendigest.com/press/releases/press_releases_21_06_2007/view.html) (Datum des Zugriffs: 21. Juli 2007). [CD]
- SeeReal Technologies (2007): Cn 3D Display. [http://www.seereal.com/en/autostereocopy/technology\\_cn.php](http://www.seereal.com/en/autostereocopy/technology_cn.php) (Datum des Zugriffs: 10. August 2007). [CD]
- Studiodaily (2007): Editors, Colorists: Put On Your 3D Glasses!. <http://www.studiodaily.com/main/work/8332> (Datum des Zugriffs: 04. August 2007). [CD]

## ANJA FRANK

- Watkinson, John: The MPEG Handbook, Second Edition, Oxford/Burlington: Focal Press, 2004.
- Woods, Andrew (2002): Characterising Sources of Ghosting in Time-Sequential Stereoscopic Video Displays. <http://www.cmst.curtin.edu.au/publicat/2002-09.pdf> (Datum des Zugriffs: 12. August 2007). [CD]
- XDC (2007): XDC, EVS Group. <http://www.xdcinema.com/exhibitors.asp> (Datum des Zugriffs: 20. Juli 2007). [CD]





ERIC SCHUMACHER

## Planung einer stereoskopischen HD-Produktion

### 1 Filmische Immersion

Ziel jedes Erzählformates ist es, eine immersive Bindung zwischen der Geschichte und ihren Rezipienten zu erzielen. Der Begriff Immersion bezeichnet ganz allgemein eine gezielte Einbettung bzw. ein gezieltes Eintauchen von einem bestimmten Faktor in einen Anderen. Bezogen auf die stereoskopische HD-Produktion, möchten wir im Weiteren den Begriff Filmische Immersion einführen, wie er z.B. in der Filmtheorie verwendet wird<sup>1</sup>. Dieser meint das passive Eintauchen des Filmbetrachters in eine (künstliche) Erzählwelt aufgrund von wahrnehmungspsychologisch-basierten Gestaltungsmaßnahmen, welche zur scheinbaren Auflösung der räumlichen Grenzen zwischen ihm und dem Betrachtetem führen. Ziel jeder Medienproduktion ist es, den Grad der filmischen Immersion so hoch wie möglich zu gestalten. Dabei kann nochmals, modal verfeinert, zwischen visueller Immersion und auditiver Immersion unterschieden werden, welche über unterschiedliche Sinneskanäle versuchen das gemeinsame Ziel der filmischen Immersion zu erreichen. Im Weiteren wird die visuelle Immersion von stereoskopischen Filmbildern als Stilkomponente näher betrachtet. Der visuelle Immersionsgrad eines Stereogrammes hängt davon ab, wie stark das Gesehene den Betrachter in die Geschichte einbindet. Es sollte stets die höchste Priorität beim Erstellen von Stereoproduktionen sein, entweder die Wirklichkeit so

---

<sup>1</sup> Vgl. Béla Balázs: Zur Kunstphilosophie des Films (1938). In: F.-J. Albersmeier (Hrsg.): Theorie des Films, 1995, S. 204-226.

wiederzugeben, dass sie für den Betrachter natürlich und damit entsprechend seiner Alltagswahrnehmung wirkt oder den impliziten Charakter einer erzählerischen „Traumgeschichte“<sup>2</sup> aufzuweisen, der sich der Zuschauer nicht entziehen kann. In den nachfolgenden Ausführungen wird insbesondere auf den ersten Aspekt eingegangen und anhand einer filmisch aufbereiteten Kurzgeschichte, welche in der Realität einer deutschen Kleinstadt spielt, verifiziert.



Abb. 4.1: Dreidimensionalität durch Beleuchtung

Die Wirkung einer realitätsnahen Immersion kann erreicht werden, indem mittels entsprechender Bildgestaltung Dreidimensionalität und räumliche Tiefe in einer Szene geschaffen werden. Alle Instrumente, die dazu bei der Bildgestaltung verwendet werden, nutzen die Effekte der sogenannten *Depth Cues*. Einige dieser Hinweisreize können in einer HD-Produktion gezielt herbeigeführt und manipuliert werden, bei anderen ist dies jedoch nicht möglich. Sie können bei einer stereoskopischen HD-Produktion lediglich beachtet werden.

## 2 Gezielter Einsatz von Hinweisreizen

Im Folgenden werden die Gestaltungsmöglichkeiten, welche sich dem stereoskopisch aufnehmenden Kameraoperator in der Praxis bieten, aufgezählt und der erzielbare Grad der visuellen Immersion diskutiert. Wie schon von Frank Hofmeyer ausgeführt, dürfen diese Hinweisreize allerdings niemals Selbstzweck sein, sondern sich immer den dramaturgischen Vorgaben der Geschichte unterwerfen oder diese unterstützen bzw. neue dramaturgische Gestaltungsformen eröffnen.

2 In Anlehnung an U. Knoll, welche in Ihrem Buch: *Kino Trance und Kybernetik*, 2002, S.23 das Kino als Trancetechnologie des 20. Jahrhunderts bezeichnet.

## 2.1 Monokulare Hinweisreize

Eine der einfachsten aber dennoch effektivsten Methoden zum Erzeugen von Tiefe stellt der Effekt der *Verdeckung* dar, der durch eine entsprechende Positionierung von Objekten in Bezug auf die Kameraposition erreicht werden kann (Tiefenstaffelung der Szene). Wie im zweiten Kapitel beschrieben, liefert dieser Hinweis lediglich eine relative Information über die Distanz zwischen den einzelnen Objekten. Bei monoskopischen Aufnahmen wird zum Erzeugen von Dreidimensionalität hauptsächlich die Beleuchtung über künstliche oder natürliche Lichtquellen genutzt, um Auswirkungen auf Schattierung und Schattenwurf auszuüben. Auch für stereoskopische Produktionen kann die *Beleuchtung* zum Erzeugen von Raumtiefe ohne Einschränkungen genutzt werden und sollte auch weiterhin gezielt genutzt werden.

Dass Objekte mit zunehmender Entfernung Farb- und Kontrastnuancen verlieren und unscharf werden, kann in realen Szenen nicht beeinflusst werden. Die Auswirkungen der *atmosphärischen Tiefenperspektive* können als Hinweisreiz nur gezielt früher eingesetzt werden, indem z.B. künstlich erzeugter Nebel oder Rauch verwendet wird. Hier stoßen wir allerdings erstmalig auf einen gestalterischen Paradigmenwechsel, der mit der stereoskopischen HD-Produktion einhergeht: Seit Jahrzehnten ist ein wesentliches Gestaltungsmerkmal monoskopischer Filme die gezielte Herausmodellierung von Personen/Objekten vor dem Hintergrund durch gezielte Schärfensetzung, insbesondere in mittleren bis nahen Kameraeinstellungen. Das Auge des Zuschauers wird gezielt in eine Schärfeebene der Szene geführt und dort gehalten, jedes Abschweifen wird durch ebenso gezielt gesetzte Unschärfe quasi bestraft. Die Tiefenwirkung ergibt sich nur durch die monokulare Figur/Grund-Unterscheidung von scharfen Vordergrund und unscharfen Hintergrund und umgekehrt. Dieses Gestaltungselement wird massiv angewendet und ist vielen Zuschauern heutiger Zeit als „Filmlook“ im kollektiven Gedächtnis verhaftet. Die stereoskopische Filmproduktion kann dieses Gestaltungselement in Grenzen ebenfalls verwenden, muß dann aber auf binokulare Tiefenwirkungen verzichten. Es stellt sich allerdings die Frage, ob stereoskopische Filme hier nicht ein eigenes ästhetisches Kapitel in der Filmgestaltung aufschlagen, indem sie dem Zuschauer durch hohe Tiefenschärfe die Freiheit lassen, sein Auge in der Einstellung wandern zu lassen. Dazu sollen zu einem späteren Zeitpunkt noch genauere Untersuchungen durchgeführt werden.

Die Nutzung von Perspektiven als monokularer Hinweisreiz wird in der Kunst bereits seit sehr langer Zeit verwendet und in der Computergrafik fortgeführt, um Tiefe im Bild zu schaffen. Diesbezüglich bildet der Stereofilm keine Ausnahme; *Zentralperspektive* ist auch hier eines der wirkungsvollsten Mittel zur Generierung von Raumtiefe. Die Eigenschaften von *Texturdichtegradienten* in einer Szene können zum Erzeugen von Dreidimensionalität lediglich beachtet, in Realfilmen jedoch selten gezielt beeinflusst werden. Ähnlich verhält es sich bei den *Reizen der gewohnten Größe* und der relativen Höhe im Blickfeld. Hier könnte man zur optischen Täuschung des Betrachters Objekte einsetzen, die in einer für sie ungewöhnlichen Größe reproduziert

wurden und sie dann in einer Szene mit Objekten in unveränderter Größe platzieren. Doch auch in diesem Fall würde der Eindruck räumlicher Tiefe gemindert. Der Reiz der relativen Größe im Blickfeld kann nicht beeinflusst werden, da von Objekten mit identischer Größe ausgegangen wird. Die Möglichkeit einer optischen Täuschung wird dadurch stark eingeschränkt.

## 2.2 Okulomotorische Hinweisreize

Wie im ersten Kapitel beschrieben, nutzt das Gehirn bei den okulomotorischen Tiefenhinweisen keine optischen Input, sondern Informationen, die von den entsprechenden Muskeln bei Augenbewegungen und Änderung der Linsenform übermittelt werden. Dadurch ergibt sich die Situation, dass lediglich die optischen Auswirkungen von Akkomodation und Konvergenz genutzt werden können, es wird dadurch jedoch lediglich eine relative und keine absolute Tiefeninformation übermittelt. Werden beispielsweise während der Aufnahme Schärfeverlagerungen zwischen einzelnen Bildbereichen vorgenommen, sind für den Betrachter zwar einzeln gestaffelte Tiefenebenen wahrnehmbar, doch es ist für ihn nicht zu erkennen, wie weit die einzelnen Ebenen voneinander entfernt sind. Ähnlich verhält es sich bei der Konvergenz. Wird nacheinander auf verschiedene Tiefenebenen konvergiert, ist nicht zu erkennen, wie die Ebenen bezüglich der Kameraposition gestaffelt sind.

## 2.3 Bewegungsinduzierte Hinweisreize

Die bewegungsinduzierten Reize der dynamischen Verdeckung und der Bewegungsparallaxe treten nur bei Bildfolgen auf, nicht jedoch bei Einzelbildern. Sie können erzeugt werden durch Kamerabewegungen oder durch Bewegungen der Objekte in der Szene. Dadurch ergeben sich viele kreative Möglichkeiten, Tiefe über diese Hinweisreize zu erzeugen. Tests haben ergeben, dass die Dreidimensionalität einer Szene im stereoskopischen Film beim Auftreten von bewegungsinduzierten Reize am intensivsten wirkt, verglichen mit monoskopischen oder okulomotorischen Reizen. Hervorgehoben werden müssen dabei vor allem parallele Kamerafahrten, Bewegungen in Zeitlupe<sup>3</sup> und Objekte, die Drehbewegungen vollführen<sup>4</sup>. Obwohl die monoskopischen und okulomotorischen Hinweisreize eher unbewusst wahrgenommen werden, erscheint die Tiefenwirkung einer Szene mit der zunehmenden Anzahl an auftretenden Reizen immer intensiver.

---

3 Vgl. Zone, 2005, S. 49.

4 Vgl. Lipton, 1982, S. 273.

## 2.4 Binokulares Kriterium

Möchte man stereoskopische Aufnahmen erzeugen, gibt es wenig Möglichkeiten, das binokulare Kriterium zu beeinflussen, da dieses die Grundvoraussetzung für eine solche Aufnahme ist. Die Manipulation beschränkt dabei sich auf die Frage der konvergierenden oder parallelen Blickachsen sowie auf die Größe der Stereobasis. Die Zusammenhänge dazu werden sie in den folgenden Abschnitten separat behandelt.

## 3 Kritische Effekte der filmischen Stereoskopie

Die Gestaltungsmöglichkeiten zur Erzeugung von Dreidimensionalität bilden gemeinsam mit den technischen Aspekten von korrekter Aufnahme und Wiedergabe wichtige Größen für eine gelungene Stereoproduktion. Zusätzlich müssen aber Seiteneffekte beachtet werden, die durch die technischen Gegebenheiten bei Aufnahme und Wiedergabe auftreten können. Ein Teil dieser Effekte kann eingesetzt werden, um die Produktion punktuell dramaturgisch aufzuwerten; andere sollten dagegen nach Möglichkeit vermieden werden, da sie sich negativ auf das Seherlebnis des Zuschauers auswirken.

### 3.1 Mikropsie

Unter diesem Begriff versteht man einen Effekt, der bei Stereogrammen auftritt, die große Distanzen im Bild aufweisen, z.B. Landschaftsaufnahmen. Für diese Art von Bildinhalten wird eine Stereobasis verwendet, die größer als die Standardbasis von 6,5 cm ist<sup>5</sup>. Der Grund dafür liegt in der Position des Scheinfensters. Wird beispielsweise die Standardbasis zusammen mit einer Brennweite von 50 mm benutzt, so ergibt sich für die Scheinfensterweite nach der Gleichung aus Kapitel 2:

$$6,5 \text{ cm} * 50 \text{ mm} = 325 \text{ cm}$$

Das Scheinfenster läge dann etwas mehr als 3 m von den Kameras entfernt. Besitzt die Distanz zwischen Kameras und Motiv jedoch einen größeren Wert, beispielsweise 100 Meter, so wirkt dieses Motiv aufgrund der großen Entfernung nicht dreidimensional, sondern flach. Um die Scheinfensterweite anzupassen, und dem Motiv räumliche Tiefe zu verleihen, wird die Stereobasis vergrößert. Die Formel würde dann lauten:

$$200 \text{ cm} * 50 \text{ mm} = 10000 \text{ cm}$$

Also würde man als Stereobasis 2 m verwenden. Da der Wahrnehmungsapparat des Betrachters bei der späteren Wiedergabe jedoch weiterhin von der Standardbasis 6,5

---

<sup>5</sup> Vgl. Zone, 2005, S. 26 und 69.

em ausgeht, wirkt die Aufnahme zwar räumlich, jedoch gleichzeitig wie von einer Modellandschaft<sup>6</sup>.

### 3.2 Gigantismus

Hier handelt es sich um den Gegeneffekt zur Mikropsie. Bei Objekten, die sich sehr nahe am Objektiv befinden, wird ebenfalls aufgrund der Scheinfensterweite eine kleine Stereobasis verwendet. Die Objekte erscheinen dadurch sehr viel größer als sie tatsächlich sind. Durch diesen Effekt entsteht für den Betrachter der Nutzen, dass das Objekt wesentlich besser erkennbar ist als bei einer monoskopischen Darstellung, auch wenn die Vergrößerung unnatürlich wirkt. Entsprechend kann ein solcher Effekt natürlich auch der Unterstützung der Handlung dienen. Oft werden zur technischen Umsetzung des Gigantismus Kameras verwendet, die nicht nebeneinander platziert sind, sondern in unterschiedlichen Winkeln zur Szene. Das Licht wird über Prismen oder Strahlenteiler in die Objektive gelenkt, so werden Stereobasen im Millimeterbereich ermöglicht<sup>7</sup>.

### 3.3 Cardboarding

Dieser Begriff bezeichnet einen Effekt, der normalerweise als unerwünscht gilt und vermieden werden sollte. Dabei beinhaltet das Stereogramm als Ganzes die Illusion der räumlichen Tiefe, auch die Objekte wirken in verschiedenen Tiefenebenen gestaffelt. Sie selbst erscheinen jedoch nicht plastisch, sondern abgeflacht, wie ausgeschnitten aus einem Karton (engl. cardboard), es fehlt ihnen also die Plastizität<sup>8</sup>. Dieser Effekt tritt auf, wenn bei einer Aufnahme mit der Standardbasis Objektive genutzt werden, die über lange Brennweiten (z.B. Teleobjektive) verfügen. Diese haben die Tendenz, Perspektive zu komprimieren, das Bild wirkt somit flacher<sup>9</sup>.

### 3.4 Ghosting

Als Ghosting oder Crosstalk bezeichnet man sichtbare Objektartefakte innerhalb eines Stereogrammes. Der Effekt resultiert aus den Abständen der Augen des Betrachters und den horizontalen Abständen zwischen den beiden Stereohalbbildern<sup>10</sup>. Oft stimmen diese beiden Werte nicht exakt miteinander überein, zumal es für den interokularen Abstand beim Menschen keinen festen Wert gibt, da dieser individuell bedingt ist. Bei leichtem Ghosting scheinen Objekte einen minimalen Rand zu besitzen, bei starkem Ghosting nimmt der Zuschauer Doppelbilder wahr. Mit zuneh-

---

6 Vgl. Mallot, 1998, S.125.

7 Vgl. Zone, 2005, S. 64.

8 Vgl. Lipton, 1982, S. 138.

9 Vgl. Lumet, 2006, S. 97.

10 Vgl. Lipton, 1982, S.90.

mendem Abstand des Objekts von der Bildmitte unterscheiden sich linkes und rechts Bild auch stärker, daher nimmt das Ghosting in den Außenbereichen des Bildes zu. Im Falle von hochaufgelösten Bildern kommt diesem Faktor eine größere Bedeutung zu, da die Artefakte, wenn sie auftreten, auch besser erkennbar sind. Insgesamt sollte Ghosting so weit wie möglich vermieden werden, da es einem angenehmen Seherlebnis abträglich ist.

### 3.5 Tiefensprünge

Bei jedem stereoskopischen Bild muss sich der Wahrnehmungsapparat zu Beginn der Betrachtung auf die beiden Bilder einstellen, dies dauert wenige Millisekunden<sup>11</sup>. Beim Schnitt muss folglich darauf geachtet werden, dass die Augen nicht ständig gezwungen sind, sich abwechselnd auf verschiedene Tiefenebenen zu konzentrieren. Hieraus ergibt sich eine gestalterische Regel, welche zur heutigen Regel des permanent gesuchten „Perspektivkontrasts“ leicht abweicht: Beim Schnitt z.B. von einer Totalen auf eine Naheinstellung sollte eine halbnaher Einstellung zwischengeschnitten werden. Dies muss bei der Aufnahme natürlich bedacht werden. Der Zuschauer kann so sanfter an die nächste Einstellung herangeführt werden<sup>12</sup>. In wieweit dieser Ansatz die gesamte Bilddramaturgie eines Films beeinflusst, muss noch untersucht werden. Eine zweite Lösung wäre das Verwenden einer Überblendung. Denkbar wäre auch der vermehrte Einsatz von Plansequenzen statt Schnitten. Generell sollte bei Stereoproduktionen ein eher langsamer Schnittrhythmus gewählt werden, um den Augen genügend Zeit zu geben, sich entsprechend anzupassen. Zusammenfassend muss derzeit von einer deutlich geänderten Bildsprache gegenüber den heutigen - z.T. im Sekundentakt geschnittenen - Filmen ausgegangen werden.

## 4 Realismus vs. Dramaturgie?

Bis hierhin ist nun bekannt, welche Grundlagen zu einer handwerklich gelungenen Stereoproduktion beitragen:

- Erzeugung von Dreidimensionalität durch *Depth Cues*
- Technisch korrekte stereoskopische Aufnahme und Wiedergabe
- Beachtung eventuell auftretender visueller Seiteneffekte

An dieser Stelle muss auf aber einen weiteren offensichtlichen Punkt eingegangen werden, der die genannten Grundlagen ergänzt. Wird eine stereoskopische Produktion technisch einwandfrei umgesetzt, ist dies keinesfalls eine Garantie für die Akzeptanz beim Zuschauer. Bedeutender als diese Faktoren ist immer noch die Geschich-

<sup>11</sup> Vgl. Lipton, 1982, S. 100f.

<sup>12</sup> Vgl. Zone, 2005, S. 124.

te, welche erzählt wird. Eine innovative oder originelle Handlung bildet den Kern einer jeden gelungenen Produktion. Dies hat zur Folge, dass in bestimmten Fällen die Realitätstreue des Stereogrammes zurückgenommen werden kann, wenn dies der Handlung dient. Ein Beispiel dafür wäre der bereits genannte Effekt des Gigantismus, der sich besonders im Falle von Makroaufnahmen anbietet. Das betreffende Objekt erscheint vergrößert und ist dadurch besser erkennbar. Der Zuschauer empfindet die Wiedergabe als ungewöhnlich, wird dadurch jedoch die Handlung unterstützt, kann dieses Vorgehen durchaus legitim sein. Für die Verantwortlichen bedeutet dies, dass bereits im Vorfeld genau geplant werden muss, ob und wie bestimmte Einstellungen die Handlung unterstützen und bis zu welchem Grad dies dem Zuschauer zumutbar ist. Kein Zuschauer wird der Handlung folgen können oder wollen, wenn die Wiedergabe durch technische Mängel Kopfschmerzen und Übelkeit verursacht, daher ist hier eine gewisse Balance nötig.

## 5 Technische Ausgangssituation der Testproduktion

### 5.1 Stereoskopische Filmkameras

#### *Professionelle Systeme*

Die meisten professionellen Stereokamera-Konstruktionen sowohl für Film als auch für Video nutzen verschiedene optische und mechanische Bauelemente, um die Stereobasis bis zu einem gewissen Grad beliebig variieren zu können. Es werden beispielsweise Komponenten verwendet wie Strahlenteiler, Prismen, Spiegel, oder bewegliche Objektive, deren Abstand zueinander über Elektromotoren simultan verändert werden kann<sup>13</sup>. Der Kameramann kann dadurch je nach Einstellungsgröße mühelos die entsprechende Stereobasis optimal anpassen. Aktuelle Modelle wie die 3DVX3 der Firma 21st Century 3D ermöglichen sogar eine synchrone Änderung der Parameter während de



Abb. 4.2: 3DVX3-Kamerasystem

<sup>13</sup> Vgl. Zone, 2005, S. 30.

*Parallele und konvergente Kamerastellung*

Sehr oft tritt bei einer Stereoproduktion die Frage auf, ob parallele oder konvergierende Kameraachsen verwendet werden sollen. Im Falle der parallelen Kamerastellung treten bei allen im Bild befindlichen Objekten horizontale Disparitäten auf. Diese nehmen zu, je näher sich ein Objekt an der Kamera befindet und je weiter es vom Zentrum des Stereogrammes, entfernt ist, sich also in der Nähe des rechten oder linken Bildrandes befindet. Bei einer Kamerastellung mit konvergierenden Achsen verschwindet die Disparität am Schnittpunkt (Mittelgrund). Im Bereich vor dem Schnittpunkt (Vordergrund) kommt es dabei jedoch zu einer Vergrößerung der Disparität und im Bereich hinter dem Schnittpunkt (Hintergrund) entsteht sogar divergente Disparität.

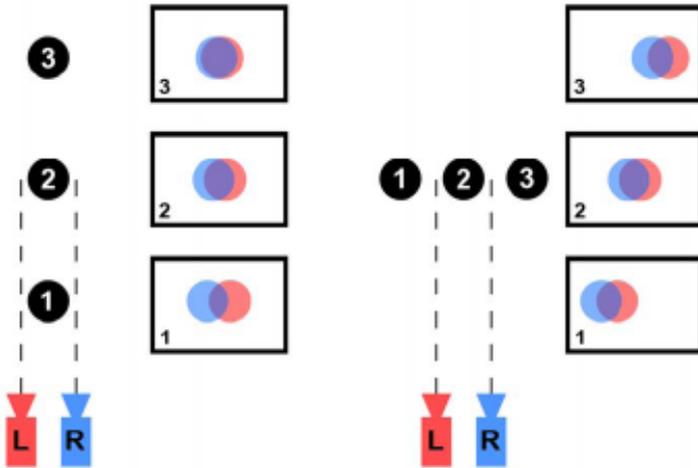


Abb. 4.3: parallele Kamerastellung

Lenkt der Zuschauer seinen Blick in Bereiche mit divergenten Bildunterschieden, werden seine Augen dadurch ebenfalls zu einer divergenten Stellung gezwungen. Dies ist eine unnatürlich Sehweise, die sehr schnell zu Kopfschmerzen und Unwohlsein führt und daher vermieden werden muss.

Sind Vorder- und Hintergrund für den Zuschauer jedoch nicht wahrnehmbar, nimmt er logischerweise auch keine Disparitäten wahr. Da auch bei monoskopischen Aufnahmen oft die Aufmerksamkeit des Zuschauers durch Schärfeverlagerungen<sup>14</sup> oder reduzierte Beleuchtung gezielt auf einzelne Bildbereiche gelenkt wird, ist es durchaus möglich, dies bei stereoskopischen Aufnahmen im Einzelfall ebenfalls zu praktizieren.

<sup>14</sup> Vgl. Ascher und Pincus, 2007, S. 87.

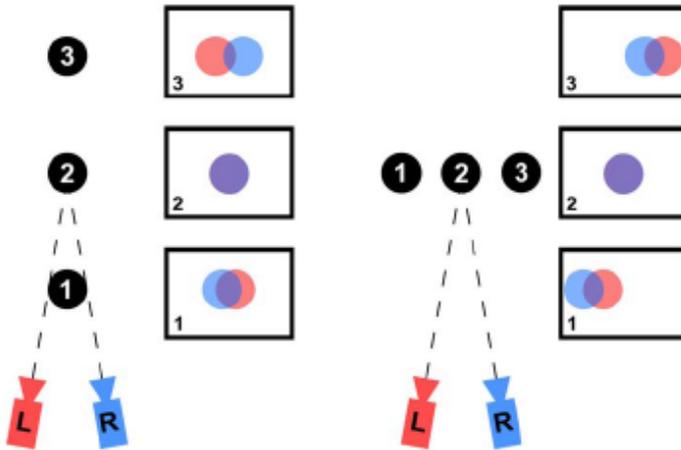


Abb. 4.4: konvergierende Kamerastellung

Wichtig ist dabei eine exakte Ausrichtung der Kameras, um den Schnittpunkt der Achsen wie gewünscht positionieren zu können. Dies ist aber nur empfehlenswert, wenn die Konvergenzbewegung sowohl der linken als auch der rechten Achse präzise durchgeführt wird und eine Überprüfung des 3D-Stereoeffekts in Echtzeit erfolgen kann. Die Verwendung parallel ausgerichteter Kameras in Kombination mit dem größtmöglichen Schärfentiefebereich<sup>15</sup> ist in vielen Fällen die einfachere Methode. Stehen beide Möglichkeiten zur Verfügung, sollte die Entscheidung zur Ausrichtung der Achsen letztendlich immer hinsichtlich der Frage getroffen werden, ob der Dramaturgie des Filmes dadurch gedient wird.

#### *Verwendetes Kamerasystem*

Für die Produktion, die als praktische Beweisführung der bisherigen Überlegungen dient, wurden zwei baugleiche HD-Kameras vom Typ *GY-HD251* der Firma *JVC* in *side-by-side* Konfiguration verwendet. Zur Befestigung auf einem Stativ wurde in der Hochschulwerkstatt bereits für die Testaufnahmen von Anja Frank eine Stereoschiene angefertigt. Die Kameras können unter Verwendung von zwei Kameraplatten auf diese Schiene geschraubt werden, so dass weder in vertikaler Richtung noch nach vorne oder hinten Verschiebungen auftreten.

<sup>15</sup> Der Bereich, der scharf wirkt, erstreckt sich über eine große Distanz, Vgl. Ascher und Pincus, 2007, S. 151.

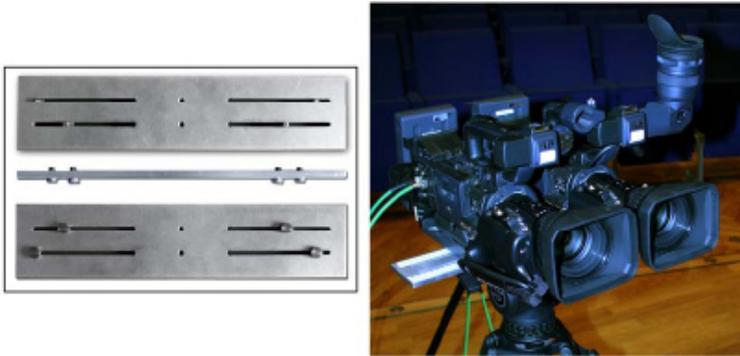


Abb. 4.5: verwendeter Kameraaufbau

Durch diese Kamerastellung und durch die Bauart der Geräte ergab sich als minimal mögliche Stereobasis ein Wert von ca. 13,8 cm. Das Modell *GY-HD251* ist mit einem Zoomobjektiv ausgestattet, welches dem Kameramann Brennweiten in einem Bereich von 5,5-88 mm ermöglicht. Bei kurzen Brennweiten wird ein sehr großer Bildausschnitt aufgenommen<sup>16</sup>. Dadurch, dass die Stereobasis nicht verkleinert werden konnte, ergaben sich bei der Verwendung von kurzen Brennweiten zu große Unterschiede zwischen linkem und rechtem Bild. Als Stereogramm wäre eine solche Aufnahme unbrauchbar gewesen. Die Verwendung von sehr langen Brennweiten wurde so oft wie möglich vermieden, um dem Effekt des Cardboardings vorzubeugen. Hauptsächlich wurden zur Aufnahme Brennweiten im Bereich zwischen 30-50 mm verwendet.

Dies führte dazu, dass nur Einstellungsgrößen zwischen Halbtotals und Totals<sup>17</sup> verwendet werden konnten, was wiederum zur Folge hatte, dass eine parallele Kamerastellung gewählt wurde. Würde man bei derartigen Einstellungsgrößen konvergierende Kameraachsen verwenden, entstünden zwangsläufig divergente Disparitäten im Hintergrund. Zudem war die Funktion des stereoskopischen Monitorings zu ungenau, um die Kameras in den entsprechend korrekten Winkeln auszurichten. Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus den Vorarbeiten von Anja Frank (Kapitel III) und Volker Stephan (Kapitel VI) wurden die Kameras parallel ausgerichtet und jeder shot mit dem größtmöglichen Schärfetiefenbereich aufgenommen.

Durch die Tatsache, dass zwei Kameras verwendet wurden, ergaben sich weitere Einschränkungen hinsichtlich der Kamerabedienung und der damit verbundenen Gestaltungsmöglichkeiten. Parameteränderungen bei Fokus, Brennweite und Blendenzahl müssen bei beiden Kameras absolut simultan durchgeführt werden, sonst stimmen

16 Vgl. Lumet, S. 97.

17 Vgl. Katz, S. 170.

diese Änderungen bei der späteren Wiedergabe nicht überein. Auch mit großem Geschick ist eine manuelle Vornahme solcher Änderungen extrem schwierig. Diese Probleme werden in der Regel durch Elektromotoren gelöst, die entsprechende Regler am Objektiv auf Knopfdruck synchron ändern. Für die Anbringung solcher Hilfsmittel waren weder ausreichend Zeit noch die finanziellen Mittel gegeben. Eine Alternative bestand in einer Fernbedienung, die eine gleichzeitige Steuerung der Geräte ermöglicht hätte, leider konnte ein solches Gerät nicht beschafft werden. Aus diesem Grund beschränken sich die Möglichkeiten der Bildgestaltung auf feste Einstellungsgrößen und wenig komplexe Kamerabewegungen wie horizontale und vertikale Schwenks und einfache Fahrten. Im Endergebnis konnte damit allerdings kein dramaturgisches Optimum erzielt werden.

#### *Kameratests*

Um die Möglichkeiten der *GY-HD251* zu testen, erfolgten zwei Kameratests. Für den ersten Test wurde lediglich eine der Kameras verwendet. Es sollte ermittelt werden, bei welcher Blendenzahl ein Objekt bis zu einer gewissen Distanz scharf aufgenommen werden kann, also wie groß der o.g. Schärfetiefenbereich ist. Mit den gewonnenen Erkenntnissen konnte eine Tabelle erstellt werden, aus der für die jeweilige Blendenzahl der entsprechende Schärfetiefenbereich herausgelesen werden kann. Für jede Lichtsituation konnte so genau der Schärfetiefenbereich bestimmt werden.

Der zweite Test wurde mit beiden Kameras durchgeführt, es sollte dabei die Gebrauchstauglichkeit des kompletten Aufzeichnungssystems unter Drehbedingungen getestet werden. So wurden unter anderem Kenntnisse über die durchschnittliche Aufbaudauer des Systems und die Mobilität ermittelt. Es wurde ebenfalls erfolgreich getestet, ob - als einfaches Backup - eine gleichzeitige Aufnahme auf Festplatte und HDV-Band erfolgen kann. Weiterhin wurde die Gebrauchstauglichkeit der einzelnen Brennweiten hinsichtlich des 3D-Stereoeffektes getestet.

## 5.2 Aufzeichnung

Nachdem die erste stereoskopische HD-Produktion an der Fakultät Digitale Medien im HDV-Format durchgeführt wurde, sollte für diese Testproduktion erstmalig mit unkomprimierten HD-Daten gearbeitet werden. Dazu wurde von Volker Stephan ein entsprechend robustes und kostengünstiges stereoskopisches HD-Aufzeichnungssystem entwickelt, welches im Einsatz für Forschung und Lehre verwendet werden kann. Das gesamte System wird erst in einem späteren Kapitel vorgestellt, deshalb an dieser Stelle nur eine Kurzbeschreibung.

#### *Aufnahmeserver*

Kurz beschrieben besteht das eingerichtete Aufzeichnungssystem aus einem Server

inkl. RAID 0 im 19“/3HE-Chassis, der über zwei Decklink HD Extreme - Grafikkarten der Firma *Blackmagic Design* verfügt, die jeweils mit einer der beiden Kameras verbunden werden. Die Signalübertragung erfolgt über die HD-SDI-Schnittstelle der jeweiligen Kamera; die Verbindung wird über zwei Koaxialkabel mit einer Impedanz von 75 Ohm und BNC-Steckverbindungen realisiert. Zur Timecodesynchronität laufen die beiden Kameras im Master/Slave-Betrieb. Über eine einfach zu bedienende DirectShow-Anwendung kann die stereoskopische HD-Aufzeichnung vom Server aus synchron gestartet, pausiert und gestoppt werden.

### *Unkomprimiertes HD-Video*

Die Videodaten wurden im Y/Cb/Cr - Farbraum aufgezeichnet, das Material erfährt in den Kameras ein 4:2:2-Chroma-Subsampling<sup>18</sup>. Da als gestalterisches Ziel Realismus angestrebt war, wurde als Bildformat 720/p/50, mit einer linearen Quantisierung von 8 Bit gewählt. Der Aufnahmeserver speichert die beiden Kamerasignale als zwei getrennte AVI-Dateien ab. Grundsätzlich ist auch die Aufzeichnung anderer HD-Formate möglich, z.B. 1080/50i, doch Tests hatten ergeben, dass nur das Format 720/p/50 von der GY-HD251 problemlos nativ über die HD-SDI-Schnittstelle aufgezeichnet werden konnte. Da die Komponentensignale nicht komprimiert werden, benötigt jede Datei naturgemäß viel Speicherplatz, in diesem Falle ca. 8 GB pro Minute stereoskopischem Videomaterial. Für eine detaillierte Beschreibung des Aufnahmeprozesses sei an dieser Stelle nochmals auf Kapitel VI verwiesen.

### *Postproduktion*

Bezüglich der Postproduktion gilt es - wie bei allen Filmproduktionen - als planerischen Prozess zu beachten, daß das Akquiseformat auch von den zur Verfügung stehenden Postprosystemen bearbeitet werden kann. Wie im nachfolgenden Kapitel noch ausgeführt, gilt für auch stereoskope HD-Produktionen, dass der Input für die Postproduktion möglichst unkomprimiert vorliegen sollte - und zwar idealerweise als getrennte, aber timecodesynchrone Files für linkes und rechtes Auge. Für unsere kurze HD-Testproduktion, welche mit unkomprimierten Luma/Croma-Werten in *Blackmagic-.avi* Konfiguration aufgezeichnet wurde, bot sich an, die gesamte Postproduktion inklusive Schnitt mit *Adobe Aftereffects* auf einer *Xeon*-Workstation durchzuführen. Der benötigte hohe Datendurchsatz bedingt allerdings den Einsatz einer *SAN*-Infrastruktur. Näheres dazu im nachfolgenden Kapitel.

---

18 Vgl. Poynton, 2003, S. 89f.

### 5.3 Wiedergabe

Die Wiedergabe stereoskopischer Filme kann heute entweder über

- aktive Shutterbrillen,
- monoskopische Displays (im Anaglyphenverfahren mit rot/cyan-Brille),
- stereoskopische Displays (ohne Brille durch optische links/rechts Barrieren),
- Leinwände/Beamer (mit Brillen im Anaglyphen-, Polarisations- oder Shutterverfahren)

erfolgen. Wichtig für die Planung einer stereoskopischen HD-Produktion ist insbesondere Frage, in welchem Framing die Wiedergabe erfolgen soll. Viele Shutterbrillen bieten heute nur VGA-Auflösung an (640x480). Ein Kinosaal-Projektor gem. dem Standard der Digital Cinema Initiative muss zumindest Breitbildformat (1:1,66 bis 1:1,85) bieten.

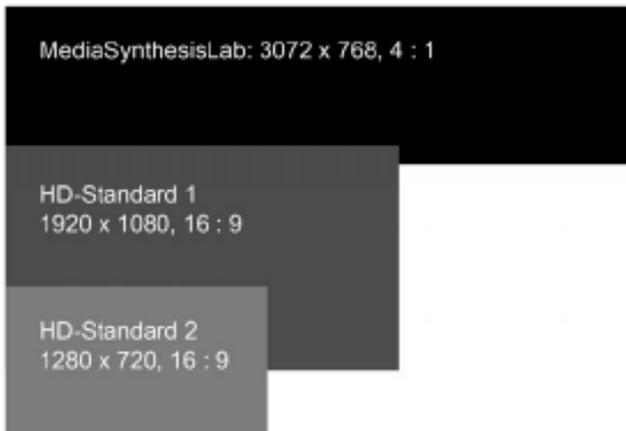


Abb. 4.6: Seitenverhältnisse

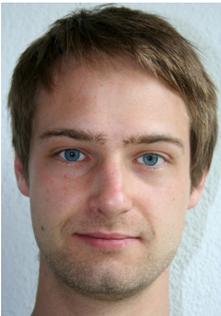
Ein Codier- und Speicherverfahren für die Distribution von stereoskopischen Filmen befindet sich derzeit bei der SMPTE in der Diskussion. Liegt der Postpro-Output als getrenntes linkes/rechtes-Auge File vor, besteht auf jeden Fall die größtmögliche Flexibilität bezüglich der Abspieleinrichtung. Unsere Testproduktion sollte so aufbereitet werden, dass sie auf einem Leinwand-Triptychon im MediaSynthesisLab der Fakultät Digitale Medien abgespielt werden kann. Näheres dazu in Kapitel VII dieses Berichts.



ERIC SCHUMACHER

## Autor

Eric Schumacher



Geb. 1983 in Neuenbürg (Enzkreis). 2004 Beginn des Studiums Online Medien an der Hochschule Furtwangen University (HFU), Februar - Juni 2007 Auslandssemester an der Auckland University of Technology (AUT) in Neuseeland, 2008 Abschluss Bachelor of Science.

Seit WS 2008/09 Masterstudium Computer Science in Media an der HFU, zusätzlich seit März 2009 wissenschaftlicher Mitarbeiter des Informations-und Medienzentrums im Bereich Medienproduktion.



## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 4.1: Dreidimensionalität durch Beleuchtung  
Illustration: Eric Schumacher, erstellt mit SVT Light Studio for Windows
- Abb. 4.2: 3DVX3-Kamerasystem  
<http://www.21stcentury3d.com>; 20.08.2008
- Abb. 4.3: parallele Kamerastellung  
Illustration: Eric Schumacher
- Abb. 4.4: konvergierende Kamerastellung  
Illustration: Eric Schumacher
- Abb. 4.5: verwendeter Kameraaufbau  
Illustration: Eric Schumacher, teilweise übernommen aus Frank, S. 47
- Abb. 4.6: Seitenverhältnisse  
Illustration: Eric Schumacher, teilweise übernommen aus Poynton, S. 7
- Abb. 4.7: Grundriss MediaSynthesisLab mit trapezförmiger Leinwand  
<http://webuser.fh-furtwangen.de/~fetzner/spacestudies/index.php?n=Main.MediaSynthesisLab>; 20.08.2008



## Literaturverzeichnis

- Ascher, Steven; Pincus, Edward (2007): The filmmaker's handbook. A comprehensive guide for the digital age. 3. ed. New York: Penguin.
- Böhringer, Joachim (2000): Kompendium der Mediengestaltung für Digital- und Printmedien. Berlin: Springer (X.media.press).
- Dunker, Achim (1993): Licht- und Schattengestaltung im Film. „Die chinesische Sonne scheint immer von unten“. München: TR-Verl.-Union (TR-Praktikum, 9).
- Goldstein, E. Bruce (2002): Wahrnehmungspsychologie. 2. dt. Aufl. / hrsg. von Manfred Ritter. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akad. Verl.
- Grau, Oliver (2003): Virtual Art. From Illusion to Immersion: MIT Press Ltd.
- Katz, Steven D; Utecht, Harald (2004): Die richtige Einstellung. Shot by shot; zur Bildsprache des Films; das Handbuch. Dt. Erstausg., 5. Aufl. Frankfurt am Main: Zweitausendeins.
- Keppler, Erhard (1988): Die Luft, in der wir leben. Physik der Atmosphäre; mit 15 Tab. München [u.a.]: Piper.
- Lipton, Lenny (1982): Foundations of the Stereoscopic Cinema. A Study in Depth: Van Nostrand Reinhold (Sd).
- Lumet, Sidney (2006): Filme machen. Vom Drehbuch zum fertigen Film: Autorenhaus-Verlag.
- Mallot, Hanspeter A. (1998): Sehen und die Verarbeitung visueller Information. Eine Einführung. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg.
- Mayer, Horst O. (2005): Einführung in die Wahrnehmungs-, Lern- und Werbe-Psychologie. 2., überarb. und erw. Aufl. München, Wien: Oldenbourg.
- Monaco, James (2000): Film verstehen. Kunst, Technik, Sprache, Geschichte und Theorie des Films und der Medien; mit einer Einführung in Multimedia. 4. Aufl. d. überarb. u. erw. Neuausg. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt-Taschenbuch-Verl. (Rororo, 61433 : rororo-Sachbuch).
- Poynton, Charles A. (2003): Digital video and HDTV. Algorithms and interfaces. Amsterdam [u.a.]: Morgan Kaufmann.
- Röder, Oliver (2007): Grundlagen der Stereoskopie. Analyse der Aufnahme und Projektion von 3-D Bildern. Saarbrücken: VDM Verl. Müller.
- Tanenbaum, Andrew S. (2003): Computernetzwerke. 4., überarb. Aufl. München [u.a.]: Pearson.
- Zone, Ray (2005): 3-D filmmakers. Conversations with creators of stereoscopic motion pictures. Lanham, Md.: Scarecrow Press (Filmmakers).
- 21st Century 3D: Technology – Zugriffsdatum: 25. 08. 2008 [<http://www.21stcentury3d.com/technology.html#top>]
- All Business: NuVision Technologies launches stereoscopic 3D PC Gaming Product, Artikel vom 3. September 1996 – Zugriffsdatum: 21. 08. 2008 [<http://www.allbusiness.com/technology/software-services-applications/computer/7264812-1.html>]
- Cycling '74: Networking: Max talking to Max, Thread vom 23. 10. 06 – Zugriffsdatum: 20. 08. 2008 [<http://www.cycling74.com/story/2006/10/23/104657/91>]
- The Stewardesses 3-D: Other Views – Zugriffsdatum 25. 08. 2008 [<http://www.thestewardesses.com/?go=reviews>]
- WELT ONLINE: Hollywood setzt jetzt voll auf 3D-Filme, Artikel vom 13.03.08 – Zugriffsdatum: 25. 08. 2008 [[http://www.welt.de/kultur/article1797114/Hollywood\\_setzt\\_jetzt\\_voll\\_auf\\_3-DFilme.html](http://www.welt.de/kultur/article1797114/Hollywood_setzt_jetzt_voll_auf_3-DFilme.html)]
- Wikipedia: Petersplatz – Zugriffsdatum: 24. 08. 2008 [<http://de.wikipedia.org/wiki/Petersplatz>]
- Wikipedia: Raumwahrnehmung – Zugriffsdatum: 24. 08. 2008 [<http://de.wikipedia.org/wiki/Raumwahrnehmung>]
- Wikipedia: Stereoskopisches Sehen – Zugriffsdatum: 24. 08. 2008 [[http://de.wikipedia.org/wiki/Stereoskopisches\\_Sehen](http://de.wikipedia.org/wiki/Stereoskopisches_Sehen)]



ERIC SCHUMACHER

## Durchführung einer stereoskopischen HD-Produktion

Um die vorangestellten, theoretischen Überlegungen zur stereoskopischen HD-Produktion praktisch anwenden zu können und zu überprüfen, sollte auf Basis der im vorherigen Kapitel gewonnenen Erkenntnisse eine Kurzfilmproduktion umgesetzt werden. Sowohl von technischer als auch von dramaturgischer Seite sollte ein hoher Standard erzielt werden. Als Ergebnis entstand die Produktion „Die Rolle seines Lebens“. Es handelt sich dabei um einen stereoskopischen Kurzfilm, dessen auditiver Anteil über eine Wellenfeld-Synthese-Anlage wiedergegeben wird. Beim Zuschauer soll so durch dreidimensional wirkendes Video und Audio eine maximale filmische Immersion erzielt werden.

### 1 Konzeption

Die ersten Ideen, die für die Kurzfilmproduktion entwickelt wurden, beschäftigten sich vor allem mit der Frage, wie man durch die Nutzung von Stereoskopie und Wellenfeldsynthese Geschichten mit räumlichen Wirkungen am besten erzählen könnte. Mehrere Treatments wurden entwickelt, darunter ein Musikvideo, bei dem sich die Kamera um die einzelnen Bandmitglieder herum und zwischen ihnen hindurch bewegen sollte wobei sich die Audioquellen entsprechend mitbewegen. Weitere Überlegungen beinhalteten Handlungen, aufgenommen aus der Eigenperspektive einer Person, u.a. während einer Autofahrt oder eines Theaterbesuches. Daneben wurden dramaturgische Möglichkeiten untersucht zur Einbeziehung von Räumen mit gro-

ßer Tiefe, z.B. Säle, Kirchen, Gänge, Schächte oder Schluchten. Von diesen ersten Grundkonzepten wurde jedoch keines weiter verfolgt. Viele Idee scheiterten bereits an der Tatsache, dass eine Umsetzung mit den gegebenen technischen Randbedingungen und Einschränkungen nicht möglich war. Andere boten letztlich nicht genug erzählerisches Potenzial, um über einen Zeitraum von mehreren Minuten interessant zu bleiben und Stereoskopie und Wellenfeldsynthese nicht zum Selbstzweck verkommen zu lassen. Ein wichtiger Schritt in diesem Zusammenhang war die gemeinsam getroffene Festlegung, dass die Audioquellen hauptsächlich den visuellen Raum um Elemente erweitern sollten, die zwar nicht zu sehen, dennoch dramaturgisch und logisch vorhanden sind. Eine solide Geschichte sollte das Kernstück der Produktion sein. Unter Berücksichtigung all dieser Vorüberlegungen und Festlegungen wurde ein Drehbuch entwickelt, das von einem scheinbar glücklosen Schauspieler handelt, gegen den sich die Welt zu verschwören schien. Die meiste Zeit soll dem Zuschauer das Gefühl der Einsamkeit und Isolation des Protagonisten vermittelt werden. Der Zuschauer wird über die gesamte Geschichte zunächst in die Irre geführt, erst gegen Ende offenbaren sich dann die wahren Sachverhalte.

## 2 Dreharbeiten

### 2.1 Ablauf

#### *Aufbau*

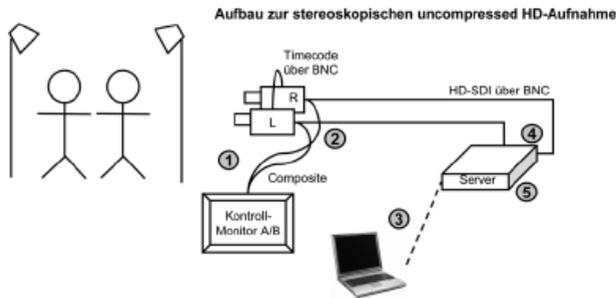
Zu Beginn eines Drehtages wurde in jede Kamera ein *MiniDV*-Band eingelegt, um neben der unkomprimierten Aufnahme auf Festplatte eine komprimierte Version des gedrehten Materials im HDV-Format zu gewährleisten. Die Bänder wurden vor dem Einlegen mit Datum, Bandnummer und entsprechend der jeweiligen Kamera mit den Vermerken „links“ und „rechts“ beschriftet. Durch die eingelegten Bänder sollte einer Situation vorgebeugt werden, in der die Festplattenaufnahmen trotz Überprüfung nicht zu gebrauchen gewesen wären, beispielsweise bei einer unbeabsichtigten Löschung der Videodateien oder einer technischen Fehlfunktion oder Beschädigung des Aufnahmeservers. An der Unterseite jeder Kamera wurde eine Kameraplatte angebracht. Beide Platten waren vom selben Modelltyp, dadurch wurde eine korrekte Kamerastellung erleichtert. Danach wurde die Stereoschiene auf dem Stativkopf angebracht und anschließend die Kameras mittels Schrauben an der Schiene befestigt. Bevor die Kameras in die eigentliche Aufnahmeposition gebracht wurden, mussten die Verbindungen zum Aufnahmeserver hergestellt werden. Wie in Kapitel 5 beschrieben, wurde die HD-SDI-Schnittstelle jeder Kamera mit der entsprechenden Decklink-Grafikkarte über Koaxialkabel verbunden. Da sich die erwähnte Schnittstelle bei einem *GY-HD251* - Camcorder an der rechten Gehäusesseite befindet, wurden für die linke Kamera zusätzliche BNC-Winkeladapterstecker verwendet. Ohne diese Winkelstecker wäre man gezwungen gewesen, eine noch größerer Stereobasis zu verwenden. Beide Kameras wurden zusätzlich über ein weiteres Koaxialkabel verbunden. Dies geschah zum Zwecke der Timecode-Übertragung von einer Kamera auf die andere.

Indem eine Master-Slave- Konstellation verwendet wurde, arbeiteten beide Kameras mit dem gleichen Timecode. Dies sollte beim späteren Schnitt der Bildsynchronität dienen. Parallel zum Aufbau der Kameras wurde der Aufnahmeserver vorbereitet. Als überaus praktikabel hat sich eine Vorgehensweise erwiesen, bei der der gesamte Aufbau (Server, Monitor, Tastatur, Stativ, Kameras, Kontrollmonitor) auf dem Dolly installiert wurde. Die Stromkabel der einzelnen Geräte wurden an eine Steckdosenleiste angeschlossen, dadurch konnte die Energieversorgung über ein einzelnes Verlängerungskabel erfolgen. So war der Aufbau mobil und gut bedienbar, verfügte aber dennoch über eine ausreichende Stabilität.



Abb. 5.1: Mobiler Kameraaufbau

Prinzipiell besteht die Möglichkeit, den Aufnahmeserver über eine Remote-Desktop - Funktion zu steuern. Dabei wird das Gerät etwas weiter abseits des Sets eingerichtet und kann unter Verwendung eines einfachen Notebooks und mittels einer Ethernet-Verbindung oder WLAN vom Set aus gesteuert werden. Diese Vorgehensweise empfiehlt sich insbesondere, wenn Livedialoge mit aufgenommen werden sollen, denn der Aufnahmeserver besitzt wegen der eingebauten Kühler eine hohe Betriebslautstärke. Bei den Dreharbeiten für „Die Rolle seines Lebens“ wurde ohne Remote-Desktop gearbeitet, da sämtliche Audioaufnahmen ohnehin komplett „trocken“ nachsynchronisiert werden mussten, um für die Wellenfeldsynthese geeignet zu sein.



- 1: Szene einrichten (Licht, Kontrast, Kadrierung, Farbe) Kontrolle mit Kamera L + Monitor
- 2: Kamera R dazu, Kontrolle am Monitor, A/B-Flip (Angeschrittene Objekte, Scheinfenster + Brennweite testen)
- 3: 3D-Check am Notebook, über Remote-Desktop und Stereo-Monitoring
- 4: Aufnahme → RD
- 5: Kontrolle (Fitegröße L/R, Länge, Dropped Frames über Muxer, Testweises Abspielen L/R Stereoskopischer Player)

Abb. 5.2: Technische Skizze des Aufbaus

Vor Drehbeginn wurde überprüft, ob alle Signale wie gewünscht übertragen wurden. Dies war sehr wichtig, denn unter den vorhandenen Koaxialkabeln befand sich eines, das die Signale nicht korrekt übertrug. Nachdem dies erkannt wurde, wurde das betreffende Kabel markiert und für den weiteren Dreh nicht mehr benutzt. Die Bildüberprüfung zum Einrichten und Ausleuchten der Szene wurde über einen Kontrollmonitor, der das Composite-Signal beider Kameras nutzte, vollzogen. Dann wurde mit Hilfe eines Maßbandes die Scheinfensterweite ermittelt und Beleuchtung und Kameraparameter der linken Kamera angepasst. Die rechte Kamera wurde anschließend ebenfalls mit diesen Parametern kalibriert. Dann wurden beide Kameras in ihre Endposition gebracht, parallel zueinander ausgerichtet (mit der minimal erzielbaren Stereobasis von 13,8 cm).

### *Dreh*

War alles bereit zum Drehbeginn, wurde an den Kameras zuerst die MiniDV-Bandaufnahme gestartet, dann über die DirectShow-Anwendung des Servers die Festplattenaufnahme. Aus Sicherheitserwägungen wurde zur späteren Synchronisierung der beiden Stereoalbbilder noch eine Regieklappe verwendet. Die geplante Synchronisation über den Timecode brachte nach einiger Zeit Probleme mit sich, da der Timecode des Bandes plötzlich weiterhin lief, auch wenn sich die Kameras im StandBy-Modus befanden. Dieses Problem war während den Kameratests nicht aufgetreten, und eine detaillierte Untersuchung war durch den Zeitdruck der Dreharbeiten nicht möglich. Somit wurde zur Synchronisation der Bilder ab dem ersten Drehtag nur noch die Regieklappe verwendet. Sehr vorteilhaft war, dass die beiden aufgezeichneten Videodateien sofort nach der Aufnahme überprüft werden konnten. War die Aufnahme

zufriedenstellend, wurden die AVI-Dateien in einen Ordner verschoben, der entsprechend der Szene benannt wurde. Bei einer unbefriedigenden Aufnahme wurden die Dateien gelöscht und die Aufnahme wiederholt. Durch diese Vorgehensweise erübrigte sich die Notwendigkeit einer Shotlist, die normalerweise dazu verwendet wird, gelungene Takes mit der zugehörigen Timecodestelle zu notieren, um später zum Schnitt keine Zeit mit langem Suchen nach dem richtigen Take zu verschwenden.

### *Abbau und Lagerung*

Waren alle Szenen eines Drehortes abgedreht, wurde das Equipment abgebaut und während des Verladens mit Hilfe einer Liste auf Vollständigkeit überprüft. Danach wurde das Equipment zum nächsten Drehort gefahren und erneut aufgebaut. Die MiniDV-Bänder wurden in Hüllen verstaut und die Kameraakkus wurden geladen. Geplant war, das gedrehte unkomprimierte Videomaterial auf einer externen Festplatte zu sichern, um für den folgenden Drehtag freien Speicherplatz auf dem Aufnahmeserver zu gewährleisten. Allerdings lassen sich einzelne Dateien, die größer als 3,9 GB sind, nur auf Festplatten speichern, die nach dem NTFS-System formatiert sind. Die verwendete Festplatte jedoch nutzte eine FAT32 - Formatierung. Letztendlich wurden die Dateien, die kleiner als 3,9 GB waren, auf der Festplatte gespeichert, für die restliche Drehzeit musste man mit den Kapazitäten des Aufnahmeservers auskommen. Zum Abschluss des Drehtages wurde die Ausrüstung erneut auf Vollständigkeit und Schäden überprüft, glücklicherweise traten während der gesamten Dreharbeiten keinerlei Verluste oder Beschädigungen auf.

## 3 Schnitt und Postproduktion

Bereits längere Zeit vor Drehbeginn wurde nach einer Möglichkeit gesucht, wie das unkomprimierte HD-Material bearbeitet werden sollte. Mit einer Testsequenz wurden verschiedene Systeme, die an der Fakultät Digitale Medien in Gebrauch sind, auf entsprechende Tauglichkeit geprüft. Das *Avid Adrenaline Media Composer* System war die erste logische Wahl. Es stellte sich jedoch schnell heraus, dass die installierte Softwareversion 2.6.2 das 720/50p-Format nicht unterstützt. Laut Herstellerinformationen erfüllt das Programm erst ab Version 2.7 die notwendigen Anforderungen. So wurde vorerst nach einer Alternative gesucht, die dann auch bald gefunden wurde. Und zwar in Gestalt eines Computers aus der Postproduktion mit SAN-Anbindung und der *Adobe Creative Suite* als Software. Der betreffende Computer ist ebenfalls mit einer *Decklink Extreme* Capturekarte ausgestattet, die .avi-Treiber von *Blackmagic* sind in die *Creative Suite* eingebunden, daher konnte das Material auf diesem System mit den Programmen *Premiere Pro* und *After Effects 7* bearbeitet werden. Für die Übertragung der Videodateien vom Aufnahmeserver auf die dafür eingerichtete Partition wurde die inzwischen von FAT32 auf NTFS umformatierte externe Festplatte verwendet. Insgesamt benötigte das Material ca. 400 GB an Speicherplatz. Selbstverständlich traten während der gesamten Bearbeitungszeit die typischen Faktoren auf,

die bereits bei den Testaufnahmen von Anja Frank erwähnt wurden: Eine doppelte Datenmenge bedeutet die doppelte Menge an benötigtem Speicherplatz, eine längere Bearbeitungszeit und längere Renderzeiten. Sehr vorteilhaft war allerdings, dass linke und rechte Videospur identische Timecodelaufzeiten aufwiesen. Dadurch wurde eine Synchronisierung der Bilder erheblich vereinfacht, es musste für beide Spuren lediglich ein identischer Startpunkt in der Timeline angegeben werden.

### 3.1 Schnitt

Für den Schnitt wurde das Programm Premiere Pro verwendet. Dabei wurde zunächst eine Ordnerstruktur im Projektfenster angelegt, um die Sequenzen eindeutig ordnen zu können. Dann wurden die Videos importiert und in die entsprechenden Ordner verschoben. Zum Schnitt wurden die beiden Clips (links und rechts) eines Takes in der Timeline platziert und dort über einen Standardbefehl verknüpft. Dadurch wirkte sich die Verschiebung eines Clips sofort auf den anderen aus, so dass Änderungen nicht doppelt vorgenommen werden mussten. Mit dem programminternen Effekt „3D-Brille“ konnte bereits während des Schnitts die Wirkung des Stereoeffekts bewertet werden, doch zu diesem Zeitpunkt war das Ergebnis eher unbefriedigend. So wurde zunächst lediglich der Rohschnitt erstellt.

### 3.2 Positionsanpassung

Nach Beenden des Rohschnitts wurde das in Premiere angelegte Projekt gespeichert und in After Effects geöffnet (beide Programme erlauben ein problemloses Importieren des jeweils anderen Formats). Als nächster Schritt mussten horizontale Disparitäten entfernt werden, welche bei der Aufnahme durch die relativ große Stereobasis entstanden waren. Zu diesem Zweck wurde zunächst eine Komposition mit den Parametern des Videomaterials erstellt, d.h. eine Auflösung von 1280x720 Pixel, 50 Vollbilder pro Sekunde und ein quadratisches Pixelseitenverhältnis. Dann wurden linke und rechte Aufnahme in die Komposition eingefügt, untereinander am jeweils gleichen Punkt in der Timeline. Natürlich überlagerte die obere Spur die untere, daher wurde die Deckkraft der oberen Spur zunächst etwas reduziert, um auch die untere Spur erkennen zu können. Anschließend wurden beide Spuren mittels Positionskeyframes verschoben, auf diese Weise konnte ein großer Teil der Disparitäten und das damit zusammenhängende Ghosting entfernt werden. Das Problem der an den Bildrändern entstehenden schwarzen Bereiche konnte durch eine leichte Aufskalierung des Materials (zwischen 3-5 %) behoben werden.

Nach der Positionsanpassung wurde die vollständige Deckkraft der oberen Spur wieder hergestellt. Dann wurde von jeder Spur eine Unterkomposition erstellt und

entsprechend benannt, z.B. Szene\\_1\\_1\\_UK\\_L und Szene\\_1\\_1\\_UK\\_R. Diese umständliche Vorgehensweise ist leider notwendig; der Grund dafür ist folgender: After Effects besitzt ebenso wie Premiere den programminternen Befehl der „3DBrille“ zum Überprüfen des Stereoeffekts. Es hat sich jedoch gezeigt, dass dieser Effekt die Änderungen der Positionskeyframes nicht berücksichtigt, d.h. es werden für die Überprüfung die Bilder mit unveränderten Werten gezeigt. Dies ist natürlich nicht von Nutzen, daher muss der Umweg über die Unterkompositionen gewählt werden. Zusätzlich ist diese Vorgehensweise für den nun nachfolgenden Schritt ebenfalls notwendig.



Abb. 5.3: Korrektur der horizontalen Disparitäten: vorher – nachher

### 3.3 Bildstabilisierung

Nach der Positionsanpassung mussten an einigen Stellen Bildstabilisierungen von verwackelten Kamerafahrten durchgeführt werden. Dies geschah über die Motion-Tracking - Funktion zur Bildstabilisierung. Dabei werden ein oder mehrere eindeutige Pixelmuster innerhalb des Bildes festgelegt, deren Bewegung vom Programm mitverfolgt wird, während der Clip läuft. Somit lässt sich die Position der markierten Stellen für jedes einzelne Frame über Koordinatenwerte bestimmen. Die Stabilisierung wird dadurch erreicht, dass das gesamte Bild über Positionskeyframes derart bewegt wird, sodass sich die markierten Muster stets an den gleichen Koordinaten befinden. Da die Bewegung in linkem und rechtem Bild identisch ist, genügt es, für eine der Spuren das Motion-Tracking durchzuführen. Die entsprechenden Bezugswerte zur Positionsänderung lassen sich danach leicht auf die zweite Spur kopieren. Da hier mit den zuvor erwähnten Unterkompositionen gearbeitet wurde, war es möglich, eine erneute Änderung der Positionswerte durchzuführen. Hätte man die Werte des Ursprungsmaterials verändert, wäre die zuvor erreichte Positionsanpassung zunichte gemacht worden.

### 3.4 Farbkorrektur und Export

Da man neben der Wiedergabe über Farbanaglyphen die mögliche Nutzung des Polfilter-Verfahrens gewährleisten wollte, wurde das Projekt entsprechend flexibel angelegt. Es ist sowohl möglich, vom Postpro-Endergebnis ein anaglyphes Video zu erstellen, als auch ein separater Export der linken und rechten Videospur. Die Farbkorrektur erfolge mit den Effekten „Helligkeit und Kontrast“ und „Kurven“. Für die freiwilligen Beteiligten wurde als Referenz eine DVD erstellt, die eine monoskopische, planare Version enthält.

## 4 Wiedergabe

Das Hauptproblem, das bei der Wiedergabe gelöst werden musste, war die Synchronisierung von stereoskopischem Video und virtuellen Audioquellen, generiert durch die WFS-Anlage. Dazu muss erwähnt werden, dass für die Videowiedergabe ein anderer Computer verwendet wird als für die Audiowiedergabe. Das Gerät, das das Video abspielt, besitzt eine besondere NVIDIA- Grafikkarte, um synchrone Bildsignale an die drei Beamer zu liefern, die für die passive Rückprojektion sorgen. Es galt nun also, ein Signal vom Videocomputer zum Audiocomputer zu schicken, zu genau dem Zeitpunkt, wenn auf dem Videorechner die Wiedergabe gestartet wird. Zur Lösung dieses Problems wurde das Programm Max/MSP verwendet, eine grafische Multimedia-Entwicklungsumgebung. Die Anwendung zur Steuerung der WFS-Anlage, WFS.Control, wurde von Antonio Lopes ebenfalls mit Max/MSP erstellt. Das Programm ermöglicht es, dass durch Ausführung einer bestimmten Aktion ein Signal, ein so genannter Bang, generiert wird, der an eine andere Max/MSP-Anwendung geschickt werden kann. Auf dem Videorechner wurde ebenfalls mit Max/MSP eine Anwendung erstellt, die das Video durch einen Klick auf einen Button startet. Gleichzeitig wird durch diesen Klick das Bang-Signal erzeugt. Dieses wird über eine Netzwerk-Verbindung an den Audio- Rechner geschickt. Die Signalsendung und das Empfangen werden in Max/MSP über die Befehle *udpsend* und *udprecieve*<sup>1</sup> realisiert, es wird also das User Datagram Protocol (UDP) genutzt. Dafür wurden beiden Geräten feste IP-Adressen zugewiesen. Im Programm müssen lediglich die IP-Adressen des Senders und des Empfängers angegeben werden, sowie Quell- und Zielport, die zur Signalübertragung verwendet werden. Im Gegensatz zu TCP besitzt UDP keine Funktion zur Fluss- oder Fehlerkontrolle der Daten<sup>2</sup>. Allerdings ist dies in diesem Falle zu vernachlässigen, da die unmittelbare Rückmeldung darin besteht, dass die Audiowiedergabe startet oder eben nicht. Hinzu kommt, dass aus genau diesem Grund die Signalübermittlung bei UDP mit einer geringeren Latenz erfolgt.

---

1 Vgl. <http://www.cycling74.com/story/2006/10/23/104657/91>.

2 Vgl. Tanenbaum, 2003, S. 573f.

## 5 Analyse & Evaluation

Im Folgenden werden verschiedene Sachverhalte angeführt, die sich für die einzelnen Produktionsschritte als erwähnenswert herauskristallisiert haben. Es tauchen sowohl positive Punkte auf als auch Probleme, die es zukünftig noch zu lösen gilt, bzw. für die zumindest Übergangslösungen gefunden werden sollten. Für weitere Arbeiten in diesem Bereich gilt es, die positiven Aspekte auszubauen und die negativen Aspekte zu eliminieren.

### 5.1 Aufzeichnung

Viele bildgestalterische Abläufe, die bei der Verwendung von nur einer Kamera zur Routine gehören, konnten nicht durchgeführt werden. Es wurde bereits erwähnt, dass während der Aufnahme keine synchronen Änderungen an Brennweite, Zoom und Blende möglich waren. Hierfür wäre zu überlegen, ob z.B. eine Fernbedienung verwendet werden könnte. Weiterhin besteht die Möglichkeit, die Änderungen der Parameter über synchron laufende Elektromotoren zu bewerkstelligen. Hier gilt es abzuwägen, wie viel technischer Aufwand sinnvoll und möglich ist.

Weiterhin sollte man sich mit dem Problem der großen Stereobasis beschäftigen. Durch die große Stereobasis ist man bei der Aufnahme vieler Einstellungsgrößen beraubt, die für eine Produktion oft sehr wichtig sind. Dies wirkt sich insbesondere auf Detailaufnahmen aus oder Aufnahmen, bei denen Mimik eingefangen werden soll. Eine mögliche Stereobasis von 6,5 cm sollte angestrebt werden. Im besten Fall ist die Stereobasis zusätzlich variabel, so dass je nach Einstellung ein optimaler Wert wählbar ist.

Der Aufnahmeserver arbeitet zuverlässig und ist durch die von Volker Stephan implementierte Aufzeichnungssoftware einfach und komfortabel zu bedienen. Auch die Energieversorgung ist kein Problem, es genügen zwei Steckdosen, um das komplette System zu betreiben (für Computer und Monitor). Die Hardware selbst hingegen ist schwer, sperrig und besitzt eine hohe Betriebslautstärke. Um eine bessere Mobilität zu gewährleisten, sollte ein Gerät angestrebt werden, das kleiner, leichter und kompakter ist.

### 5.2 Nachbearbeitung

Für die Nachbearbeitung des unkomprimierten Videomaterials wird ein System benötigt, das eine große Speicherkapazität und eine hohe Leistungsfähigkeit besitzt. Dies gilt insbesondere für Prozessor, Arbeitsspeicher und Grafikkarte. Steht ein solches System nicht zur Verfügung, führt dies zu langen Wartezeiten bei der Bearbeitung oder zu Abstürzen des entsprechenden Programms.

Bei der Verwendung der Adobe-Programme Premiere und After Effects war neben den standardmäßigen umfangreichen Bearbeitungsmöglichkeiten besonders der Ef-

fekt „3D-Brille“ enorm hilfreich. Zumindest das Schnittprogramm Premiere ist recht schnell zu erlernen und leicht zu bedienen. Es kann daher auch für Personen, die mit anderen Schnittprogrammen arbeiten empfohlen werden, falls diese Anwendungen nicht die Möglichkeit bieten, den 3D-Stereoeffekt während der Bearbeitung zu überprüfen.

### 5.3 Wiedergabe

Für die Wiedergabe im MediaSynthesis-Labor treten einige Aspekte auf, die die Immersionswirkung von Audio und Video beeinträchtigen. Durch die Nutzung der Wellenfeldsynthese-Anlage wird ein Bereich festgelegt, der so genannte *sweet spot*, an dem sich die virtuellen Schallquellen orientieren. Damit die Wiedergabe räumlich wirkt, muss sich der Hörer im Bereich des *sweet spot* befinden. Kombiniert man den WFS-Sound mit stereoskopischem Video, das auf die komplette Breite des Triptychons projiziert wird, so unterscheiden sich die Position des *sweet spot* und die, von der eine optimale visuelle Rezeption erfolgt, um einige Meter. Bei der momentanen Konstellation sitzt der Zuschauer für ein angenehmes Seherlebnis zu nahe an der Leinwand. Lösungsansätze hierfür wären die Nutzung einer kleineren Projektionsfläche oder eine geänderte Anordnung der WFS-Lautsprecherarrays, so dass der *sweet spot* an einer anderen Position festgelegt werden kann.

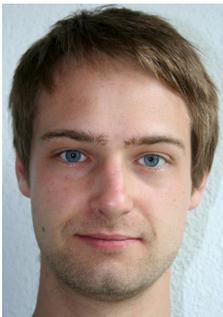
Weiterhin ergibt sich ein Problem aus der Tatsache, dass die Wiedergabe von Audio und Video nicht auf derselben Höhenachse erfolgen. Bedingt durch den Aufbau der Installation befindet sich das Triptychon in einer höheren Position als die Lautsprecherarrays. Eine Lösung hierfür ist schwer zu finden, denn die Lautsprecher können nicht hinter der Leinwand angebracht werden, da dies einerseits die Rückprojektion beeinträchtigt und andererseits die Leinwand einen Teil des Schalls absorbiert. Zudem sind die drei Lautsprecherarrays für die Frontalbeschallung derzeit fest mit dem Triptychon verschraubt. Hier gilt es noch, eine adäquate Lösung zu finden.



ERIC SCHUMACHER

## Autor

Eric Schumacher



Geb. 1983 in Neuenbürg (Enzkreis). 2004 Beginn des Studiums Online Medien an der Hochschule Furtwangen University (HFU), Februar - Juni 2007 Auslandssemester an der Auckland University of Technology (AUT) in Neuseeland, 2008 Abschluss Bachelor of Science.

Seit WS 2008/09 Masterstudium Computer Science in Media an der HFU, zusätzlich seit März 2009 wissenschaftlicher Mitarbeiter des Informations-und Medienzentrums im Bereich Medienproduktion.

ERIC SCHUMACHER

## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 5.1: Mobiler Kameraaufbau  
Illustration: Eric Schumacher
- Abb. 5.2: Technische Skizze des Aufbaus  
Illustration: Eric Schumacher
- Abb. 5.3: Korrektur der horizontalen Disparitäten: vorher – nachher  
Foto: Eric Schumacher

ERIC SCHUMACHER

## Literaturverzeichnis

- Ascher, Steven; Pincus, Edward (2007): The filmmaker's handbook. A comprehensive guide for the digital age. 3. ed. New York: Penguin.
- Böhringer, Joachim (2000): Kompendium der Mediengestaltung für Digital- und Printmedien. Berlin: Springer (X.media.press).
- Dunker, Achim (1993): Licht- und Schattengestaltung im Film. „Die chinesische Sonne scheint immer von unten“. München: TR-Verl.-Union (TR-Praktikum, 9).
- Goldstein, E. Bruce (2002): Wahrnehmungspsychologie. 2. dt. Aufl. / hrsg. von Manfred Ritter. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akad. Verl.
- Grau, Oliver (2003): Virtual Art. From Illusion to Immersion: MIT Press Ltd.
- Katz, Steven D; Utecht, Harald (2004): Die richtige Einstellung. Shot by shot; zur Bildsprache des Films; das Handbuch. Dt. Erstausg., 5. Aufl. Frankfurt am Main: Zweitausendeins.
- Keppler, Erhard (1988): Die Luft, in der wir leben. Physik der Atmosphäre; mit 15 Tab. München [u.a.]: Piper.
- Lipton, Lenny (1982): Foundations of the Stereoscopic Cinema. A Study in Depth: Van Nostrand Reinhold (Sd).
- Lumet, Sidney (2006): Filme machen. Vom Drehbuch zum fertigen Film: Autorenhaus-Verlag.
- Mallot, Hanspeter A. (1998): Sehen und die Verarbeitung visueller Information. Eine Einführung. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg.
- Mayer, Horst O. (2005): Einführung in die Wahrnehmungs-, Lern- und Werbe-Psychologie. 2., überarb. und erw. Aufl. München, Wien: Oldenbourg.
- Monaco, James (2000): Film verstehen. Kunst, Technik, Sprache, Geschichte und Theorie des Films und der Medien; mit einer Einführung in Multimedia. 4. Aufl. d. überarb. u. erw. Neuausg. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt-Taschenbuch-Verl. (Rororo, 61433 : rororo-Sachbuch).
- Poynton, Charles A. (2003): Digital video and HDTV. Algorithms and interfaces. Amsterdam [u.a.]: Morgan Kaufmann.
- Röder, Oliver (2007): Grundlagen der Stereoskopie. Analyse der Aufnahme und Projektion von 3-D Bildern. Saarbrücken: VDM Verl. Müller.
- Tanenbaum, Andrew S. (2003): Computernetzwerke. 4., überarb. Aufl. München [u.a.]: Pearson.
- Zone, Ray (2005): 3-D filmmakers. Conversations with creators of stereoscopic motion pictures. Lanham, Md.: Scarecrow Press (Filmmakers).
- 21st Century 3D: Technology – Zugriffsdatum: 25. 08. 2008 [<http://www.21stcentury3d.com/technology.html#top>]
- All Business: NuVision Technologies launches stereoscopic 3D PC Gaming Product, Artikel vom 3. September 1996 – Zugriffsdatum: 21. 08. 2008 [<http://www.allbusiness.com/technology/software-services-applications/computer/7264812-1.html>]
- Cycling '74: Networking: Max talking to Max, Thread vom 23. 10. 06 – Zugriffsdatum: 20. 08. 2008 [<http://www.cycling74.com/story/2006/10/23/104657/91>]
- The Stewardesses 3-D: Other Views – Zugriffsdatum 25. 08. 2008 [<http://www.thestewardesses.com/?go=reviews>]
- WELT ONLINE: Hollywood setzt jetzt voll auf 3D-Filme, Artikel vom 13.03.08 – Zugriffsdatum: 25. 08. 2008 [[http://www.welt.de/kultur/article1797114/Hollywood\\_setzt\\_jetzt\\_voll\\_auf\\_3-DFilme.html](http://www.welt.de/kultur/article1797114/Hollywood_setzt_jetzt_voll_auf_3-DFilme.html)]
- Wikipedia: Petersplatz – Zugriffsdatum: 24. 08. 2008 [<http://de.wikipedia.org/wiki/Petersplatz>]
- Wikipedia: Raumwahrnehmung – Zugriffsdatum: 24. 08. 2008 [<http://de.wikipedia.org/wiki/Raumwahrnehmung>]
- Wikipedia: Stereoskopisches Sehen – Zugriffsdatum: 24. 08. 2008 [[http://de.wikipedia.org/wiki/Stereoskopisches\\_Sehen](http://de.wikipedia.org/wiki/Stereoskopisches_Sehen)]



VOLKER STEPHAN

# Entwicklung eines stereoskopischen HD-Aufzeichnungssystems

## 1 Konzeption des Aufzeichnungssystems

Grundlegender Ansatz unserer Konzeption war es, verfügbare (monoskopische) Hardware zu einem praktikablen, stereoskopischen HD-Aufzeichnungssystem zu verschmelzen und herauszufinden, welche Features weiterhin sinnvoll sind und welche für stereoskopische HD-Produktionen unbedingt weiterentwickelt werden müssen. Als zentrales, neues Feature sollte das zu entwickelnde System auf jeden Fall die transparente, unkomprimierte HD-Aufzeichnung für linkes und rechtes Auge bieten, um die größtmögliche Aufzeichnungsqualität für die Postproduction zur Verfügung zu stellen.

### 1.1 Verfügbares Equipment zur Umsetzung

Die Fakultät Digitale Medien stellte Hardware zur Verfügung, mit der das Produktionssystem konzipiert und entwickelt werden sollte. Jede einzelne Komponente wurde zunächst überprüft, ob sie die o.g. Voraussetzungen erfüllt. Im Zweifelsfall wurden Komponenten erweitert oder ausgetauscht. Die Nutzung von standardisiertem Equipment mit definierten Schnittstellen wurde gezielt angestrebt. Der modulare Aufbau des Produktionssystems sollte die Austauschbarkeit der Komponenten und eine Erweiterung der Funktionalität in der Zukunft erleichtern.

### *Kameras*

Von der Fakultät Digitale Medien wurden zwei baugleiche professionelle HD-Camcorder vom Typ *JVC GY-HD251* bereitgestellt. Sie ermöglichen die Ausgabe von digitalem, unkomprimierten und hochauflösenden Videosignalen über das High Definition Serial Digital Interface, kurz HD-SDI. Die internen Speichermöglichkeiten von HD-Camcordern können solche Daten grundsätzlich nicht ohne Kompressionsverfahren speichern, was natürlich auch für dieses Modell gilt.

Über die HD-SDI Schnittstelle ist es der Kamera aber möglich, im Format *1080/50i*<sup>1</sup> sowie in der „kleinen“ HD-Auflösungen *720/50p*<sup>2</sup> nativ<sup>3</sup> Bilder zu übertragen. Die Kamera beherrscht intern noch andere Formate mit Frameraten von 24p, 25p, 30p und 60i, diese stehen aber nur datenreduziert<sup>4</sup> (für die HDV-Bandaufzeichnung bzw. für Firewire-Recording) zur Verfügung.

### *Server*

Für die Aufzeichnung des Videomaterials wurde ein Standard-IT 3HE Server mit integriertem RAID vorgesehen. Das RAID ist mit drei schnellen SATA-Platten bestückt. Eine separate, vierte SATA-Festplatte dient als Systempartition für *Windows XP Professional*. Die drei Festplatten bilden mit insgesamt 417 GB Speicher eine RAID0-Konfiguration (stripe set). Im Gehäuse sind noch vier freie Raidslots zum Einbau von weiteren Festplatten zur Verfügung.

Das Motherboard des Servers ist mit einem *Intel XEON Dual Core* Prozessor mit 2.66 GHz, sowie 4 GB Arbeitsspeicher ausgestattet, von denen unter WinXP in der 32bit-Version nur 3GB nutzbar sind. USB-Anschlüsse, PCI(-X) und PCIExpress Steckplätze sind vorhanden, jedoch kein AGP-Steckplatz oder FireWire- Anschluss. Zur grafischen Ausgabe steht eine *XGI Volari Z7* Onboard-Lösung mit 16 MB Speicher zur Verfügung, die über einen analogen VGA-Anschluss die Desktop- Ausgabe mit maximal 1400 x 1050 Pixeln durchführt.

### *Videokarten*

In einem der beiden PCI-Express Steckplätze des Servers war bereits eine *Blackmagic Decklink HD Extreme* Videokarte installiert<sup>5</sup>. Eine zweite, identische Karte soll hinzukommen. Diese Videokarte ermöglicht die Signalaufnahme sowohl von analogen (3xBNC) als auch digitalen HD-Komponentensignalen (1xBNC HD-SDI). Die Ausgabe ist ebenfalls über analoge Komponenten oder SDI-Schnittstelle möglich. Die Aufzeichnungsfunktion unterstützt folgende Inputformate:

- 1 1080/50i wird im Weiteren als Abkürzung für die Auflösung 1920 x 1080 Pixeln mit einer Framerate von 50 fps (Frames per second/Bildern in der Sekunde), interlaced (Halbbildverfahren) verwendet.
- 2 720/25p oder 720/50p ist die Abkürzung für die Auflösung 1280 x 720 Pixeln mit einer Framerate von 25 oder 50 fps progressive (Vollbildverfahren).
- 3 YcbCr, 4:2:2 Chromasubsampling, Datenwortbreite 8bit.
- 4 konkret MPEG2 HP@H14L.
- 5 Im Folgenden nur noch „Decklink-Karte“ genannt.

- 1080i60, 1080i50,
- 1080p60, 1080p50, 1080p30, 1080p25, 1080p24
- 720p60, 720p50, 720p30, 720p25, 720p24
- Sampling: 4:4:4 (RGB), 4:2:2 (YCbCr)
- Quantisierung: 8bit oder 10bit

sofern diese von der Kamera angeboten werden und das RAID die benötigte Datenrate zur Verfügung stellt.

## 1.2 Realisierung eines stereoskopischen side-by-side Kameraaufbaus

Die einfachste Möglichkeit mit Standard-Videokameras ein stereoskopisches Aufzeichnungssystem zu realisieren ist die side-by-side Anordnung. Dabei sind bestimmte Randbedingungen zu erfüllen (s.a. Kapitel III-V dieses Arbeitspapiers):

Die Kameras müssen parallel in Richtung des Sets montierbar sein. Auf horizontaler Ebene bedeutet dies, dass keines der beiden Objektive nach vorn oder hinten versetzt werden darf und die Anordnung auf einer Ebene  $90^\circ$  zur Blickrichtung beider Kameras gewährleistet ist. Auf vertikaler Ebene darf sich die Befestigung in der Höhe nicht unterscheiden.

Dennoch muss zusätzlich die Möglichkeit bestehen, die Stereobasis variabel zu halten, um das Bild in Bezug auf Scheinfenster, Größenverhältnisse und Plastizität flexibel zu beeinflussen. Der Minimalabstand soll dabei lediglich von der Bauweise der Kameras beschränkt werden. Auch bei der Abnahme einer Kamera von der Befestigung, beispielsweise um Menü-Konfigurationen an ihr vorzunehmen, ist es wichtig, dass der Abstand jederzeit wieder reproduzierbar ist.

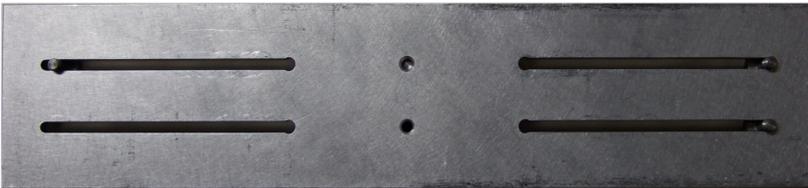


Abb. 6.1: Stereoschiene

Um bei einem Dreh die gleichen Bewegungsfreiheiten - verglichen mit einer Produktion mit nur einer Kamera - zu ermöglichen ist es notwendig, den Kameraaufbau auf ein Kamerastativ zu übertragen. Dadurch werden Kameraschwenks in alle Richtungen durchführbar und auch bei Veränderung des Ausgangspunktes, also beim kurzen Transport des aufgebauten Stativs, kann die Position der Kameras zueinander erhalten bleiben. Dies kann allerdings nur mit einer mechanisch absolut stabilen Befestigung gewährleistet werden.

Für dieses Produktionssystem ist die Verwendung des Kameratyps zwar festgelegt, dennoch ist es für die Weiterentwicklung des Systems von Vorteil, wenn die Befestigung mit allen Kameras und Stativen kompatibel ist.

Für Anja Franks stereoskopische Testaufnahmen wurde eine Stereoschiene<sup>6</sup> von der Hochschulwerkstatt entwickelt, welche es erlaubt, zwei Kameras des Typs *Sony Z1* auf einem Stativ zu befestigen. Dabei ist ein flexibler Kameraabstand zur Veränderung der Stereobasis von 12 bis zu 35 Zentimetern möglich. In der Mitte kann die Schiene am Stativ befestigt werden.

Auch unsere vorgegebenen *JVC*-Kameras lassen sich dort samt Kameraplatte montieren.

## 2 Übertragung und Verarbeitung unkomprimierter HD-Signale

### 2.1 Das unkomprimierte HD-Format

#### *Auflösung*

Im Vergleich zu den normalen Standard Definition-Formaten zeichnet sich High Definition durch höhere räumliche Bildauflösung und der Erweiterung des Verhältnisses der horizontalen zur vertikalen Bildgröße von 4:3 auf 16:9 aus. Das HD-Format mit der kleinsten Bildauflösung besteht aus 1280 x 720 aktiven Bildpunkten. Neben ihm wird vor allem das Format 1920 x 1080 verwendet.<sup>7</sup>

#### *Digitale Komponenten*

Das digitale High Definition leitet sich aus den analogen (HD-) Komponentensignalen ab, ist jedoch mit den Vorteilen der Digitaltechnik ausgestattet: Signale lassen sich auf verschiedene Übertragungskanäle anwenden und filebasiert speichern, so dass das Videomaterial leicht kopiert werden kann und die Bildbearbeitung ist flexibler als in der analogen Technik durchführbar ist.<sup>8</sup>

Es müssen zwei Übertragungsarten unterschieden werden:

Das Farbvideosignal RGB teilt sich - beruhend auf der additiven Farbmischung - in 3 Einzelsignale der Farben rot, grün und blau auf. Bei getrennter Übertragung kann daraus hinterher der Gesamtaufbau des Bildes verlustfrei wiederhergestellt werden. Die RGB-Übertragung bietet maximale Qualität, ist aber sehr datenintensiv und benötigt dementsprechend ein breitbandiges Übertragungsmedium sowie mehr Speicherplatz. Um die Bandbreite zu reduzieren, ist die Übertragung über das digitale Komponenten-

---

6 s. Frank, Anja: Stereoskopische High Definition Produktion, Thesis, 2007, S.46.

7 s. Schmidt, Ulrich: Digitale Film- und Videotechnik, 2002, S. 112.

8 s. Schmidt, Ulrich: Digitale Film- und Videotechnik, 2002, S. 107.

signal Y/Cb/Cr möglich. Diese macht sich die Eigenschaft des menschlichen Auges zu Nutze, Leuchtdichte (Luminanz) räumlich empfindlicher wahrzunehmen als Chromainformationen. Deswegen können die Chromainformationen in ihrer Bandbreite reduziert werden. Die 3 Farbkanäle rot, grün und blau werden dabei so umgerechnet, dass ein breitbandiger Kanal nur die wichtige Luma-Information überträgt, und die beiden anderen Kanäle die beiden Chromainformationen transportieren.<sup>9</sup> Letzteres wird hierbei allerdings nur mit der halben Abtastrate durchgeführt, um den genannten Effekt zu erreichen, die Bandbreite der Chromakanäle zu reduzieren. Bei RGB beträgt die Abtastung 4:4:4. Alle drei Farbwerte haben in der selben Zeit der Übertragung den gleichen Anteil.<sup>10</sup>

### *Quantisierung*

Die lineare Quantisierung von HD-Video beträgt (nach der kamerainternen Gamma-korrektur) entweder 8 oder 10 Bit.<sup>11</sup> Für jede Komponente können also entweder 256 oder 1024 Farb- oder Helligkeitsabstufungen definiert werden.

### *Frameraten*

High Definition ist gemäß *ITU-R BT 709-4* für Frameraten von 24 bis 60 Bildern in der Sekunde spezifiziert.<sup>12</sup>

### *Zeilenaufbau*

Beim Zeilenaufbau der Bilder müssen zwei Arten unterschieden werden: Progressive überträgt gemäß der definierten Bildwiederholrate das gesamte Vollbild, während interlaced ein Vollbild in zwei Halbbilder<sup>13</sup> aufteilt, die sequentiell im Zeilensprungverfahren übertragen werden. Eine dritte Möglichkeit neben progressive und interlaced ist das sogenannte segmented Frame (kurz: sF), in welchem ein Vollbild auch sequentiell in zwei Halbbildern übertragen werden kann, allerdings sind diese nicht zeitlich versetzt aufgenommen<sup>14</sup>.

Mit den beiden *JVC*-Kameras ist eine Übertragung mit der Auflösung von 1920x1080 Pixeln nur im Zeilensprungverfahren möglich. Die Konzeption unseres stereoskopischen Aufzeichnungssystems wird primär auf die Nutzung von progressiven Formaten ausgelegt, um Bewegungsartefakte bei der Darstellung auf progressiv arbeitenden Computermonitoren und Beamern (s. Kapitel VI) von vorneherein auszuschließen. Damit ist für diesen ersten Entwicklungsschritt die unkomprimierte stereoskopische Aufzeichnung auf das Format 720p festgelegt.

---

9 s. Schmidt, Ulrich: Digitale Film- und Videotechnik, 2002, S. 102f.

10 s. Schmidt, Ulrich: Digitale Film- und Videotechnik, 2002, S. 110.

11 s. Schmidt, Ulrich: Digitale Film- und Videotechnik, 2002, S. 114.

12 s. Schmidt, Ulrich: Digitale Film- und Videotechnik, 2002, S. 114.

13 Hier nicht zu verwechseln mit den stereoskopischen Halbbildern Links/Rechts.

14 s. Schmidt, Ulrich: Digitale Film- und Videotechnik, 2002, S. 114.

## 2.2 Signalübertragung über das High Definition Serial Digital Interface

SDI ist ein von *SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers)* festgelegter Standard zur Übertragung von digitalen Signalen. HD-SDI unterstützt Datenraten bis zu 1,5 Gbps (Gigabit pro Sekunde). Hierbei kann für eine High Definition Auflösung aber lediglich der Y/Cb/Cr-Farbraum mit 4:2:2-Abtastung übertragen werden. Will man den vollen RGB-Farbraum nutzen, besteht die Möglichkeit einer Dual-link Verbindung über zwei BNC- (bayonet Neill-Concelman) Kabel. Sowohl bei Single-link als auch bei Dual-link ist darauf zu achten, dass Koaxialkabel mit 75 Ohm Impedanz verwendet werden.<sup>15</sup> HD-Video nativ filebasiert zu speichern ist mit den verwendeten Kameras wie schon erwähnt nur über HD-SDI möglich. Eine Verbindung über Dual-link HD-SDI kann die verwendete Hardware nicht leisten, weil die Kamera nur einen HD-SDI-Ausgang besitzt. Auch die verwendeten Decklink-Karten sind nur für einen Single-link Anschluss ausgelegt. Somit beschränkt sich die Übertragung in dieser Konfiguration auf den Y/Cb/Cr-Farbraum:

SDI bietet noch den weiteren entscheidenden Vorteil, dass im sog. embedded-Mode sowohl 16-kanalige digitale Audiodaten wie auch Non-Video-Daten, z.B. Timecode zusammen mit dem Videosignal übertragen werden können.<sup>16</sup> Es können somit sämtliche Signale, die von der Kamera benötigt werden, über eine ein einziges BNC-Kabel transportiert werden. HD-SDI unterstützt für die Verwendung von BNC-Kabeln maximale Längen von mindestens 100 Metern.<sup>17</sup> Dies kommt dem Aspekt der Mobilität unseres Kameraaufbaus zugute.

## 2.3 Verarbeitung der Datenmengen

Um die großen Datenmengen, die das Aufzeichnungssystem transparent verarbeiten und speichern muss, zu veranschaulichen, möchte ich 720p50 als Beispiel verwenden: Für die Übertragung ohne Metadaten und Audiospuren wird dabei ein Datenstrom von etwa 8 GB in der Minute erzeugt. Für eine stereoskopische Produktion verdoppelt sich die Datenmenge auf 16 GB.

Es muss außerdem bei Videoproduktion damit gerechnet werden, dass oft ein Vielfaches an aktiver Drehzeit benötigt wird, als für die Länge des Endproduktes verwendet werden kann: Vor- und Nachlauf, Wiederholung der Takes, Testszenen sowie gedrehte aber nicht benutzte Szenen spielen dabei eine Rolle.

Dieses Beispiel begründet die Notwendigkeit, nicht nur eine Möglichkeit zu bieten, die

---

<sup>15</sup> Poynton, Charles: *Digital Video and HDTV*, 2003, S. 130.

<sup>16</sup> Schmidt, Ulrich (Hg.): *Datenformate im Medienbereich*, 2003, S. 213-215.

<sup>17</sup> s. Wikipedia: *SMPTE 292M*, 2008.

Daten in der angemessenen Geschwindigkeit über einen längeren Take ohne Fehler zu schreiben, sondern auch, eine ausreichende Speicherkapazität zu bieten. Einen Vorteil bietet die filebasierte Speicherung dennoch: Es ist relativ einfach, unbrauchbares Material unmittelbar zu löschen und dadurch Speicherplatz wieder freizugeben.

## 3 Filebasierte Speicherung stereoskopischer Halbbilder in der Akquise-Phase

### 3.1 Die Verwendung des AVI-Dateiformats

Das verwendete Dateiformat muss die HD-Daten in seiner unkomprimierten Form speichern können und so standardisiert sein, dass möglichst jede postproduktive Anwendung es verarbeiten kann. AVI ist ein solches Standard-Format, welches auch von den *Decklink*-Karten bei der Aufzeichnung verwendet wird<sup>18</sup>. Durch seine einfache Datenstruktur hat es AVI zu weiter Verbreitung gefunden. AVI ist leicht zu adaptieren und es ist relativ unkompliziert, eine Unterstützung in eine Windows-basierte Umgebung zu implementieren.<sup>19</sup> Über die verwendeten *Decklink*-Karten werden beide stereoskopischen Halbbilder in getrennte AVI Dateien gespeichert, um die postproduktiven Arbeitsschritte flexibel zu halten. So können für beide Bilder unabhängig voneinander Korrekturen durchgeführt werden, bevor sie parallel verarbeitet und für die Darstellung aufbereitet werden.

### 3.2 Genlocking

Genlocking wird angewendet, um die Signalverarbeitung mehrerer Hardware-Geräte insbesondere im Livebetrieb zeilengenau miteinander zu synchronisieren. Im Idealfall sind auch für unser Produktionssystem die jeweiligen Frames im Timing zueinander angepasst. Zeichnen die Aufnahmegeräte die stereoskopischen Halbbilder leicht verzögert zueinander auf, kann dies im Nachhinein nicht mehr korrigiert werden und es besteht die Gefahr, dass vor allem bei schnellen Bewegungen im Bild durch zu unterschiedlichen Bildinhalt der stereoskopische Effekt beeinträchtigt wird.

Die verwendeten Kameras und *Decklink*-Karten verfügen über Genlock-Eingänge, über welche sich eine Synchronisation praktikabel realisieren ließe. Für HD Video wird dabei ein Tri-Level-Sync-Signal benötigt, welches an alle angeschlossenen Geräte ausgegeben wird. Dies kann aber nur über einen zentralen Taktgeber erfolgen, was zusätzlichen Hardwareaufwand beim Dreh erfordert. Über mehrere Tests wurde

---

18 Alternativ kann die *Decklink*-Karte auch im Quicktime-Reference Modus aufzeichnen. Da für unser Aufzeichnungssystem aber eine *DirectX*-Anwendung notwendig wird, fiel die Entscheidung in diesem Falle für die *.avi*-Aufzeichnung.

19 Schmidt, Ulrich (Hg.): Datenformate im Medienbereich, 2003, S. 193.

nun herausgefunden, dass für die getrennte, filebasierte Aufzeichnung von linkem und rechtem Stereobild eine zeilengenaue Synchronisation nicht benötigt wird. Eine framegenaue Synchronisation ist vollkommend ausreichend

### 3.3 Framegenaue Referenzen für die zeitliche Synchronisierung der Seitenbilder

Beide *Decklink*-Karten arbeiten prinzipiell unabhängig voneinander und speichern - wie es für die Postproduktion notwendig ist - die aufgenommenen Signale für jedes stereoskopische Seitenbild getrennt in jeweilige AVI-Dateien. Jedoch muss das Produktionssystem gewährleisten, aus postproduktionseller Sicht Referenzen zu bieten, um die zeitliche Synchronität beider Dateien herzustellen.

Optische oder akustische Zeitreferenzen, wie die vorgestellte Regieklappe sind prinzipiell immer möglich. Das Problem dabei ist, dass die beiden Videospuren auf für jeden Take aufs Neue aneinander angeglichen werden müssen. Deshalb sind Referenzen, die es ermöglichen, dass die Zuordnung beider Seitenbilder zueinander mit minimiertem Aufwand automatisch geschieht, eine Notwendigkeit für das Produktionssystem. Dabei sind verschiedene Arten von Referenzen denkbar, die implementiert werden können: Je mehr Referenzen sich den zu speichernden Dateien zuordnen lassen, desto flexibler sind die Verfahren, mit denen man im Nachhinein die synchrone Bearbeitung bewerkstelligen kann.

#### *Referenz anhand des gleichen Start- und Endzeitpunktes der Videosequenzen*

Es wird im Bildinhalt keine optische Referenz mehr benötigt, sondern erreicht beispielsweise über die parallele Anordnung beider Originalspuren in einem Videoschnittprogramm automatisch die Synchronität. Sämtliche Arbeitsschritte können nun einfach für beide Spuren gleichzeitig angewendet werden. Wenn also vom linken Bild zu Beginn 5 Frames gekürzt werden, kann dies für das rechte Bild ohne Einschränkung genauso durchgeführt werden. Diese Methode vereinfacht die Postproduktion jedoch nur, wenn das System bei der Aufzeichnung verlässlich arbeitet. Eine eventuelle Ungenauigkeit von nur einem Frame macht diesen Vorteil wieder zunichte. Es darf also keinesfalls zu Fehlern beim Schreiben von Frames kommen. Verwendbar ist diese Methode auch in einer EDL, die sich auf die Dateinamen der verwendeten Medien bezieht. Wenn also zwei parallele Seitenbilder denselben Dateinamen haben, lassen diese sich mit einer EDL auf gleiche Weise bearbeiten. Die Clips beginnen dabei beide mit dem default Timecode „01:00:00:00“. Somit sind die einander zugehörigen Halbbilder für die gesamte Länge der jeweiligen Videosequenz eindeutig einander zuzuordnen.

#### *Referenz anhand des Timecode*

Der Unterschied zur ersten Methode ist, dass der Timecode hierbei nicht in jeder Datei bei Null beginnt sondern über den gesamten Dreh hinweg Filmmaterial mit durchgängigem Timecode aufgezeichnet werden kann. Auf diese Weise ist eine vollständige Analogie zu einem externen Videoband gegeben, denn auch dort besitzt das gesamte Filmmaterial einen fortlaufenden Timecode, welcher es ermöglicht, auf jeden Zeitpunkt des Drehs eindeutig zuzugreifen. Man müsste Medien nicht mehr anhand der Dateinamen unterscheiden.

Damit beide AVI-Dateien mit demselben Timecode geschrieben werden, besteht die Möglichkeit, den ausgegebenen Timecode beider Kameras zu synchronisieren. Über die HD-SDI Verbindung wird dieser übertragen und beim Schreiben der jeweiligen Videodatei kann der externe Timecode verwendet werden. Die Dateien haben nicht mehr den default Startwert „01:00:00:00“, sondern ihren realen Startzeitpunkt gemäß des fortlaufenden externen Timecodes.

Der gleichzeitige Beginn und die Beendigung der Aufzeichnung muss nicht mehr zwangsläufig stattfinden, denn die zeitliche Referenz ist jederzeit über den Timecode gegeben. Eine EDL kann somit unabhängig von Name und Länge der Dateien arbeiten.

### 3.4 Dateimanagement

Generell besteht die Möglichkeit, jede gespeicherte Datei selbst zu benennen. Hier werden zwei Konzepte entwickelt, wie sinnvoll Dateimanagement betrieben werden kann.

#### *Sortiert nach Take*

Von der Anwendung werden die beiden stereoskopischen Seitenbilder als Dateien „Links.avi“ sowie „Rechts.avi“ erstellt, nachdem der Aufnahme-Vorgang abgeschlossen ist. Nun können diese beiden Dateien gemeinsam in einen Ordner verschoben werden, der nach dem gedrehten Take benannt ist, beispielsweise nummeriert nach Szene, Einstellung und Take. Somit ist gewährleistet, dass die Chronologie des Drehs jederzeit nachvollziehbar ist und die stereoskopischen Seitenbilder einander zugehörig bleiben. Man muss hier dennoch bedenken, dass man in der Postproduktion Takes nicht anhand des Dateinamens unterscheiden kann, sondern nur anhand des Ordners, in welchem sich die Dateien befinden.

#### *Sortiert nach stereoskopischem Halbbild*

Die andere Methode ist, dass beide Dateien identisch nach dem Take benannt werden, also z.B. „1.4.2.avi“ und anschließend in zwei getrennten Ordnern abgelegt werden, die alle zugehörigen Takes für das jeweilige stereoskopische Halbbild enthalten. Aufgrund der identischen Dateinamen in beiden Ordnern ist es theoretisch möglich, eine

EDL für beide Ordner getrennt anzuwenden.

Bei dieser Methode können stereoskopische Seitenbilder nicht anhand des Dateinamens unterschieden werden. Wird Dateimanagement manuell während der Dreharbeiten betrieben, ist die erste Methode schneller und sicherer, da die Ordnung der Takes offensichtlicher ist und die stereoskopischen Seitenbilder nicht durcheinander geraten können.

## 4 Filebasierte Speicherung von Audio

Wenn Ton in der Szene mitgeschnitten werden soll, ist auch für das Audiosignal eine zeitliche Referenz notwendig, um die Synchronisation erstens mit den Audiospuren zueinander, zweitens mit den zugehörigen Videospuren zu gewährleisten.

Über SDI Embedded Audio können Audiosignale zusammen mit Video und Metadaten über ein einziges BNC-Kabel übertragen werden. Damit ist es möglich, die übertragenen Spuren bis zur Verarbeitung im Produktionsserver synchron zu halten. Mit der *Blackmagic Decklink HD Extreme* sind unter Windows pro SDI-Verbindung die Aufnahme von 8 Audiokanälen möglich.

Die Mikrofonierung der Szene kann somit über die Audioeingänge der beiden Kameras erfolgen. Jede der *JVC* Kameras besitzt 2 XLR Mikrofoneingänge mit 48 Volt Phantomspeisung<sup>20</sup>. Durch den side-by-side Kameraaufbau ist jedoch die Nutzung der Mikrofoneingänge der links montierten Kamera nur für den Fall eines größeren Kamerabstands möglich, weil die Eingänge bei einer kleinen Stereobasis verdeckt sind. Im Regelfall sind also nur zwei Anschlüsse an der rechts montierten Kamera benutzbar. Der Audio-Ausgang für das Monitoring befindet sich auf derselben Seite an der sich die Eingänge befinden, insofern kann ein Kopfhörer ebenso an der rechten Kamera angeschlossen werden, um während des Drehs den Ton zu kontrollieren.

Für die Speicherung der Daten auf dem Server ist es denkbar, sowohl die Audiospuren einzeln als Wave-Datei zu schreiben, oder den gesamten mitgeschnittenen Ton in eine Videospur mit zwei Audiokanälen zu speichern. Bei letzterem muss in der Postproduktion keine manuelle Synchronisation stattfinden, weil sie über sämtliche Arbeitsschritte an das Videomaterial gebunden ist. Jedoch muss man für eine externe Audiotbearbeitung in einem anderen Programm die Spuren heraustrennen. Beide Optionen sollen mit unserem Aufzeichnungssystem prinzipiell ermöglicht werden.

---

<sup>20</sup> Notwendig für z.B. Kondensatormikrofone.

## 5 Software-Monitoring

Die beiden Kameras bieten neben dem Sucher die Möglichkeit, über einen externen Videoausgang Monitoring zu betreiben. Hierfür steht ein downkonvertierter Composite-Ausgang mit FBAS-Signal zur Verfügung. Er hat sich für die schnelle Regiekontrolle am Set in vielen Fällen als ausreichend herausgestellt.

Die andere Möglichkeit, die explizit weniger zur dramaturgischen Bildkontrolle selbst dient, sondern eher zum Vergleich der beiden Halbbilder auf ein und demselben Display, wird im Folgenden als Software-Monitoring bezeichnet. Hierbei werden beide Bilder einzeln auf einem PC-Monitor gerendert und lassen sich dort idealerweise beliebig skalieren und anordnen.

Natürlich ist dabei die Darstellung von der PC-Bildschirmauflösung begrenzt. Es wird also nicht möglich sein, beide stereoskopischen Halbbilder nebeneinander in voller Auflösung zu betrachten. Dennoch ist es auch bei Darstellung eines Ausschnitts oder in verkleinertem Format möglich, beispielsweise die Farbgebung und die Tiefenschärfe beider Halbbilder zu vergleichen und anzupassen.

## 6 Stereoskopisches Monitoring im EE-Betrieb

### 6.1 Funktionsprinzip

Es wurde bereits beschrieben, warum in der stereoskopischen Produktion während des Drehs eine Vorschau benötigt wird, anhand derer sich der Raumeindruck, sowie die Auswirkung bestimmter Gestaltungsmittel ausdrückt.

Es ist zwar möglich, dies während des Drehs - also bei der Aufzeichnung von Material - als Kontrollfunktion durchzuführen. Im Allgemeinen praktikabler ist es jedoch, vor dem eigentlichen Dreh über diese Methode die Kameraposition auf das Set anzupassen, die Bewegungen grob durchzuspielen und eventuelle Fehler in der stereoskopischen Bildkomposition von vorn herein auszuschließen. Darum ist es auf jeden Fall notwendig, eine direkte stereoskopische Ausgabe zu ermöglichen, ohne dass Material aufgezeichnet wird. Vor allem in Anbetracht, dass kein Speicherplatz unnötig aufgebraucht werden soll, ist eine Aufnahme während der Ausrichtung meist unnötig.

Also müssen die eingehenden Datenströme in Echtzeit synchronisiert, stereoskopisch aufbereitet, und in stereoskopischer Darstellung ausgegeben werden. Welche stereoskopische Darstellungsform am Ausgabemedium verwendet werden kann, ist allein durch die technische Machbarkeit begrenzt.

### 6.2 Analyse potentieller Darstellungsformen

### *Polarisation*

Sämtliche Projektionsverfahren, bei denen die stereoskopischen Halbbilder auf eine Fläche projiziert werden, sind für die Verwendung im Kontext dieses stereoskopischen Produktionssystems auszuschließen. Eine solche Installation ist in einem Filmstudio denkbar, nicht jedoch für einen mobilen Aufbau geeignet. Somit lässt sich die Polarisierungstechnik nicht verwenden, welche aufgrund der technischen Komplexität ohnehin nur in größerem Rahmen eingesetzt Sinn macht.

### *Autostereoskopische Monitore*

Es ist sehr modellabhängig, welche technischen Voraussetzungen der Produktionsserver erfüllen muss, um den Anschluss eines autostereoskopischen Monitors zu ermöglichen. Wenn dieser eine entsprechende Auflösung im aufgezeichneten Format darstellen kann, ist diese Methode prinzipiell gut geeignet. Für diesen Zweck sind hinsichtlich der Farbwiedergabe oder der Einschränkung der auf nur eine Zuschauerposition eventuelle Mängel akzeptabel, solange die Tiefenwirkung gut zu bewerten ist. Soll der Bildschirm auch für Software-Monitoring eingesetzt werden, ist auf ein qualitativ hochwertigeres Modell zurückzugreifen. Es ist hierbei unbekannt, in welchem Format stereoskopisches Material jeweils vorliegen muss um dargestellt zu werden, und ob die Treiber des Modells dies in Echtzeit unterstützen.

### *Shutterbrillen*

Für die Darstellung über Shutterbrillen lässt sich ebenso wenig genau sagen, welche sich hierfür eignen. Oftmals benötigen sie bestimmte Treiber, die an einen bestimmten Grafikkartenhersteller gebunden sind. Am Produktionsserver selbst sind sie allerdings prinzipiell denkbar, wenn Bildschirm und Grafikkarte eine Bildwiederholrate von mindestens 120 Hertz unterstützen.

### *Anaglyphendarstellung*

Die einfachste und möglicherweise praktikabelste Methode ist für diesen Zweck die Anaglyphendarstellung, da sie über jeden Standard-Grafikkartenausgang dargestellt werden kann und somit der einfachste Weg ist, die stereoskopische Wirkung mit Hilfe einer bequemen Anaglyphenbrille zu überprüfen. Die Mängel in der Farbdarstellung sind zu vernachlässigen, denn die Bildkontrolle im Sinne einer Überprüfung der Bildqualität kann auch weiterhin über den Composite Ausgang der Kameras oder über das Software-Monitoring erfolgen und wird idealerweise schon in einem vorherigen Arbeitsprozess durchgeführt.

Aus Gründen der technisch einfachen Umsetzungsmöglichkeiten und der hohen Kompatibilität mit Ausgabegeräten wird für das Produktionssystem Darstellung in Anaglyphen als standardmäßige stereoskopische Darstellung implementiert.

Für die Anaglyphendarstellung gibt es verschiedene Algorithmen: Die einfachste

Möglichkeit ist das monochrome Einfärben der Halbbilder in Komplementärfarben. Für diesen Fall müssen die eingehenden Videodatenströme für jedes Frame getrennt voneinander komplementär über einen Bildbearbeitungsfilter eingefärbt werden. Anschließend werden die jeweiligen stereoskopischen Halbbilder zu einem Bild zusammengefügt. Dieses neu entstandene Bild wird unmittelbar am Bildschirm ausgegeben.

Als erweiterte Funktion ist es erstrebenswert, ein AVI im Anaglyphenformat während des Monitorings mitzuschneiden um es anschließend in einem stereoskopischen Player wiederzugeben.

## 7 Kombinierte Konfigurationen

Für unser Aufzeichnungssystem liegt die Priorität in der fehlerfreien Aufzeichnung der stereoskopischen Seitenbilder. Es sollten somit keine unnötigen Rechenbelastungen entstehen, die den Vorgang beeinflussen. Es kann in Einzelfällen trotzdem sinnvoll sein, die stereoskopischen Seitenbilder als AVIs zu speichern und gleichzeitig stereoskopisches Monitoring oder Bildvergleich zu betreiben, z.B. wenn die Drehbedingungen keine vorherige Anpassung der Konfigurationen zulassen. Um flexibel den Dreh zu beeinflussen möchte man unmittelbar das über Monitoringfunktionen ausgegebene Signal auswerten können.

Dies kann auch ein generelles Vorgehen sein, wenn man den Produktionsprozess nicht durch Tätigkeiten am Produktionsserver unterbrechen will. Nach dem Start der Applikation wird für die gesamte Zeit des Drehs durchgehend aufgezeichnet und gleichzeitig beispielsweise das stereoskopische Monitoring ausgegeben. Will man auf diese Weise vorgehen, muss man Folgendes bedenken:

- Es wird Speicherplatz durch die Entstehung von redundantem Filmmaterial verschwendet.
- Bei eventuellen Schreibfehlern ist unter Umständen die gesamte Datei unbrauchbar.
- Szenen, Einstellungen und Takes sind nicht mehr anhand der Datei zuzuordnen, sondern müssen im Nachhinein unter vielen durchgehend aufgezeichneten Takes herausgesucht werden.

Es muss bei diesem Vorgehen der Kompromiss zwischen einem zeitweiligen Unterbrechen der Anwendung und einem störungsfreien Drehablauf gefunden werden.

## 8 Mobilität

### 8.1 Bedeutung von Mobilität

Mobilität bedeutet Unabhängigkeit an einem Drehort. Um diesen Faktor zu maximieren, sind folgende Eckwerte für unser System definiert worden:

- Der Transport des Gesamtsystems ist einfach zu bewerkstelligen ohne dass bei angemessenem Umgang mit dem Equipment eine Gefahr der Beschädigung besteht.
- Die Transportmenge übersteigt nicht die Kapazität herkömmlicher Transportmittel, weil dies eine Hürde in der praxisorientierten Nutzung darstellt.
- Für die Nutzung ist eine einfache Stromversorgung ausreichend.
- Am Set kann flexibel agiert werden und es herrscht Bewegungsfreiheit.
- Jeder Dreh kann prinzipiell auch außerhalb einer Studioumgebung statt finden.

### 8.2 Lösungsansätze

Für den Transport und die Platzierung im Freien ist es unter Umständen jedoch von Vorteil, befände sich der Server in einem Rack eingebaut, welches in geringer Höhe auch die Platzierung der Steuerelemente Bildschirm, Tastatur und Maus ermöglicht. Hierbei ist zu beachten dass das Rack gut belüftet ist und die Verkabelung nach Außen stattfinden kann. Dies ist ein optionaler Punkt und soll hier zunächst nur theoretisch erörtert werden, da das Produktionssystem vorerst nicht im Freien eingesetzt wird.

Prinzipiell ist es aus Gründen der Bewegungsfreiheit von Vorteil, wenn die Kameras nicht an eine Stromversorgung angebunden werden müssen. Da die Laufzeit der verfügbaren Akkus jedoch nur eine Stunde beträgt, kann dies von der Drehsituation abhängig gemacht werden.

## 9 Minimierung der Geräuschbelastung über die Verwendung von Remote Desktop

Der verwendete Standard-IT Server verursacht einen sehr hohen Lärmpegel, der einen Audiomitschnitt unmöglich machen würde, befände sich das Aufzeichnungssystem direkt am Set. Aufgrund der verfügbaren Maximallänge der SDI-Kabel kann aber allein durch die Distanz vom Set zum Server und der Verwendung von Mikrofonen mit Richtcharakteristik ein großer Teil der Geräuschbelastung verringert werden. Durch die Tatsache, dass während des Drehs nur zwei Kabel die Verbindung zum Produktionsserver darstellen, ist es auch relativ gut möglich, den Produktionsserver außerhalb des Sets zu positionieren, vorausgesetzt die Räumlichkeiten lassen dies zu.

Dem gegenüber steht der Wunsch, die Steuerung von Capturing- und Monitoring-funktionen am Set selbst durchzuführen. Diese Kontroll- und Steuereinheiten müssen also direkt für den Regisseur oder Kameraoperator zugänglich sein. Es ist somit unumgänglich für eine Produktion mit Ton, dass der Server aus der Ferne gesteuert werden kann.

Ideal wäre es, Tastatur, Maus und Bildschirm am Set platzieren zu können. Gerade für die grafische Ausgabe ist dies allerdings nicht einfach zu bewerkstelligen: Die *Decklink* Karten ermöglichen die Ausgabe im Desktop Modus prinzipiell über einen SDI-Ausgang, mit welchem die Übertragung der grafischen Ausgabe über eine große Distanz möglich wäre. Jedoch beschränkt sich die Auflösung dabei auf 720x486 bzw. 720x576 Bildpunkte und ist somit für das Monitoring nicht ausreichend. Die Nutzung einer herkömmlichen Grafikkarte, wie der bereits integrierten *XGI Volari Z7* ist dabei nur in Ausnahmefällen möglich: Die maximal mögliche Länge von DVI-Verbindungen beträgt in etwa 15 Meter, bei Verkabelung über den analogen VGA-Ausgang sogar noch weniger.

Des Weiteren ist unabhängig davon auch nicht gelöst, wie der Produktionsserver über Tastatur und Maus über eine solche Entfernung bedient wird.

Die attraktivste Lösung für alle diese Probleme stellt hier die Steuerung über einen Remote Desktop Client dar, der über eine LAN-Verbindung oder drahtlos mit dem Produktionsserver verbunden werden kann. Hierbei kann beispielsweise der Server über ein Notebook mit entsprechend hoher Auflösung am Set gesteuert werden, sowie im Desktop Modus die grafische Ausgabe für das Software- und stereoskopische Monitoring stattfinden.

Es muss aber bedacht werden, dass ein Remote-Desktop-Monitoring unter Verwendung von Shuttern und autostereoskopischen Displays nicht durchführbar ist, weil davon ausgegangen werden muss, dass die stereoskopische Darstellung bestimmte Treiber für die Grafikkarte für diese Ausgabe nutzt. Wenn das Gerät nicht direkt an den Produktionsserver angeschlossen ist, ist dies problematisch.

Ist es nicht möglich den Server über Remote Desktop anzusteuern, besteht noch die Möglichkeit den Produktionsserver in ein schallisolierendes Rack zu bauen, sowie der Austausch der im Server vorhandenen Lüfter durch weniger geräuschbelastende, wasserkühlende Modelle.

## 10 Implementierung der Kamera

### 10.1 Implementierung des stereoskopischen Kameraaufbaus

#### *Minimierung des Abstandes der Kameras*

Für ein real wirkendes Raumbild ist ein „Augenabstand“ von sechs bis sieben Zentimetern zwar prinzipiell erstrebenswert, allerdings ist schon allein aufgrund der Bauweise der vorgegebenen Kameras ein erhöhter Minimalabstand von vorn herein gegeben. Man kann diesen etwas verkleinern, indem man einige Komponenten der Kameras abmontiert.

Soll der Ton z.B. aus der Position der Kamera mitgeschnitten werden, kann das jeweilige Zubehörmikrofon verwendet werden. Es wird in unserer Konstellation an der rechten Kamera befestigt, während an der linken Kamera die Mikrofonvorrichtung abmontiert wird und die Kameras etwas näher zusammen geschoben werden können. Falls des Weiteren ein externer Monitor über Composite oder das Software-Monitoring zur Bildkontrolle verwendet wird, ist auch der Sucher der rechten Kamera verzichtbar. Insgesamt werden damit - ohne Verkabelung - 13,5 cm Stereobasis erreicht.



Abb. 6.2: Vorderansicht der zwei montierten JVC-6Y251 Kameras

Für eine weitere Minimierung müsste der Motor der Optik, der Vorsprung für die Mikrofonbefestigung sowie die Streulichtblenden abmontiert werden. Außerdem müsste es über die Schiene ermöglicht werden, die Schrauben noch weiter innen anzubringen. Dies wird - wie in der obigen Abbildung sichtbar - von der Breite des Stativs verhindert.

Um die Schiene zur Mitte hin erweitern zu können, müsste man also die Befestigung am Stativ, bzw. an der Stativplatte etwas erhöhen. Mit dieser Maßnahme wären minimal 10 cm Stereobasis erreichbar. Ein neuer Entwurf kann folgendermaßen durchgeführt werden: Hierbei wird die Stativplatte nicht direkt an die Schiene geschraubt sondern dazwischen eine Erhöhung von etwa zwei Zentimetern angebracht. Die Er-

höhung muss Einbohrungen für die Schrauben besitzen, mit denen die stabile Befestigung der Schiene mit der Stativplatte über längere Schrauben realisierbar ist. Unter Verwendung von BNC-Kabeln mit Winkelsteckern ist dann der vorab angesprochene, minimale Abstand von 13,5 cm möglich.



Abb. 6.3: Montage der Stereoschiene auf dem Stativ

## 10.2 Parallele Steuerung beider Kameras

Eine Anpassung der Menüeinstellung beider Kameras ist im Allgemeinen während des Drehs nicht notwendig. Dies kann bereits im Vorfeld erledigt werden, bevor die Kameras auf ein Stativ montiert werden. Sollten zwischen verschiedenen Takes Änderungen notwendig sein, können die Kameras abmontiert werden, wenn die beiden Kameraplatten dabei so befestigt bleiben, dass sie nicht verrutschen. Eine Fernsteuerung, die auf die Einstellungsoptionen beider Kameras zugreifen kann, wird also zunächst nicht benötigt.

Anders ist dies bei der Veränderung von Brennweite, Fokus und der Blende, die prinzipiell auch bei der Stereoskopie als filmisches Mittel eingesetzt werden können. Hierbei ist eine externe Steuerungsmöglichkeit für beide Kameras während des Drehs wünschenswert, denn ein synchrones manuelles Einstellen kann hier ausgeschlossen werden: Ein gleichzeitiges Betätigen von Zoom oder Fokus beider Kameras von Hand ist selbst mit viel Geschick keine ausreichend praktikable Lösung, so dass zunächst während einer Einstellung<sup>21</sup> keine Veränderung an der Konfiguration des Linsensystems möglich ist, ohne die stereoskopische Wirkung zu beeinträchtigen.

Laut eines Mitarbeiters von *JVC Professional* ist für eine externe Steuerung eine spezielle, fernsteuerbare Optik nötig, welche eine Fernbedienmöglichkeit besitzt und mit entsprechenden Motoren ausgestattet ist. Dies sei jedoch in der standardmäßig aus-

<sup>21</sup> kontinuierlicher filmischer Aufnahmeprozess.

gelieferten Optik<sup>22</sup> nicht gegeben. Somit ist es in diesem Produktionssystem in dieser Hinsicht zunächst nur möglich, mit festen Einstellungsgrößen zu arbeiten.

## 11 Implementierung eines stereoskopischen Aufzeichnungsservers

Im Folgenden sei die Hardwareinstallation beschrieben, welche für die Umsetzung unseres nativen, stereoskopischen HD-Aufzeichnungssystems benötigt wird.

### 11.1 Der parallele Betrieb zweier Decklink-Karten

Bei der Implementierung des Servers musste zunächst das Problem gelöst werden, dass *zwei Blackmagic Decklink* Karten nicht parallel in einem System in Betrieb genommen werden konnten. Erst ein aktueller Treiber ermöglichte schließlich die Installation beider Karten und eine eindeutige Identifizierung der Geräte unter Windows. Es gelang dann über eine Capturing-Anwendung, wie z.B. VirtualDub, gezielt Karten anzusprechen.

### 11.2 Verbesserung der grafischen Ausgabe

Für die grafische Ausgabe des Desktop wurde eine *GeForce FX 5200* PCI-Grafikkarte im Server installiert, mit welcher das Potential der grafischen Ausgabe hinsichtlich folgender Faktoren erhöht werden sollte:

- Flüssige Wiedergabe von hochauflösendem Videomaterial
- Höhere Auflösung für die unskalierte Darstellung von beiden stereoskopischen Halbbildern auf einem Monitor
- Hohe Bildwiederholrate von 120 Hz für die Ausgabe über Shutter

Sie ersetzt damit die interne 16MB Onboard-Grafikkarte. Wegen dem fehlenden AGP-Slot und den beiden bereits durch die *Decklink*-Karten belegten PCI-Express-Slots musste hier auf eine PCI-Lösung ausgewichen werden. Eine Darstellung in der Auflösung von 1600x1024 Pixeln ermöglicht eine Bildwiederholrate von 120 Hertz, und ist somit für die Verwendung von Shutterbrillen geeignet. Die maximale Auflösung liegt bei 2048x1536 Pixeln, allerdings nur mit 75 Hertz Bildwiederholrate.

### 11.3 Implementierung der Remote Desktop Steuerung

---

<sup>22</sup> Typbezeichnung des Objektivs: Th16 - 5.5BRMU.

Für die Implementierung wird das vorhandene Remote Desktop Protocol (RDP) verwendet. Seine Funktion ist in *Windows XP Professional* implementiert. Als Client kann ein beliebiger Windows Rechner dienen.

Der Server benutzt dabei einen speziellen, datenreduzierenden Videotreiber zur Ausgabe der Bildschirminformationen über ein Netzwerk. Der Client liest die Bildschirmdaten aus und stellt sie dementsprechend dar. Er ist gleichzeitig in der Lage die Ausgabedaten von Tastatur und Maus an den Server zu übertragen und ihn damit zu steuern. Eine RDP-Verbindung kann einer bestimmten Bandbreite angepasst werden, indem optional beispielsweise die Farbtiefe für die Übertragung reduziert oder bestimmte Fensterinhalte nicht übertragen werden.<sup>23</sup> Verbunden werden die beiden Rechner dabei über eine Ethernet-Verbindung, welche aufgrund maximaler Verbindungslänge von etwa 100 m ähnlich der Maximallänge von HD-SDI Verbindungen für die Steuerung des Servers am geeignet sind. Alternativ kann auch WLAN eingesetzt werden, welches allerdings prinzipbedingt etwas störungsanfälliger, bandbreitensensitiver und latenzkritischer ist.

Zu Testzwecken stand ein Notebook mit Windows XP Home zur Verfügung, welcher zwar nicht die Grundvoraussetzungen in der Bildschirmauflösung erfüllte, aber schon gewährleisten konnte, dass alle grafischen Anwendungen zuverlässig und flüssig übertragen werden. Als Client stellt Microsoft eine Remote Desktop Connection Software zur Verfügung, die für Windows XP Service Pack 1 installiert ist, und für alte Windows Versionen heruntergeladen werden kann.<sup>24</sup>

## 12 Implementierung der Aufzeichnungssoftware mittels DirectShow

### 12.1 DirectShow

#### *Die Potentiale von DirectShow im Kontext der Anforderungen*

Um die filebasierte Speicherung, das Software-Monitoring und das stereoskopische Monitoring gemäß der Anforderungen auszuführen, muss die digitale Signalverarbeitung fehlerfrei und zuverlässig, sowie außerdem mit hoher Geschwindigkeit durchgeführt werden. *DirectShow* ist dafür ausgelegt, besondere Anforderungen zu bewältigen, die mit der Nutzung von digitalen Multimedia-Datenströmen einhergehen: Beispielsweise wird das Handling von großen Datenmengen, die Synchronisation mehrerer Signalströme, sowie der Ermöglichung der Nutzung vielfältiger Formate und Geräte ermöglicht. *DirectShow* isoliert die Komplexität von medialen Operationen und bietet

---

<sup>23</sup> MSDN Library: Remote Desktop Protocol (Windows), 2008.

<sup>24</sup> Microsoft: Remote Desktop Connection Software Download, 2001.

flexible, standardisierte Schnittstellen für den Aufbau eigener Anwendungen.<sup>25</sup>

Microsoft bietet mit *Media Foundation*, welches erstmals mit Windows Vista implementiert wurde, eine ähnliche Funktionalität an. Microsoft empfiehlt jedoch zum Zeitpunkt unserer Realisierung explizit, für Capturing Anwendungen weiterhin *DirectShow* zu nutzen.<sup>26</sup> Aufgrund der elementaren Wichtigkeit von Capturingfunktionen für das Produktionssystem, stand somit die Verwendung von *DirectShow* außer Frage.

#### *Die Funktionsweise von DirectShow*

Microsoft *DirectShow* ist ein API (application programming interface) für Windows Betriebssysteme, welches es ermöglicht, Audio- und Videodaten auszulesen und zu schreiben.<sup>27</sup> Die Entwicklungsplattform für *DirectShow* ist mittlerweile als Version 9.0 Teil des *Microsoft Platform SDK*. *DirectShow* basiert auf der Nutzung von COM (Component Object Model)-Objekten. Das COM-Konzept von Microsoft ermöglicht Softwarekomponenten, sich miteinander zu verbinden und zu kommunizieren. Verschiedene solcher Objekte sind in *DirectShow* zur Nutzung integriert und können für eigene *DirectShow*-Anwendungen genutzt werden. Es ist aber auch möglich, selbst eigene COM-Objekte zu implementieren.

## 12.2 DirectShow Anwendungen

Eine *DirectShow* Anwendung ist modular aus Filtern aufgebaut, welche aus COM-Objekten bestehen und über sogenannte Ein- und Ausgangspins verbunden werden können.<sup>28</sup> Sie können einen Multimedia-Datenstrom aufnehmen, bearbeiten und wieder ausgeben. Ein solches modulares Filter-Konstrukt wird Filter Graph genannt. Dabei müssen verschiedene Arten von Filtern unterschieden werden:<sup>29</sup>

#### *Source Filter*

Diese Arten von Filtern haben keinen Eingangspin<sup>30</sup> und liegen somit am Anfang der Signalverarbeitungskette in *DirectShow*. Sie müssen in zwei Aufgabenbereiche eingeteilt werden:

Der erste Aufgabenbereich liegt im Auslesen von Dateiformaten, die sich entweder auf einem Speichermedium befinden, oder über ein Netzwerk übertragen werden. Es wird ein Datenstrom von diesem Filter ausgegeben, der innerhalb der *DirectShow* Anwendung weiterverarbeitet werden kann. Der zweite Aufgabenbereich liegt im Auslesen von Datenströmen über WDM- (Windows Driver Model) fähige Geräte<sup>31</sup>,

25 MSDN Library: DirectShow System Overview, 2008.

26 MSDN Library: Migrating from DirectShow to Media Foundation, 2008.

27 MSDN Library: DirectShow, 2008.

28 Es können nur Pins des miteinander verbunden werden, die den selben Datentyp übertragen.

29 MSDN Library: About DirectShow Filters, 2008.

30 Pin: COM-Objekte, die es einem Filter ermöglichen Datenströme einzulesen und auszugeben.

31 DirectShow unterstützt Geräte, welche über WDM (Windows Driver Model) für Video für Windows in Betrieb genommen werden.

wie z.B. Videokarten, Webcams oder Soundkarten. Es ist somit möglich Datenströme eines externen Gerätes für die Weiterverarbeitung in *DirectShow* aufzunehmen.

#### *Transform Filter*

Diese Filter führen Operationen am eingehenden Signal durch und geben es transformiert wieder aus. Typischerweise kommen hier vor allem Encodier- und Decodierverfahren für Audio und Video zum Einsatz, wie z.B. MPEG1, MPEG2 oder MPEG4.

#### *Splitter / Muxer*

Ein Splitter trennt beispielsweise den Video- und Audiostrom eines AVIs und gibt diese separat an einem jeweiligen Pin zur Weiterverarbeitung in *DirectShow* aus. Ein Muxer funktioniert nach dem umgekehrten Prinzip: Damit könnte Video- und Audioodaten, welche aus verschiedenen Quellen aufgenommen werden, in eine AVI-Datei geschrieben werden.

#### *Renderer Filter*

Über diese Filter verlassen die Datenströme die *DirectShow* Anwendung. Hauptaufgabenbereiche sind das Schreiben der Daten in eine Datei oder die Live-Ausgabe des Stroms an Geräte. Ein Render Filter stellt beispielsweise Videodaten auf dem Bildschirm dar oder gibt Audiodaten über die Soundkarte aus.

#### *Filter Graph Manager*

Grundlage einer jeden Anwendung in *DirectShow* ist der Filter Graph Manager, welcher die die Verbindung zwischen der Applikation und dem Filter Graphen darstellt. Er hat die Aufgabe, die verwendeten Filter über ihre Pins miteinander zu verbinden und zu trennen. Jeder Filter stellt neben den Pins noch weitere Interfaces, also Schnittstellen, zur Verfügung, mit denen Operationen am Filter durchgeführt werden können. Auf diese Schnittstellen greift der Filter Graph Manager zu. Um zu gewährleisten dass die Datenströme und Filteroperationen innerhalb der Anwendung synchronisiert sind, stellt der Filter Graph Manger außerdem eine Reference Clock zur Verfügung, die die Geschwindigkeit und den Zeitpunkt aller digitalen Signalverarbeitungsprozesse steuert<sup>32</sup>.

Heute ist *DirectShow* ein weit verbreiteter Standard für die Verarbeitung von medialen Datenströmen auf Windows Rechnern. So nutzen die weit verbreiteten Anwendungen *Microsoft Media Player* und auch der *Microsoft Movie Maker* *DirectShow*-Filtergraphen, um Daten auszulesen, zu verarbeiten, zu schreiben oder auf dem Bildschirm auszugeben. Desweiteren ist es möglich, in der Programmiersprache C++ direkt eigene Filter zu schreiben.<sup>33</sup>

---

32 MSDN Library: About the Filter Graph Manager.

33 MSDN Library: Introduction to DirectShow.

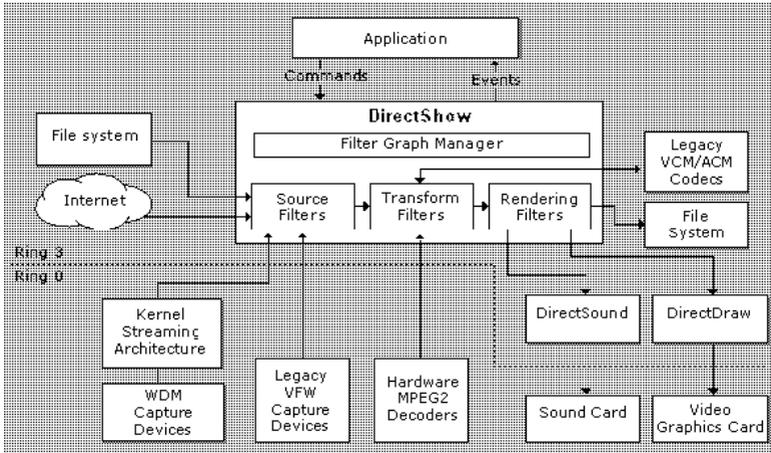


Abb. 6.4: Aufbau einer DirectShow-Anwendung

### 12.3 DirectShow Filter der Blackmagic Decklink Videokarten

Die in diesem Produktionssystem verwendeten *Blackmagic Decklink* Capture-Karten stellen *DirectShow*-Objekte zur Verfügung, die es ermöglichen, verschiedene Operationen an den Capturekarten auszuführen. Sie werden mit den Treibern sofort mit installiert.

Der *Decklink Video Capture* Filter erlaubt es, in *DirectShow* das eingehende Videosignal abzugreifen. Dabei kann es in 3 Teile geteilt werden:

Zum einen erlaubt es, über einen „Capture“-Pin die aktiven Bildinformationen zu übertragen, die letztendlich beim Rendering dargestellt werden können. Metadaten, die über VANC (Vertical Ancillary Data), also über die vertikale Austastlücke übertragen werden, können an einem eigenen Pin „~VANC“ abgegriffen werden. Zu diesen Metadaten zählen üblicherweise Timecode oder Steuerdaten.<sup>34</sup> Über einen dritten Pin „~Timecode“ kann der Timecode, entweder als VITC (Vertical interval time code) oder aus der horizontalen Austastlücke (HANC, Horizontal Ancillary Data) ausgelesen werden. Die Ausgabe am Pin kann auch im Textformat erfolgen.

Der *Decklink Audio Capture* Filter kann 1 bis 12 Audiospuren von den Eingängen der Decklink Karten abgreifen und zur Weiterverarbeitung in *DirectShow* zur Verfügung stellen, was allerdings von Windows auf die Anzahl von 8 Kanälen beschränkt wird.

<sup>34</sup> s. MI Wiki (HdM Stuttgart): Digitalbildsignale, 2007.

## 12.4 Graphedit als Entwicklungstool für DirectShow Filter Graphen

*Graphedit* ist ein Tool, welches eine grafische Oberfläche zur Entwicklung von DirectShow Graphen anbietet. Nach dem Drag&Drop<sup>35</sup> Prinzip können alle auf dem System installierten DirectShow-Filter sowie kompatible WDM- und DMO- (DirectX Media Object) Objekte hier importiert werden.

In- und Out-Pins der Filter werden hier grafisch angezeigt und können manuell zwischen den Filtern verbunden werden. Ein Rechtsklick auf die Filtermodule öffnet die Konfigurationseinstellungen des Filters, falls dieser eine solche Funktionalität zur Verfügung stellt. Als Steuerelemente für den gesamten Filtergraphen stehen hier Start, Stop und Pause zur Verfügung, welche ihn ausführen und beenden, sowie die Verarbeitung des Datenstroms unterbrechen können. In der folgenden Abbildung sind die Filtermodule grau dargestellt und ihre Pins über schwarze Pfeile verbunden. Sie repräsentieren den Datenstrom. Zur Veranschaulichung sind die nachfolgenden Beispiele an die Darstellung in GraphEdit angelehnt.

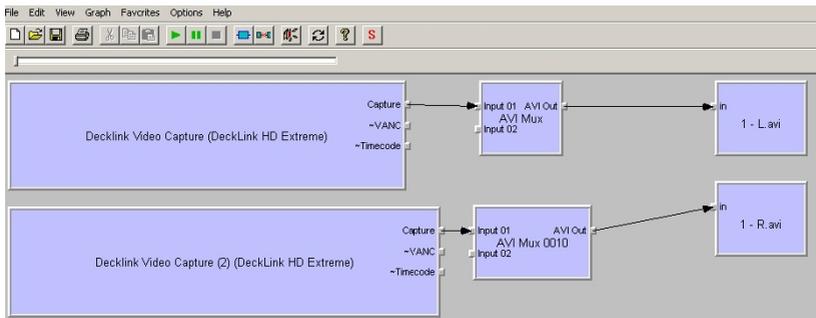


Abb. 6.5: Screenshot der GraphEdit-Oberfläche

## 13 DirectShow Anwendungen des Produktionssystems

### 13.1 Filebasierte Speicherung der stereoskopischen Seitenbilder

#### *Aufnehmen eines Videosignals*

Der unkomprimierte HD-Videodatenstrom, der von unseren *Decklink*-Karten aufgenommen wird, kann im entsprechenden *DirectShow* Filter unmittelbar über den „Capture“-Pin ausgegeben werden. Dieser Stream kann auch ohne weitere Trans-

<sup>35</sup> Das Bewegen grafischer Elemente mittels eines Zeigergerätes.

formation von einem AVI-Muxer verarbeitet werden, welcher den Videodatenstrom in eine AVI-Struktur umwandelt. Ein File Writer schreibt die umgewandelten Daten schließlich als Datei in Echtzeit auf das Speichermedium. Da der File Writer unabhängig vom Video- und Audioformat arbeitet, muss man bei der Benennung der Datei die Dateierendung mit .AVI versehen. Ansonsten verwendet der Filter standardmäßig die Microsoft-Dateierendung ASF (Advanced Systems Format).

Beim Aktivieren dieser Filterkonstellation wird das unkomprimierte HD-Komponentensignal in eine Datei geschrieben und nach dem Beenden liegt eine gerenderte Datei im AVI-Format vor.<sup>36</sup>

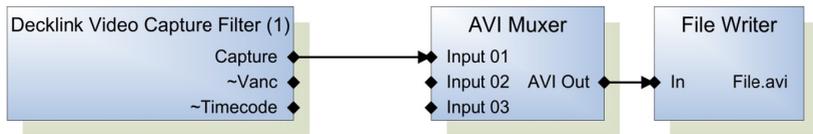


Abb. 6.6: Aufzeichnung einer AVI-Datei

#### *Synchrones Capturing von zwei Videosignalen*

Dieser Filteraufbau wird nun für die Aufzeichnung des anderen stereoskopischen Seitenbildes erweitert, indem derselbe Aufbau parallel mit dem Capture Filter der zweiten Videokarte durchgeführt wird. Startet man diesen neuen Graphen, werden die eingehenden Kamerasignale beider *Decklink* Karten in jeweils zwei AVI-Dateien geschrieben. Über diese Konstellation ist jedoch die Synchronität beider Seitenbilder noch nicht erfüllt.<sup>37</sup> Beide Capturing Vorgänge starten und enden zu unterschiedlichen Zeitpunkten. In *DirectShow* wird die Reference Clock von bestimmten Filtern zur Verfügung gestellt, die an einen Hardwaretimer gebunden sind. Üblicherweise handelt es sich dabei um stumme Audio Renderfilter. Diese helfen auch in unserem Fall:

Die Audiosignale der links montierten Kamera können nicht benutzt werden, da ihre Eingänge verdeckt sind. Es besteht also die Möglichkeit, das „stille“ Signal im Filtergraphen der Decklink-Karte abzugreifen und zu rendern. Der hierfür verwendete Audio Renderer liefert automatisch die gewünschte Reference Clock. Diese erfüllt den Zweck der Synchronisation sehr zuverlässig. Alternativ kann der Filter Graph Manager als letzte Möglichkeit die Systemzeit als Referenz verwenden.

In der folgenden Abbildung stellen die Filter an dritter Position die redundante Audio-Signalbearbeitung dar. *Decklink Audio Device*, der Audio Renderer der *Decklink*-Karte wird mit einer *Reference Clock* dargestellt. Die Attribute (1) und (2) stehen für die Bezeichnung beider *Decklink*-Karten unter Windows. An (1) ist die linke Kamera

<sup>36</sup> Über diese Methode war in der Testphase jederzeit ein fehlerfreies Capturing eines Signals möglich, während das Capture Programm „Virtual Dub“ aus nicht nachvollziehbaren Gründen weniger zuverlässig arbeitete.

<sup>37</sup> MSDN Library: Reference Clocks, 2008.

angeschlossen, an (2) die rechte Kamera. Durch die Synchronisation aller Filter der Anwendung an ein internes Hardware-Gerät ist ein Genlocking der Karten über externe Hardware nicht mehr notwendig.

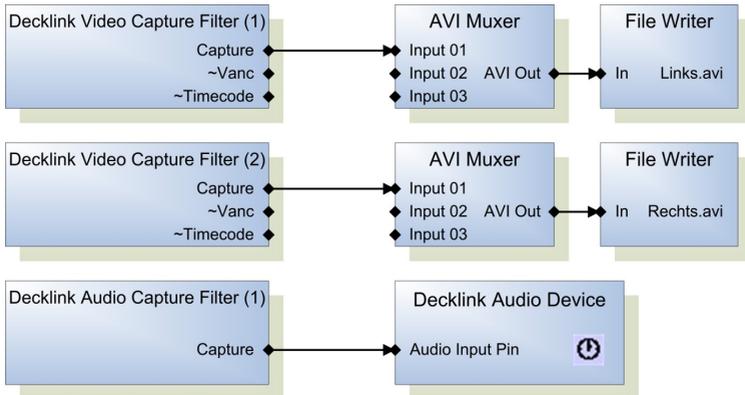


Abb. 6.7: Aufzeichnung beider Seitenbilder mit Reference Clock

### *Capturing beider Videosignale mit Timecode*

Es ist möglich, die „~VANC“-Pins mit dem Avi Muxer zu verbinden, was es ermöglicht, eine weitere Videospur in die Avi-Datei zu schreiben. Diese wird bei der Darstellung nicht gerendert, d.h. vom Bildschirm ausgegeben. Befinden sich Timecode-Informationen in der vertikalen Austastlücke des Signals, können diese somit auf die AVI-Datei übertragen werden.

Spezifischer ausgelesen werden kann der Timecode über den „~Timecode“-Pin sowohl aus der horizontalen wie auch aus der vertikalen Austastlücke. Eine Verbindung des Pins mit dem Avi Muxer ist allerdings nur möglich, wenn der Timecode als Text ausgegeben wird. Dann kann der Timecode als Textelement in die Avi-Datei gespeichert werden.

Der folgende Filter Graph realisiert beide Lösungen kombiniert durch die angesprochenen Verbindungen der Pins mit dem Avi Muxer:

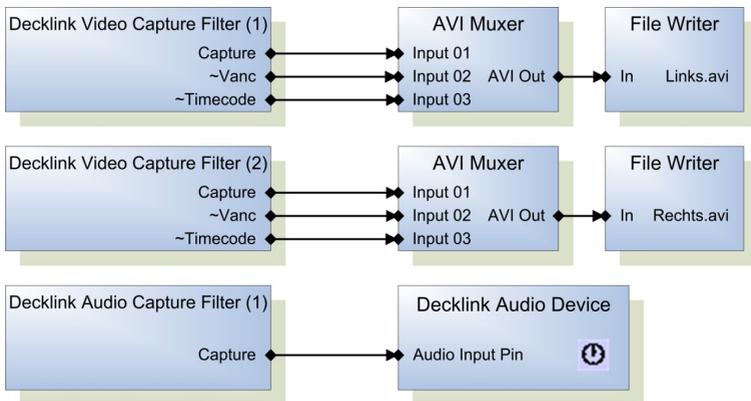


Abb. 6.8: Beide Lösungen kombiniert durch die Verbindungen der Pins mit dem Avi Muxer

### 13.2 Filebasierte Speicherung von Audio

Über den Audio Capture Filter der Decklink-Karte, welche das Audiosignal der rechten Kamera empfängt, ist es möglich die beiden übertragenen Audiospuren als Stereospur in eines der beiden AVIs zu speichern. Dazu wird das Audiosignal mit dem Avi Muxer verbunden.

In der Grafik wird das Audiosignal über den Decklink Audio Capture Filter abgegriffen und ein die AVI „rechts.avi“ geschrieben.

Die getrennte Ausgabe als einzelne Wave-Dateien ist mit den implementierten Filtern nicht möglich.

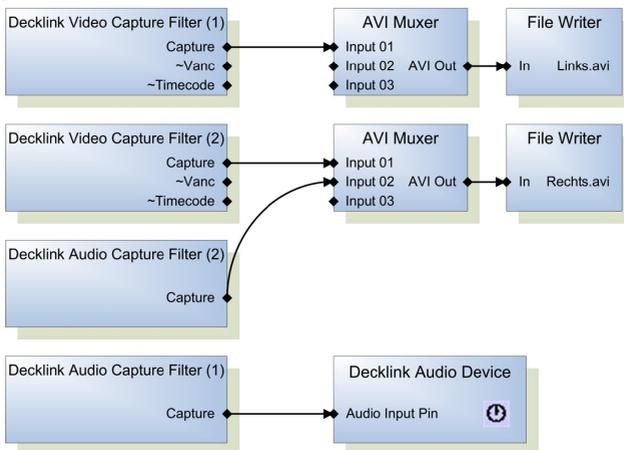


Abb. 6.9: Aufzeichnung beider Seitenbilder mit Audio

### 13.3 Software-Monitoring

Die Darstellung beider stereoskopischer Seitenbilder in Originalgröße als unabhängige Fenster ist über zwei Render Filter realisierbar. Beim Start der Anwendung werden zwei ActiveMovie-Fenster geöffnet, welche sich frei bewegen und skalieren lassen

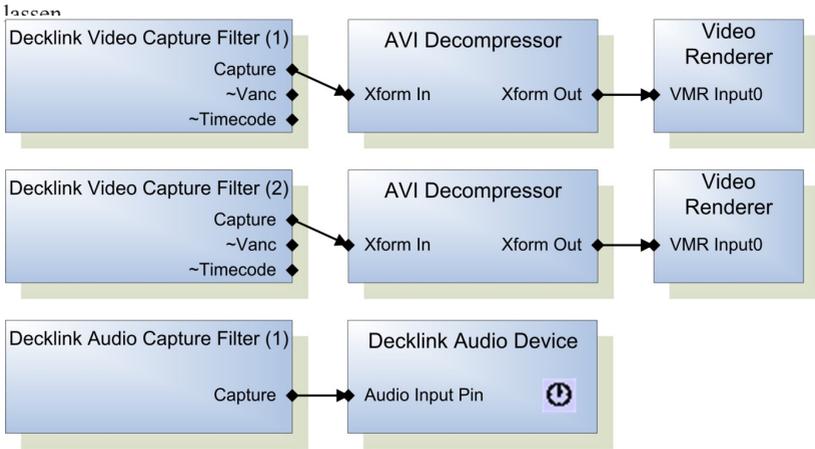


Abb. 6.10: Software-Monitoring

Alternativ lässt sich mit dem Stereoscopic Multiplexer noch eine skalierte Nebeneinander-Darstellung realisieren. Der Stereoscopic Multiplexer ist ein von Peter Wimmer entwickelter Windows-Treiber zur Erstellung von stereoskopischem Video, der auch mit einer GUI (Graphical User Interface)<sup>38</sup> ausgestattet ist. Er ist in der Lage zwei eingehende Videoströme von unterschiedlichen Quellen zu einem Datenstrom zusammenzufassen. Hierbei werden die beiden Videos horizontal nebeneinander angeordnet. Er unterstützt dabei jedes Paar von Aufnahmegeräten, die mit WDM-Treibern ausgestattet sind, also beispielsweise, USB- oder DV-Kameras über *FireWire*, sowie DV-Bandgeräte. Letztere können vom *Stereoscopic Multiplexer* synchronisiert werden.<sup>39</sup>

Der *Stereoscopic Multiplexer* fasst somit in einer *DirectShow* Anwendung beide Datenströme zusammen und gibt sie in der Nebeneinander-Darstellung als ein Datenstrom am Ausgangs-Pin aus. Es kann in verkleinerter Darstellung am Bildschirm ausgegeben werden.

38 GUI: Grafische Benutzeroberfläche.

39 3dvt: Stereoscopic Multiplexer Funktionsumfang.

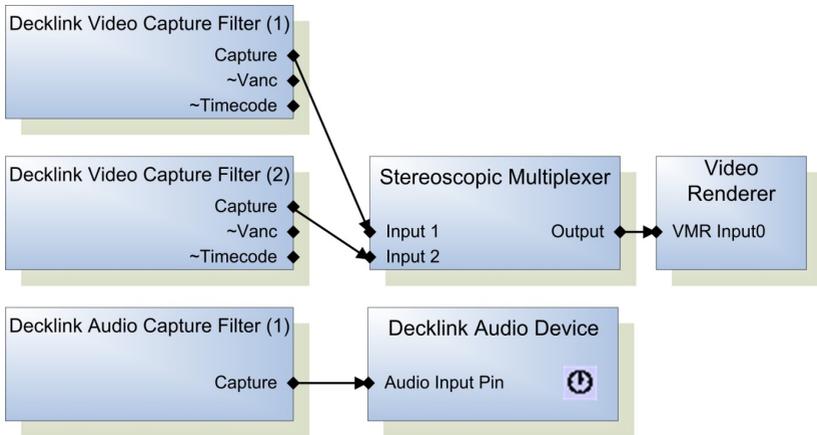


Abb. 6.11: Software-Monitoring mit dem Stereoscopic Multiplexer

### 13.4 Stereoskopisches Monitoring

Für das stereoskopische Monitoring kommt eine weitere von Peter Wimmer entwickelte Softwarelösung zum Einsatz: Der *Stereo Transformation Filter* wird hier in Kombination mit dem *Stereoscopic Multiplexer* eingesetzt.

Der Stereo Transformation Filter, welcher zur stereoskopischen Darstellung von zwei stereoskopischen Seitenbildern entwickelt wurde, funktioniert ebenfalls sowohl als eigenständige Anwendung (*Stereoscopic Player*), sowie als *DirectShow* Filter. Dabei werden die beiden Bilder in ihrer ursprünglichen, unbearbeiteten Form eingelesen und zur stereoskopischen Darstellung aufbereitet. Was den *Stereo Transformation Filter* für das stereoskopische Monitoring zu einem interessanten Tool macht, sind seine vielseitigen Einsatzmöglichkeiten bezüglich des stereoskopischen Ausgabeformates und der Kompatibilität zu Spezialgeräten. So unterstützt er die stereoskopische Darstellung auf verschiedenen autostereoskopischen Monitoren, die getrennte Ausgabe auf mehreren Bildschirmen, sowie weitere produktspezifische Ausgabeformate. Außerdem steht die Ausgabe für anaglyphische Darstellungsformen zur Verfügung, welche in diesem Produktionssystem implementiert werden. Die Verwendung von Shuttern und autostereoskopischen Displays ist zusammen mit dem *Stereo Transformation Filter* für die Zukunft denkbar.<sup>40</sup>

Für unkomprimiertes, hochauflösendes Video benötigt der *Stereo Transformation Filter* zur Verarbeitung die stereoskopischen Seitenbilder in einem Datenstrom, weshalb ihm der *Stereoscopic Multiplexer* dieses zusammengefasste Signal ausgeben muss.

<sup>40</sup> 3dvt: Stereoscopic Player Funktionsumfang.

Die Ausgabe als Anaglyphendarstellung kann auch hier über einen Render-Filter erfolgen. Will man die stereoskopische Darstellungsform im Anaglyphenformat mit-schneiden, wird zusätzlich noch ein *Smart-Tee* Filter verwendet, welcher ein Signal in einen Capture- und einen Preview-Stream splittet.

Der *Stereoscopic Multiplexer* und der *Stereo Transformation Filter* lassen sich in den Filter Graphen in *GraphEdit* per Rechtsklick konfigurieren und auch der gewünschten Ausgabe anpassen. Diese Konfigurationen müssen jedoch durchgeführt werden, bevor die Filter miteinander verbunden werden, da die Ausgabe sonst unter Umständen nicht richtig funktioniert oder Konfigurationsänderungen nicht übernommen werden.

Beide Produkte sind unregistriert kostenlos für private Zwecke nutzbar, wobei die Darstellung im Stereoscopic Multiplexer mit einem Demo-Hinweis versehen wird. Der *Stereo Transformation Filter* wird mit der Installation des *Stereoscopic Player* auch in der Demo-Version für das System verfügbar.



## Autor

Volker Stephan



Studium Online Medien an der Hochschule Furtwangen. Im März 2008 Abschluss als Bachelor of Science.

Bachelor-Thema „Konzeption und Implementierung eines stereoskopischen HD-Produktionssystems“. Erasmus-Student in Helsinki (Finnland).

Seit September 2008 in der Webagentur 4wd media in Darmstadt als fest angestellter Frontend-Programmierer tätig.



## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 6.1: Stereoschiene  
Quelle: [http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms783354\(VS.85\).aspx](http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms783354(VS.85).aspx)
- Abb. 6.2: Vorderansicht der zwei montierten Kameras  
Foto: Volker Stephan
- Abb. 6.3: Montage der Stereoschiene auf dem Stativ  
Quelle: [http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms783354\(VS.85\).aspx](http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms783354(VS.85).aspx)
- Abb. 6.4: Aufbau einer DirectShow-Anwendung  
Illustration: Volker Stephan
- Abb. 6.5: Screenshot der GraphEdit-Oberfläche  
Illustration: Volker Stephan
- Abb. 6.6: Aufzeichnung einer AVI-Datei  
Illustration: Volker Stephan
- Abb. 6.7: Aufzeichnung beider Halbbilder mit Reference Clock  
Illustration: Volker Stephan
- Abb. 6.8: Beide Lösungen kombiniert durch die Verbindungen der Pins mit dem AVI-Muxer  
Illustration: Volker Stephan
- Abb. 6.9: Aufzeichnung beider Halbbilder mit Audio  
Illustration: Volker Stephan
- Abb. 6.10: Software-Monitoring  
Illustration: Volker Stephan
- Abb. 6.11: Software-Monitoring mit dem Stereoscopic Multiplexer  
Illustration: Volker Stephan



## Literaturverzeichnis

- FRANK, Anja: Stereoskopische High Definition Produktion (Bachelorthesis), Furtwangen: Hochschule Furtwangen, Fakultät Digitale Medien Sommersemester 2007
- HEYNA, Arne / BRIEDE, Mark / SCHMIDT, Ulrich (Hg.): Datenformate im Medienbereich München, Wien: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2003
- POYNTON, Charles: Digital Video and HDTV San Francisco (USA): Elsevier, 2003, Ausgabe von 2007
- RÖDER, Oliver: Grundlagen der Stereoskopie – Analyse der Aufnahmen und Projektion von 3D-Bildern Saarbrücken: VDM Verlag, 2007
- SCHMIDT, Ulrich: Digitale Film- und Videotechnik München, Wien: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2002
- Thales Themenheft Nr. 49: Stereoskopie Essen: Thales Verlag, 1991 WATKINSON, John: The Art Of Digital Video Oxford (England), Focal Press 2000, dritte Auflage
- 21st Century 3D: 3DVX3.5,3DVX-H, 3D-SSR Press Release, 2007 <http://www.21stcentury3d.com/press/pr-070130-3dvx35.html> [Zugriff am 28.2.2008 20:10 MEZ]
- 3dtv: Stereoscopic Multiplexer Funktionsumfang [http://www.3dtv.at/Products/Multiplexer/Features\\_de.aspx](http://www.3dtv.at/Products/Multiplexer/Features_de.aspx) [Zugriff am 25.2.2008 um 14:56 MEZ]
- 3dtv: Stereoscopic Player Funktionsumfang [http://www.3dtv.at/Products/Player/Features\\_de.aspx](http://www.3dtv.at/Products/Player/Features_de.aspx) [Zugriff am 25.2.2008 um 15:15 MEZ]
- 3dtv: Vergleich von Anaglyphenverfahren, [http://www.3dtv.at/Knowhow/AnaglyphComparison\\_de.aspx](http://www.3dtv.at/Knowhow/AnaglyphComparison_de.aspx) [Zugriff am 14.2.2008 14:50 MEZ]
- Bahr, Achim: Anaglyphen, zuerst veröffentlicht in 3D-Magazin 4, Haltern: 1993, <http://www.3dwebsite.de/de/html/tanaglyphen.html> [Zugriff am 4.2.2008 19:21 MEZ]
- Bach, Michael: 3D-Sehen, zuerst veröffentlicht in C't, Hannover: Heise Zeitschriften Verlag, Juli 1999, <http://www.heise.de/ct/99/07/158/> [Zugriff am 6.2.2008 11:00 MEZ]
- BBC News: Why 3D is about to break through, 29.1.2008, <http://news.bbc.co.uk/2/hi/technology/7213534.stm> [Zugriff am 7.2.2008 15:21 MEZ]
- Cosine: Cosine showcases its Digital Stereoscopic Camcorder, Leiden (Niederlande): 6.12.2007, <http://cosine.nl/index.php?id=1150> [Zugriff am 6.2.2008 14:01 MEZ]
- Cosine: DSSC Brochure (brochure\_dssc\_nov07.pdf), Leiden (Niederlande): November 2007, [http://cosine.nl/download/brochure\\_dssc\\_nov07.pdf](http://cosine.nl/download/brochure_dssc_nov07.pdf) [Zugriff am 6.2.2008 14:03 MEZ]
- Der Standard: Kino der Zukunft setzt auf 4D, 7.2.2008 <http://derstandard.at/?url=?id=3191118> [Zugriff am 14.2.2008 21:54 MEZ]
- Film TV Video: Band Pro Media Forum, 7.2.2008 [http://www.film-tvvideo.de/newsdetail.pdf?tx\\_ttnews\[day\]=07&tx\\_ttnews\[month\]=02&tx\\_ttnews\[year\]=2008&tx\\_ttnews\[backPid\]=227&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=37072&chHash=292f21b4d0](http://www.film-tvvideo.de/newsdetail.pdf?tx_ttnews[day]=07&tx_ttnews[month]=02&tx_ttnews[year]=2008&tx_ttnews[backPid]=227&tx_ttnews[tt_news]=37072&chHash=292f21b4d0) [Zugriff am 19.2.2008 20:35 MEZ]
- Firnkes, Matthias: Was Holografie ist, März 2001 [http://www.holographieonline.de/wissen/einfuehrung/was\\_holographie/was\\_holographie.html](http://www.holographieonline.de/wissen/einfuehrung/was_holographie/was_holographie.html) [Zugriff am 18.2.2008 17:37 MEZ]
- Herbig, Gerhard P.: Die 3 goldenen Regeln der Stereofotografie, 27.5.2005, [http://www.herbig-3d.de/german/goldene\\_regeln.htm](http://www.herbig-3d.de/german/goldene_regeln.htm) [Zugriff am 18.12.2007 19:52 MEZ]
- Inition: 3DVidRig-HDV [http://www.inition.co.uk/inition/product.php?URL\\_=product\\_stereovis\\_inition\\_3dvidrig&S\\_ubCatID\\_=81](http://www.inition.co.uk/inition/product.php?URL_=product_stereovis_inition_3dvidrig&S_ubCatID_=81) [Zugriff am 28.2.2008 14:16 MEZ]
- Karagosian, Michael: Digital 3D - In a Theatre Near You?, zuerst veröffentlicht im INS Asia Magazine, Karagosian MacCalla Partners, August 2005, [http://www.3dkinos.ch/html/text\\_englisch.html](http://www.3dkinos.ch/html/text_englisch.html) [Zugriff am 14.2.2008 21:46 MEZ]
- MI Wiki (HdM Stuttgart): Digitalbildsignale, 30. Juni 2007 <http://mi-hdm.de/wiki/Digitalbildsignale> [Zugriff am 25.02.2008 12:52 MEZ]
- Microsoft: Remote Desktop Connection Software Download, 25.10.2001 <http://www.microsoft.com/windowsxp/downloads/tools/rdclient1.msp> [Zugriff am 28.2.2008 23:01 MEZ]

- MSDN Library: About DirectShow Filter, 2008 [http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms778825\(VS.85\).aspx](http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms778825(VS.85).aspx) [Zugriff am 25.02.2008 12:39 MEZ]
- MSDN Library: About the Filter Graph Manager, 2008 [http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms778903\(VS.85\).aspx](http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms778903(VS.85).aspx) [Zugriff am 25.02.2008 12:40 MEZ]
- MSDN Library: DirectShow, 2008 <http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms783323%28VS.85%29.aspx> [Zugriff am 25.02.2008 12:35 MEZ]
- MSDN Library: DirectShow System Overview, 2008 [http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms783354\(VS.85\).aspx](http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms783354(VS.85).aspx) [Zugriff am 25.02.2008 12:33 MEZ]
- MSDN Library: Introduction to DirectShow, 2008 <http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms786508.aspx> [Zugriff am 25.02.2008 12:37 MEZ]
- MSDN Library: Migration from DirectShow to Media Foundation, July 2006 <http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/aa468614.aspx> [Zugriff am 25.2.2008 13:17 MEZ]
- MSDN Library: Reference Clocks, 2008 Microsoft Corporation [http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms787549\(VS.85\).aspx](http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms787549(VS.85).aspx) [Zugriff am 25.2.2008 14:14 MEZ]
- MSDN Library: Remote Desktop Protocol (Windows) <http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/aa383015.aspx> [Zugriff am 28.2.2008 23:00 MEZ]
- RP Online: 3D-Projektion – Kino erobert die dritte Dimension, 15.01.2008 <http://www.rp-online.de/public/article/aktuelles/kultur/film/521509> [Zugriff am 7.2.2008 15:35 MEZ]
- Screen Digest: 3D Cinema: Exhibitors race to reap the rewards from the next big thing in film as this time around 3D is not a gimmick, 21.7.2007 <http://www.screen Digest.com/press/releases/FHAN-74CMCD/pressRelease.pdf> [Zugriff am 9.2.2007 00:13 MEZ]
- Tagesspiegel: Kinos setzen auf 3D-Filme, 14.8.2007 <http://www.tagesspiegel.de/kultur/kino/3D-Filme;art137,2357633> [Zugriff am 7.2.2007 19:07 MEZ]
- Wikipedia: Pulfrich-Effekt, 2.12.2007 <http://de.wikipedia.org/wiki/Pulfrich-Effekt> [Zugriff am 28.2.2008 13:02 MEZ]
- Wikipedia, SMPTE 292M, 16.01.2008 [http://en.wikipedia.org/wiki/SMPTE\\_292M](http://en.wikipedia.org/wiki/SMPTE_292M) [Zugriff am 24.02.2008 20:35]
- vi Konzeption und Implementierung eines stereoskopischen HD-Produktionssystems
- Scherer, Volker (JVC Professional Europe Ltd., Quality Assurance Management): Steuerung von zwei GY-HD251 gleichzeitig, <volker.scherer@jvcpro.de> [Email vom 15.1.2008]





SIMON SCHWEIZER

# Realisierung eines stereoskopischen HD-Projektionssystems

## 1 Realisierung einer stereoskopischen Triptychonprojektion

Dieses Kapitel befasst sich mit der Realisierung einer stereoskopischen Triptychon-Projektion von Realfilmen und geht auf Vor- und Nachteile dieser Darstellungsart ein. Ein Triptychon besteht aus drei Bildern bzw. Projektionsflächen die nebeneinander angeordnet sind. Die beiden äußeren Projektionsflächen lassen sich nach innen einschwenken.

Jede Fläche des Triptychons wird von zwei Projektoren mit jeweiligen Polfiltern im Rückprojektionsverfahren angestrahlt. Die Projektoren unserer Testkonfiguration unterstützen SXGA+ 1400x1050 oder alternativ die HD-Auflösung 720p mit 1280x720 Pixeln. Sie verfügen über VGA als auch DVI Eingänge. Allerdings werden nur die DVI-Eingänge verwendet. Die Ansteuerung der sechs Projektoren erfolgt für stereoskopische 3D-Computergrafik über ein Clustersystem aus vier Renderrechnern, welches die Echtzeitgrafiken entsprechend aufteilt. Darüberhinaus bestand aber keine Lösung zum Abspielen und Synchronisieren von 3D-Realfilmen. Aufgrund von Erfahrungen, welche bei unserem Kooperationspartner, dem Zentrum für Kunst und Medientechnologie gemacht wurden<sup>1</sup>, entschieden wir uns für die PC-basierte Projek-

---

<sup>1</sup> Gespräch mit Bernd Lintermann.

tion aus einer Dualhead-Grafikkarte heraus unter Nachschaltung zweier Bildsplitter. Jeder Bildsplitter, in unserem Fall ein *Triplehead2Go* der Fa. Matrox, kann das Bild wiederum auf drei VGA-Ausgänge aufteilen.



Abb. 7.1: Eine Darstellung eines Triptychons

Der Rechner, der die beiden Bildsplitter ansteuert, hat eine *Dualhead GeForce 7800 GS* Grafikkarte mit 512 MB Ram installiert. Die *Nvidia* Grafikkarte ist momentan noch Voraussetzung für den Betrieb der *Triplehead2Go*. Der Rechner ist ein AMD Athlon 64 3500+ Prozessor, mit 2.21 GHz, 4 GB RAM und einem Raid-0 Festplattensystem mit 3SATA-Platten. Das Betriebssystem ist Windows XP mit Service Pack 2. Als stereoskopische Filmabspielsoftware kommt der im vorigen Kapitel erwähnte *Streoscopic Player*<sup>2</sup> zum Einsatz. Zusätzlich wird vom Hersteller 3Dtv empfohlen, mindestens *Windows Media Player 11* zu installieren.

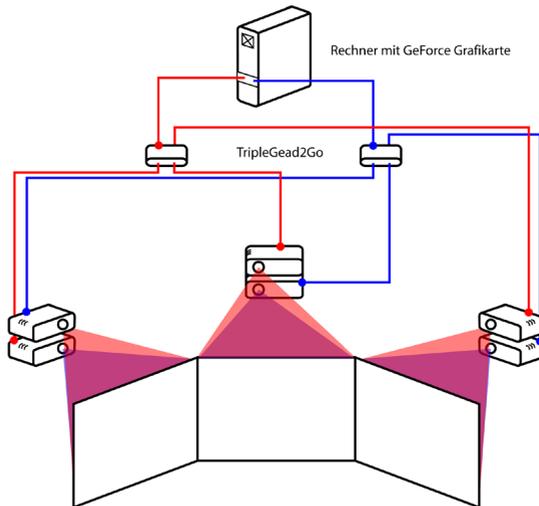


Abb. 7.2: Aufbau der Triptychon-Ansteuerung

<sup>2</sup> [www.3dtv.at](http://www.3dtv.at).

## 2 Problematik: Bildseitenverhältnis und räumliche Auflösung

Ein einzelner Projektor des Triptychons hat eine Auflösung von 1400x1050 Pixeln. Drei Projektoren könnten folglich ein Gesamtbild von 4200x1050 erzeugen. Da die Bildsplitter aber nur eine maximale Auflösung von 3840x1024 realisieren, wird das volle Potential nicht ausgeschöpft. So stehen in der Höhe nicht 1080 Pixel, sondern nur 1024 Pixel zur Verfügung. Alle HD Formate besitzen das Bildseitenverhältnis 16:9. Das Gesamtformat des Triptychon beträgt 4:1, die über die Bildsplitter effektiv bespielbare Fläche hat das Verhältnis 3,75:1. Möchte man also einen im HD-Format 1080i/p aufgenommenen Film bildfüllend auf dem ganzen Triptychon darstellen, so müssen in der Postproduktion 568 Pixel in der Vertikalen abgeschnitten werden, damit ein Bildseitenverhältnis 3,75:1 entsteht. Diese besondere Kadrierung ist natürlich schon bei der Aufnahme zu beachten. Die Aufskalierung auf 3840x1024 kann vom *Stereoscopic Player* automatisch durchgeführt werden.

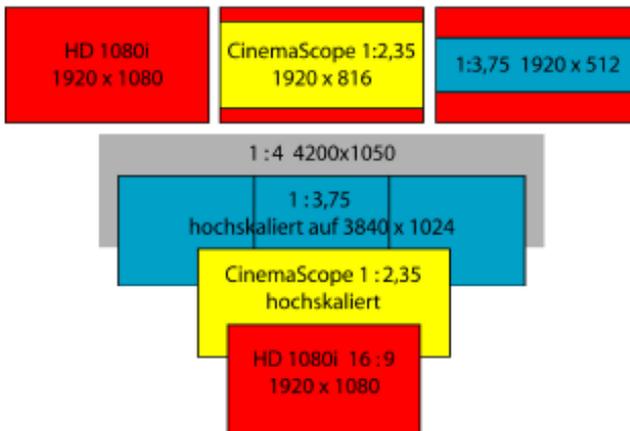


Abb. 7.3: Unterschiedliche Auflösung im Vergleich

Eine volle Nutzung der Triptychonfläche für Filme wäre also nur mit einer speziellen Panoramakamera mit 3840x1024 Pixeln möglich. Eine Alternative wäre, zwei Kameras divergent anzuordnen, deren Bilder zu entzerren und synchron in einem Film zusammenzufügen. Dies ist in der Bachelorthesis von Jan Brune umgesetzt worden<sup>3</sup>. Für eine stereoskopische 3D-Panoramaaufnahme wären allerdings vier Kameras auf engstem Raum nötig, was nur mit einem komplizierten Aufbau von Linsen und Spiegeln vorstellbar scheint.

<sup>3</sup> Jan Brune, 2008, Fakultät Digitale Medien, HD-Panormaaufnahme mit Triptychonprojektion.

### 3 Ansteuerung des Triptychons

Aus Sicht der *Dualhead*-Grafikkarte im PC handelt es sich bei der Triptychonprojektion um einen Zweibildschirmbetrieb, wobei jeweils ein DVI-Ausgang für ein Seitenbild (L/R) zuständig ist. Dies wurde zunächst in einer einfachen, stereoskopischen 2-Beamer-Konstellation nochmals getestet. Der linke Projektor wird an den ersten DVI-Ausgang, und der Rechte an zweiten Ausgang der Grafikkarte angeschlossen. Ist der Rechner gestartet, wechselt man die *Eigenschaften der Anzeige*. Unter der Registerkarte *Einstellungen*, unter dem Button *Erweitert* lässt sich bei allen Grafikkarten, die einen Monitor-*Dualbetrieb* erlauben, die *Dualanzeige* auswählen. Der *Stereoscopic Player* muss nun installiert und gestartet werden. Für den *Zweibildschirmbetrieb* wird im Menü unter *Darstellung, Zweibildschirmbetrieb* ausgewählt. Und unter *Vollbildmonitor Linke Ansicht* wird *Monitor 1*, und *rechte Ansicht* wird *Monitor 2* ausgewählt. Zur Ausgabe auf zwei Monitoren wird unter *Darstellungen die Wiedergabemethode* die Zweibildschirmausgabe gewählt. Nun muss nur noch der Film geladen werden, der entweder aus zwei Files oder aus einem besteht. Es ist empfehlenswert die Filmdatei(en) auf ein RAID-0 System zu legen, um einen schnellen Zugriff zu ermöglichen. Als genauso effizient haben sich zwei simple Festplatten erwiesen, wenn zwei separate Dateien genutzt werden. Handelt es sich um zwei Files, können diese unter *Datei* mit *linke und rechte Datei öffnen* geladen werden. Handelt es sich um eine Layout-Datei, kann diese mit *Datei öffnen* ausgewählt werden. Die Software fragt automatisch nach, welches *Layout* der Film benutzt. Mit Doppelklick auf das Filmfenster, wechselt die Software dann in den Vollbildschirmbetrieb. Der Film wird mit Leertaste gestartet. Sind rechter und linker Bildinhalt vertauscht worden, tauscht die Taste F7 die Filme aus.

Für die Nutzung des Triptychon sieht der Aufbau etwas anders aus. So müssen als erstes die Bildsplitter angeschlossen werden. Der Hersteller *Matrox* empfiehlt dabei die *Triplehead2Go's* in folgender Reihenfolge anzuschließen. Zuerst wird der Input der ersten *Triplehead2Go* an den ersten Ausgang der Grafikkarte angeschlossen. Nun wird an den linken Ausgang des Bildsplitters der linke Projektor angeschlossen. Danach folgt der Mittlere und dann der Rechte. Erst dann wird das Gerät an das Netzteil geschlossen. Startet man den Rechner wird nur der mittlere Monitor betrieben. Nun muss *Matrox-PowerDesk-SE* installiert und der Rechner neu gestartet werden. Mit Linksklick auf das Systray-Icon lässt sich der *Desktop-Divider* öffnen, indem sich die *TripleHead2Go* auswählen und deren Auflösung einstellen lässt. Die zweite *Triplehead2Go* muss genau wie die erste angeschlossen und der Rechner neu gestartet. Auch hier wird per *Matrox-PowerDesk-SE* die Auflösung angepasst. Nun sollten beide Monitore unter *Einstellungen* in der *Eigenschaften von Anzeige* mit der Auflösung 3840x1024 arbeiten, wobei der zweite Monitor die Option *Window-Desktop auf diesen Monitor erweitern*, aktiviert haben muss. Unter *Erweitert* wird die *GeForce 7800 GS* im Menü *nView-Grafikeinstellungen* den *Dualbetrieb* aktiviert. Diese Einstellung kann als Profil unter *Desktop-Verwaltung* gespeichert werden. Der *Stereoscopic Player* ist wie gehabt einzustellen.

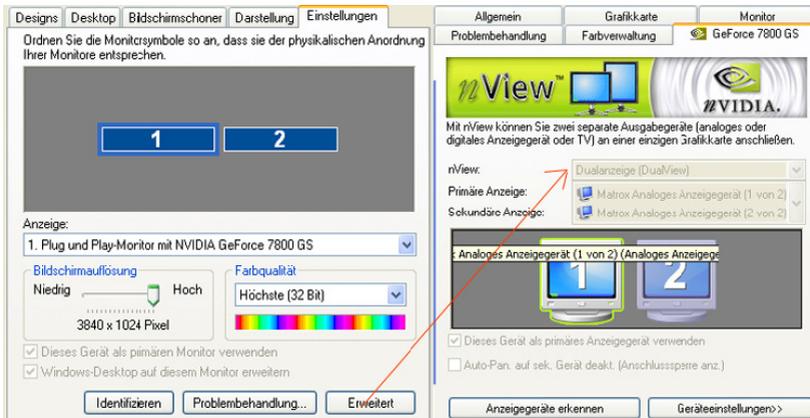


Abb. 7.4: Einstellungen für Triptychon-Betrieb

## 4 Performance

Um die Performance des Systems zu testen, wurden Filme verwendet, welche in unterschiedlichen Quellformaten vorliegen. Jedes Format wird mit unterschiedlichen Codecs ausgerendert, um zu überprüfen, ob eventuelle Geschwindigkeitsunterschiede vorhanden sind. Dabei werden die *Frames per Second* sowie die CPU-Auslastung aufgezeichnet. Da bisher noch keine Software existiert die FPS von zwei Videos überprüft, wurden die Videos mit einem framegenauen Timecode versehen und regelmäßig in festen Pausen überprüft, ob eine Synchronisation noch gewährleistet ist. Zusätzlich wird in *Graphedit* überprüft, ob Frames übersprungen wurden. Verglichen werden sowohl Filme im single-Format (Side-by-Side Speicherung in einer Datei) als auch Filme die aus zwei Files bestehen. Für den Triptychon-Betrieb werden die Filme vertikal beschnitten und im Verhältnis 1:3,75 sowie im Cinemascope Format 1:2,35 getestet. Die FPS werden mit *Fraps* gemessen. Die CPU-Auslastung und Speicherauslastung wird mit *FreeMeter* überwacht. Die Testfiles selbst wurden mit *Adobe After Effects* unkomprimiert als Einzelbilder ausgerechnet und mit *Virtual Dub* und *Super ©* encodiert. Bereits beim Erzeugen der Testfiles zeigte sich, dass viele Standard Codecs nicht in der Lage waren, das spezielle Format auszurechnen, unter anderem *DivX 6.1*, da sie die Auflösung nicht unterstützten.

Das Format 3840x1024 konnte von keinem Codec weder mit annehmbarer Framegeschwindigkeit noch synchron abgespielt werden. Wurde ein Film synchron abgespielt, lag die Framerate bei ca. 3 Frames in der Sekunde.

Der *Indeo Codec* spielte zwar bis zu 25 Bilder in der Sekunde, jedoch stoppte der Film alle paar Sekunden und stürzte letztendlich ab. Auch liefen hier linker und rechter Film bis zu 32 Frames zeitversetzt ab.

Format/Codec	Intel IYUV	Indeo Video 5.10	M-JPEG v3	MPEG2	MPEG4	DivX 6.1.1	Xvid MPEG4
3840x1024	Absturz	Absturz	Absturz	Absturz	100/2/40	Fehler	100/5/40
1440x1080	100/23/1	100/22/21	100/8/9	100/9/10	100/28/17	100/24/0	100/39/15
1920x817	100/20/4	Fehler	100/10/19	100/7/15	90/38/5	100/25/5	100/16/5
1920x512	9724/1	100/21/10	100/10/13	100/10/5	75/50/2	100/50/0	89/50/5
1280x720	98/24/1	35/20/1	100/12/9	100/14/9	77/27/10	45/24/0	75/129/8

Tabelle 1: Performance mit 2 Files  
(ØCPU Last / Ø FPS / maximale Asynchronität in Frames)

Ein Layout in der Auflösung 3840x1024 konnte weder Side-by-Side noch im Over-Under-Layout dargestellt werden. Die mit *Fehler* gekennzeichneten Formate wurden entweder auf den Projektoren nur fehlerhaft dargestellt oder es wurde nur eine grüne Fläche projiziert. Formate, die der *Stereoscopic Player* nicht im Stande war zu laden, ohne abzustürzen, sind mit *Absturz* gekennzeichnet.

Format/Codec	Intel IYUV	Indeo Video 5.10	M-JPEG v3	MPEG2	MPEG4	DivX 6.1.1	Xvid MPEG4
3840x1024	-	-	-	-	-	-	-
1440x1080	100/26/1	67/22/2	100/9/7	98/41/0	100/36/2	Fehler	100/24/2
1920x817	Fehler	61/19/3	Fehler	100/31/5	100/30/2	100/29/15	100/21/2
1920x512	91/31/0	50/23/1	100/14/8	85/47/0	82/43/2	100/26/1	91/26/2
1280x720	75/43/0	57/24/1	100/12/12	80/41/0	81/39/0	75/50/0	91/25/0

Tabelle 2: Performance mit einem File in Side-By-Side Format (doppelte Auflösung)  
(ØCPU Last / Ø FPS / maximale Asynchronität in Frames)

Als schnellste Variante stellten sich die *MPEG* Codecs und der *DivX* Codec heraus. Allerdings lassen sich *DivX*-Filme nicht ohne weiteres, in entsprechender Auflösung erstellen. Weder mit *Adobe After Effects* noch mit *Virtual-Dub* konnten die Übergrößen ausgerechnet werden. Lediglich das Konvertieren mit *Super ©* war möglich. Es wird daher empfohlen Filme im Layout-Format und mit *MPEGCodec4v2* zu speichern oder gleich als Layout-Format aufzuzeichnen. Die Software zum direkten Aufzeichnen auf den Computer, bietet der *Stereoscopic-Multiplexer* auf 3dtrv.at.

Bei der Wiedergabe mit dem *Stereoscopic Player* war die Leistung bzw. die CPU-Auslastung, sowohl mit 6, als auch mit zwei Projektoren nahezu gleich. Bei 100% CPU-Auslastung nahmen die FPS stark ab. Daher ist eine bessere CPU zu empfehlen. Eventuell eine Zwei-Kern-CPU, um Multithreads von *DirectShow* zu nutzen. Da

der *Stereoscopic Player* spezielle Renderer für eine *NVIDIA*-Grafikkarte besitzt, kann eine SLI-Verbindung zweier *NVIDIA*-Grafikarten ebenfalls zu einer Performancesteigerung beitragen.

## 5 Untersuchung zur Tiefenwirkung des Triptychons

Werden die Flügel des Triptychons gekippt, sollten die Betrachter so stehen, dass sie sich im Schnittpunkt der Mittelsenkrechten befinden. Weiter entfernte Positionen vom Schnittpunkt führen zu seitlicher Betrachtung und verringern die 3D-Wirkung. Auch die Polarisationsprojektionen verlieren an Wirkung.

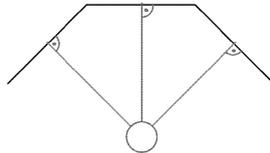


Abb. 7.5: Optimale Position zu den Flügeln

Eine zu starke Neigung der Flügel erfordert eine geringere Distanz zu den Projektionswänden, dies kann eine randlose Verschmelzung der Bilder verhindern. Zu empfehlen scheint also eine minimale Neigung der Flügel bei maximaler Betrachtungsentfernung. So können auch mehr Personen eine optimale stereoskopische Wirkung erfahren. In einer solchen Konstellation reduziert man auch den störenden gegenseitigen Streulichteinfall der Triptychonflügel, welcher zu Kontrastverringeringen in den benachbarten Randbereichen führt.

Gestaltungstechnisch kann die außergewöhnliche Breite genutzt werden, Bildelemente des Films aus der normalen mittleren Projektionsfläche herauskommen zu lassen. Dabei werden die beiden äußeren Flächen nur für verlassenden Objekte, aus dem mittleren Screens benutzt, und bleiben ansonsten leer. Dieser Effekt wird bereits im Fernsehen in 2D Werbespots dargestellt, in denen Objekte den Fernseher verlassen. Der räumliche Eindruck ist größer, als bei einem normalen 3D-Film, da die Betrachter den Eindruck bekommen, die Objekte würden über die aktive Projektionsfläche herauskommen. Natürlich müsste ein solcher Film speziell dafür entwickelt werden.

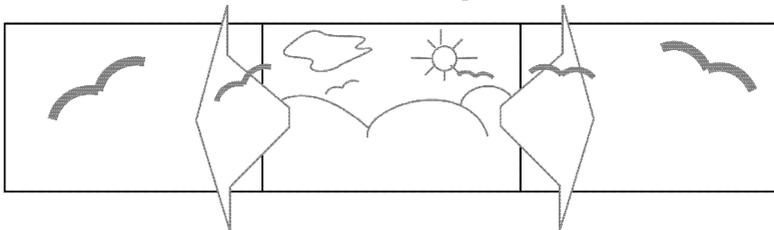


Abb. 7.6: Vögel bewegen sich von dem mittleren Screen in die Äußeren



## Autor

Simon Schweizer



Studium OnlineMedien an der Hochschule Furtwangen mit dem Abschluß als Bachelor of Science im Sommersemester 2007. Thesis-Thema: „Konzeption und Realisierung einer stereoskopischen HD-Projektion, im Labor für neue Medien“. Derzeit freiberuflich in der IT-Branche tätig.



## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 7.1: Eine Darstellung eines Triptychons  
Illustration: Simon Schweizer
- Abb. 7.2: Aufbau der Triptychon-Ansteuerung  
Illustration: Simon Schweizer
- Abb. 7.3: Unterschiedliche Auflösung im Vergleich  
Illustration: Simon Schweizer
- Abb. 7.4: Einstellungen für Triptychon-Betrieb  
Illustration: Simon Schweizer
- Abb. 7.5: Optimale Position zu den Flügeln  
Illustration: Simon Schweizer
- Abb. 7.6: Vögel bewegen sich von dem mittleren Screen in die Äußeren  
Illustration: Simon Schweizer
- Tabelle 1: Performance mit 2 Files  
Erstellung: Simon Schweizer
- Tabelle 2: Performance mit einem File in Side-By-Side Format (doppelte Auflösung)  
Erstellung: Simon Schweizer



## Literaturverzeichnis

- Valyus: Meyers Enzyklopädisches Lexikon Band 22, 1999
- Escher, M.C.: Stereoskopie Räume- Bilder -Raumbilder, Thales Verlag,1995
- Lambert, Gavin: 3D FILMS, 1953
- Culp, Darrah: Stereo Views: A History of stereographs in America and Their Collection (Book Review), 1966
- Sand, Rüdiger: 3-DTV Research and Development in Europe, Ausgabe 1457,Stereoscopic Displays and Applications II, August 1991
- Pietsch:Die Praxis der Stereo-Nahaufnahme, VEB Fotokinoverlag, 1957
- Deutsche Gesellschaft für Stereoskopie: Stereo Journal, Ausgabe 04/2004
- Lüscher, Hermann: Stereophotographie, Union Deutsche Verlagsgesellschaft,1931
- Röde:Grundlagen der Stereoskopie,VDM Verlag Dr. Müller, 2007
- Woods, Andrew J.; Rourke, Tegan: Ghosting in Anaglyphic Stereoscopic Images, 2004
- John C. Russ., „The Image Processing Handbook Fourth Edition“,CRC Press
- Snavelly N., Seitz S. M., Szeliski R.: Photo tourism: exploring photo collections in 3D, 2006
- RP ONLINE <http://www.rp-online.de/public/article/aktuelles/digitale/mehr/386919>, 21.07.2007
- TIMESONLINE [http://business.timesonline.co.uk/tol/business/industry\\_sectors/leisure/article2075028.ece](http://business.timesonline.co.uk/tol/business/industry_sectors/leisure/article2075028.ece), 21.07.2007
- Periodicals Archive Online <http://pao.chadwyck.co.uk/articles/displayItemPage.do?FormatType=fulltextimages&QueryType=articles&ResultsID=113D52B8C48391466&ItemNumber=2&PageNumber=3>, 21.07.2007
- REAL D <http://www.reald-corporate.com/resources/foundations200dpi.pdf>, 21.07.2007
- Deutsche Gesellschaft für Stereoskopie e.V. <http://www.Stereoskopie.org/Theorie/Rahmung.htm>, 21.07.2007
- Stereofotografie [http://www.herbig-3d.de/german/variable\\_Stereobasis.htm](http://www.herbig-3d.de/german/variable_Stereobasis.htm), 21.07.2007
- INFITEC <http://www.infitec.net/infitec.pdf>, 21.07.2007
- INFITEC <http://www.infitec.net/infitec.html>, 21.07.2007
- IN-THREE <http://www.in-three.com/FAQ.html>, 21.07.2007
- Using Photographs to Enhance Videos of a Static Scene [http://www.cs.washington.edu/homes/pro/papers/videoEnhancement/videoEnhancement\\_files/videoEnhancement.pdf](http://www.cs.washington.edu/homes/pro/papers/videoEnhancement/videoEnhancement_files/videoEnhancement.pdf), 21.07.2007
- Microsoft Live Labs <http://labs.live.com/photosynth/>, 21.07.2007
- Imagineer system <http://www.imagineersystems.com/>, 21.07.2007
- 3dtv.at [http://3dtv.at/Knowhow/DeAnaglyph\\_en.aspx](http://3dtv.at/Knowhow/DeAnaglyph_en.aspx), 21.07.2007
- 3dtv.at [http://3dtv.at/Products/Player/Features\\_en.aspx](http://3dtv.at/Products/Player/Features_en.aspx), 21.07.2007
- Microsoft Developer Network <http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/aa139672.aspx>, 21.07.2007
- Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden <http://www.htw-dresden.de/~Lehrbuch/material/DirectShow.pdf>, 21.07.2007
- Microsoft Developer Network <http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms783348.aspx>, 21.07.2007
- Microsoft Developer Network [http://msdn.microsoft.com/archive/default.asp?url=/archive/enus/directx9\\_c\\_Summer\\_03/directX/htm/defaultdirectsounddevicefilter.asp](http://msdn.microsoft.com/archive/default.asp?url=/archive/enus/directx9_c_Summer_03/directX/htm/defaultdirectsounddevicefilter.asp), 21.07.2007
- GDCL [http://www.gdcl.co.uk/dshow\\_dev.htm](http://www.gdcl.co.uk/dshow_dev.htm), 21.07.2007
- Microsoft Developer Network <http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/aa452261.aspx>, 21.07.2007
- Microsoft Developer Network <http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/Aa919887.aspx>, 21.07.2007
- Microsoft Developer Network [http://msdn.microsoft.com/archive/default.asp?url=/archive/enus/directx9\\_c\\_Summer\\_03/directX/htm/qualitycontrolmanagement.asp](http://msdn.microsoft.com/archive/default.asp?url=/archive/enus/directx9_c_Summer_03/directX/htm/qualitycontrolmanagement.asp), 21.07.2007
- Microsoft Developer Network <http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms783236.aspx>, 21.07.2007
- Codeprojekt <http://www.codeproject.com/directx/rendering.asp>, 21.07.2007
- Microsoft Developer Network <http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms787549.aspx>, 21.07.2007
- Microsoft Developer Network [http://msdn.microsoft.com/archive/default.asp?url=/archive/enus/directx9\\_c\\_Summer\\_03/directX/htm/videoencoderfilter.asp](http://msdn.microsoft.com/archive/default.asp?url=/archive/enus/directx9_c_Summer_03/directX/htm/videoencoderfilter.asp), 21.07.2007
- Microsoft Developer Network [http://msdn.microsoft.com/archive/default.asp?url=/archive/enus/directx9\\_c\\_Summer\\_03/directX/htm/videowindowinterface.asp](http://msdn.microsoft.com/archive/default.asp?url=/archive/enus/directx9_c_Summer_03/directX/htm/videowindowinterface.asp), 21.07.2007

## SIMON SCHWEIZER

- Microsoft Developer Network [http://msdn.microsoft.com/archive/default.asp?url=/archive/enus/directx9\\_c\\_Summer\\_03/directX/hm/fullscreenrenderfilter.asp](http://msdn.microsoft.com/archive/default.asp?url=/archive/enus/directx9_c_Summer_03/directX/hm/fullscreenrenderfilter.asp), 21.07.2007
- GOLEM <http://www.golem.de/0605/45537.html>, 21.07.2007
- Microsoft Developer Network <http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms788099.aspx>, 21.07.2007
- Microsoft Developer Network <http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms788143.aspx>, 21.07.2007
- NVIDIA DEVELOPER ZONE [http://developer.nvidia.com/object/3D\\_Stereoscopic\\_Dev.html](http://developer.nvidia.com/object/3D_Stereoscopic_Dev.html), 21.07.2007
- OpenGL Spezifikation <http://www.opengl.org>, 21.07.2007
- Microsoft Developer Network <http://msdn.microsoft.com/library/en-us/dnanchor/html/opengl.asp>, 21.07.2007
- Matrox.com [http://www.matrox.com/graphics/en/gxm/support/th2go/TripleHead2Go\\_manual\\_de.pdf](http://www.matrox.com/graphics/en/gxm/support/th2go/TripleHead2Go_manual_de.pdf), 21.07.2007





ANTONIO LOPES

## Stereoskopisches Video mit Wellenfeldsynthese-Audio

Wie ein roter Faden zieht sich das Streben nach Realitätsnähe durch die Geschichte aller audiovisuellen Medien. Ob man nun die bahnbrechenden Errungenschaften der Gebrüder Lumière im 19. Jahrhundert, die Aufnahme- und Tonträgerentwicklungen, computergenerierte Animationen, Special Effects oder virtuelle Welten betrachtet, immer wurde (und wird auch weiterhin) versucht, die nächsthöhere Stufe einer immersiven Wirkung zu erreichen. Doch bevor in diesem Kapitel auf immersive Wahrnehmungsmehrwerte von Wellenfeldsynthese-Klang eingegangen wird, muss zunächst geklärt werden, was Immersion bezüglich Audio ist, ob und wie man sie richtig erzeugen und ob man allgemein geltende, auditive Wahrnehmungsaspekte daraus ableiten kann.

### 1 Das Ziel heißt Immersion

Der Begriff der Immersion ist sehr vielfältig und hat in fast allen Bereichen, in denen dieser Begriff gebräuchlich ist, unterschiedliche Bedeutungen. Jedoch kann man sagen, dass sie sich in den meisten Fällen eine Grundmotivation oder Absicht feststellen lassen, nämlich das gezielte Eintauchen von einem bestimmten Faktor in einen Anderen. Beispielsweise bedeutet Immersion in der (optischen) Physik, dass versucht wird, einen präparierten Stoff in ein anderes Medium zu integrieren bzw. zu immer-

sieren<sup>1</sup>. In der 3D-Computergrafik ist das Ziel der Immersion, den Akteur maximal in die virtuelle Realität eintauchen zu lassen, sodass Bezugspunkte zur physischen Welt zunehmend minimiert werden, um sich ganz in der virtuellen Welt zu orientieren. Auch die filmische Immersion, die für unsere Fragestellung von besonderer Relevanz ist, verfolgt im Grunde dieselbe Motivation wie Virtual Reality. Hierbei besteht ein maßgebliche Unterschied aber darin, dass der Rezipient beim Film nicht in die Szene hineintreten und insbesondere nicht interagieren kann<sup>2</sup>. Daher wird besonders beim Film versucht, die räumlichen Grenzen u.a. durch eine starke emotionale Involvierung des Zuschauers in das Geschehen weitestgehend aufzuheben. Wie steht es jedoch um die auditive Immersion?

## 2 Erzeugung auditiver Immersion

Das Fehlen des visuellen Aspektes kann für eine auditive immersive Wirkung durchaus eine große Herausforderung sein, denn der für die meisten Menschen wichtigste und vor allem ausgeprägteste Wahrnehmungssinn ist das Sehen. Jedoch gibt es durchaus einige Mittel und Methoden, den Hörer in eine reine Klangwelt eintauchen zu lassen und ihn regelrecht darin zu „fesseln“. Als einfaches begleitendes, meiner Ansicht nach aber passendstes Beispiel soll im Folgenden stellenweise auf das Hörspiel (oder auch Hörbuch) im Stereoformat Stellung bezogen werden.

### 2.1 Das innere Auge des „Kopfkinos“

Das Hörspiel hat eine sehr tiefreichende Tradition in sämtlichen Kulturkreisen der Erde und wird umgangssprachlich oft auch als Kopfkino tituliert. Man blicke einfach in der Menschheitsgeschichte zurück, bevor die Erfindung des Cinematographen oder des Fernsehers die Wahrnehmungsgewohnheiten von Grund auf revolutionierten. Es gab immer schon gesellschaftliche oder kulturelle Rollen wie z.B. Schamane, Gelehrte oder (professionelle) Erzähler, die auf rein auditiver Weise ihre Kultur stark geprägt haben. Manche ihrer erzählerischen Überlieferungen überdauern bis in die heutige Zeit. Auch heute noch lesen Eltern oder Großeltern ihren Kindern und Enkeln gerne Gute-Nacht-Geschichten oder Märchen vor. Eine maßgebliche Quintessenz hierbei ist die klare Erzeugung und Vermittlung imaginärer Bilder und Emotionen, die sich vor dem inneren Auge abspielen und so das Kopfkino in Gang setzen sollen. Wie erzeugt man nun solche non-visuellen Bilder?

Dafür gibt es mehrere Gestaltungsmöglichkeiten bzw. Methoden, die denen des Films nicht unähnlich sind. Da wären eine bildhafte Sprache, Betonung, phonetische Intonation, Geräusche und Klänge als Wichtigste zu nennen. Abgesehen vom dramatur-

---

1 Vgl. wapedia.mobi.

2 Für weiterführende Informationen hierzu sei auf die Thesis von Eric Schumacher verwiesen.

gischen Aufbau einer Geschichte, ist die Stimme des Erzählers nicht unerheblich für die Fesselung eines Hörers. Ein ähnlich wirkungsvoller Gefühlsträger ist die Musik. Wie der französische Poet und Publizist Victor-Marie Hugo formulierte: „Die Musik drückt das aus, was nicht gesagt werden kann und worüber zu schweigen unmöglich ist.“ Natürlich kann ein dramaturgischer Höhepunkt und dessen Gefühlslage nur dann richtig verstärkt werden, wenn die musikalische Komposition stimmig dazu arrangiert ist, sonst wirkt sie sich eher kontraproduktiv aus. Die Wahl der richtigen Worte zum richtigen Zeitpunkt kann sehr ausschlaggebend für die Intensität der Spannungsbögen einer Erzählung sein. Genauso wie die richtigen Worte für die richtige Bilderzeugung. Nichts ist langweiliger, als eine sachliche Beschreibung beispielsweise einer sommerlichen Blumenwiese. Hierzu zwei beispielhafte Umschreibungen:

1. *Eine hauptsächlich mit Gräsern bedeckte Landfläche, auf der zur sommerlichen Jahreszeit unterschiedliche Blumengattungen wachsen.*

Natürlich erzeugt diese Beschreibung ein Bild einer Blumenwiese, auch wenn es ein ziemlich Sachliches ist. Aber weckt man auf diesem Wege auch tatsächlich die Lust des Hörers, sich an diesem Ort befinden zu wollen und diesen Ort zu spüren? Ein Vorschlag hierzu wäre:

2. *Ein schier unendliches buntes Blumenmeer auf einem weichen Teppich aus satterm Grün, aus dem der süßlich-warme Duft des Frühsommers emporsteigt.*

Diese beispielhafte Darstellung mag gewiss ein wenig überspitzt anmuten, sollte jedoch deutlich zeigen, was für unterschiedliche Wirkungen Wortwahl und Formulierung hervorrufen können. Analog zum Film könnten hier bildästhetische Aspekte wie Farbstimmung und Kameraperspektive zum Vergleich herangezogen werden.

Zur quasi plastischeren Darstellung von Gegenständen oder Ereignissen bedient man sich - besonders im Hörspiel - der Geräusche. Diese können schon beim Zerbrechen einer Fensterscheibe oder bei Schritten auf einem Kiesboden beginnen, und bis zur atmosphärischen (Raum-)Orientierung mittels sogenannten „Atmos“ gehen. Im Gegensatz zu den Emotionsträgern Stimme und Musik, sind Wortwahl und Geräusche die potentielleren Bildgeneratoren in einer rein auditiven Darbietung.

## 2.2 Auditive Immersion durch Wellenfeldsynthese

Die folgenden beziehen sich auf die Erzeugung auditiver Immersion mittels einer Wellenfeldsynthese-Anlage (WFS), wie sie in der Fakultät DM der Hochschule Furtwangen betrieben wird.<sup>3</sup>

---

3 Eine detaillierte Beschreibung ist im Arbeitspapier Nr. 4 „Körper, Raum, Interaktion“ zu finden.

### 2.3 Klangliche und raumklangliche Gestaltungsaspekte

Diese zwei Gestaltungsparameter - Klang und Raumklang - hängen maßgeblich miteinander zusammen und ihr Zusammenwirken ist für das natürlich-räumliche Hörerlebnis und der Entfernungsgestaltung der Klangquellen von ausschlaggebender Bedeutung. Unser Entfernungshören im Wesentlichen von zwei Eigenschaften ab: der frequenzmäßigen Zusammensetzung und der Lautstärke des Schallereignisses.

Für die künstliche Entfernungsgestaltung eines Schallereignisses gelten die selben Gesetzmäßigkeiten wie in der Natur. Entfernt sich ein Schallereignis zunehmend vom sweet spot, so nehmen Lautstärkepegel und hohe Frequenzanteile ab und der Raumklanganteil steigt parallel dazu an. Je weiter sich der Klang auf den sweet spot zubewegt, desto geringer wird der Diffusschall, und Lautstärke und hohe Frequenzanteile nehmen wiederum zu. Moderne Wellenfeldsysteme können über eine dynamische Raumklang-Rendering-Unit verfügen, mit deren Hilfe ein Raumklangverhalten auf den gesamten virtuellen Gestaltungsraum bezogen und berechnet wird. Da im Rahmen dieser Thesis solch eine Einheit nicht zur Verfügung stand, muss das Raumklangverhalten im Vorfeld, also diskret in die Klangquelle miteinbezogen werden, zu dem im folgenden Abschnitt näher eingegangen wird. Daher waren weiterführende Untersuchungen bezüglich eines genauen Verhalten einer Raumklang-Rendering-Unit von vornherein ausgeschlossen. Die Maßnahme der manuellen Raumklangimplementierung in ein Klangereignis hat in Testläufen zwei Schwierigkeiten für eine immersive Wahrnehmung hervorgebracht:

1. die räumlichen Reflektionen werden nicht auf den gesamten Gestaltungsraum berechnet, was den Raum bzw. den Raumklang mono und unnatürlich erklingen lässt.
2. Bei Klangquellenbewegungen bewegt sich der Hall mit der Quelle mit, was zu einem unnatürlichen Verhalten des Raumklanges führt. Ergo kann diesbezüglich auch kein realistischer Raumeindruck simuliert werden.

Ein relativ unpraktikabler und rein hypothetischer Lösungsansatz, diesem Defizit etwas entgegenzuwirken, wäre ein Splitting des Raumklanges in Raumklanganteil in der Schallquelle und den räumlichen Reflektionen *durch* die Schallquelle. Hierfür müsste man zunächst den entsprechenden Hall in die Klangquelle mischen. Die Reflektionen und der Nachhall bilden ihrerseits wiederum neue Klangquellen, die dann entsprechend im virtuellen Raum verteilt werden müssten, unter Berücksichtigung der entsprechenden interauralen Laufzeitunterschiede und der Dissipation. Überträgt man dies nun auf die momentanen Möglichkeiten der WFSAnlage der Hochschule, würde es praktisch bedeuten, dass eine sound source den Klang wiedergibt, und die restlichen sieben sound sources die Reflektionen und den Nachhall. Allerdings ist dieser Ansatz insofern ungenügend, dass die Reflektionen nur aus sieben von prinzipiell 359 möglichen Winkeln abstrahlen würden, was wiederum eher einem Dolby Digital 7.1-Surroundklang entspräche. Zudem würde dies einen ungeheuren Komplexitätsan-

stieg in der Produktion bedeuten, wenn man solch einen Ansatz auf eine Komposition mit mehreren bewegten sound sources übertragen wollte. Auf Grund dessen erscheint eine Raumklangimplementierung in die Klangquelle als die praktikabelste Lösung für diese Thesarbeit. Da nicht bekannt ist, inwiefern eine Raumklang-Rendering-Unit auch das Dissipationsverhalten in die Raumklang-Simulation miteinbezieht, muss es gegebenenfalls in der Vor-Produktion nachempfunden werden. Hierfür gibt es einen von der ISO<sup>4</sup> festgelegten Standard mit der Kennzeichnung 9613-1:1993<sup>5</sup>, mit dem die frequenzabhängige Schallabsorption durch Luft genau berechnet werden kann.

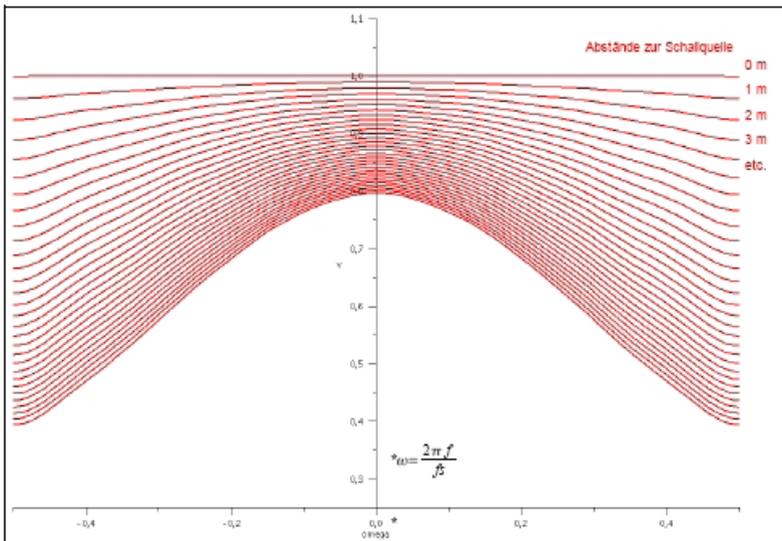


Abb. 6.1: Absorption von Schall durch die Atmosphäre gemäß ISO 9613-1:1993, bei einer Lufttemperatur von 20°C, einer Luftfeuchtigkeit von ca. 50-60% und einem Luftdruck von 101,325 kPa.

Zu sehen sind mehrere Frequenzgänge, die verschiedenen Abständen zur Schallquelle entsprechen. Auf der horizontalen Achse ist der Quotient aus Kreisfrequenz  $2\pi f$  und der Samplerate  $f_s$  aufgetragen. Die vertikale Achse gibt den zur jeweiligen Frequenz gehörigen Skalierungsfaktor an.

Um den manuellen Raumklang zumindest ansatzweise realisieren zu können, wurde die Musikproduktions-Software Cubase SX 3 der Firma Steinberg verwendet, die über eine einfache, aber sehr effiziente Automations-Funktion (sog. Read-Write-Feature) verfügt. Dieses Feature kann sowohl auf sämtliche Software-eigenen Steuerungselemente wie Equalizer oder Kanal-Fader, als auch auf externen PlugIns angewandt werden. Die Handhabung ist benutzerfreundlich und intuitiv: mit dem Betätigen des „Write-Buttons“ wird ein Aufzeichnungsmodus aktiviert, der das Verhalten aller Parameter des PlugIns aufzeichnet. In Kombination mit der simultanen Wiedergabe einer

4 International Organisation for Standardization.

5 Vgl. ISO.

Filmszene, lässt sich hiermit manuell das Klangverhalten bzw. das Raumklangverhalten einer Schallquelle relativ genau gestalten. Ist die Aufzeichnung abgeschlossen, wird durch das Betätigen des „Read-Buttons“ der Lesemodus eingeschaltet, das beim Abspielen der Klangspur die Parameterveränderungen parallel wiedergibt. In diesem Modus ist eine präzise Nachjustierung der zuvor manuell erzeugten Automationskurve an jeder Stelle möglich. Beim Herausrechnen der Ergebnisse (engl.: bouncing) muss der Read-Modus der jeweiligen Spur oder des jeweiligen PlugIns aktiviert sein, damit die Parameter-Änderungen in die Klangdatei miteinbezogen werden.



Zu sehen ist das Reverb-PlugIn ROOM WORKS. Im Header-Teil des PlugIn-GUI sind die grün und rot eingefärbten Read- und Write-Buttons, darunter die blau eingefärbte Automationskurve mit schwarzen Key-Points, die das PlugIn steuert.

## 2.4 Mixing und Mastering

Auf die Frage hin, was Audio-Mastering eigentlich ist, gibt der wohl bedeutendste Experte auf diesem Gebiet, Bob Katz, eine treffende Definition: „*Mastering is the last creative step in the audio production process, the bridge between mixing and replication (distribution). It’s the last opportunity to enhance sound or repair problems within an acoustically -designed room- under an audio microscope [...]. Sometimes all we do is – nothing, [...] or add the final touch that makes a record sound finished and playable on a wide variety of systems*“.<sup>6</sup>

Im professionellen Audibereich wird das Mixing vom Mastering strikt getrennt. Stark vereinfacht ausgedrückt werden beim Mixing die Lautstärkeverhältnisse der einzelnen Elemente beispielsweise bei einem Song zueinander ausgelotet. Beim Mastering hingegen wird durch eine individuelle und prägnante Klangfärbung der Song, also die Summe der einzelnen Elemente, zu einer stimmigen Einheit verschmolzen. Hinzu kommt, dass im Normalfall nicht nur ein Song gemastert wird, sondern ein komplettes Album, das nicht nur klanglich, sondern auch lautheitsmäßig angepasst werden muss.

Auf die Wellenfeldsynthese bezogen bedeutet das nicht, dass man den Klang so be-

<sup>6</sup> Vgl. Katz, 2007, S.12.

arbeiten muss, dass er auf einer Vielzahl von Systemen gleich gut klingt, so wie bei einer professionellen CD-Produktion. Vielmehr sollte man hierbei ein besonderes Augenmerk auf den bereits angesprochenen Dynamikumfang des Klanges haben - für WFS-Klang, der mit einer Filmprojektion verknüpft ist, muss dieser ein grundlegend anderer sein, als beispielsweise für ein konventionelles Popmusikstück.

Hierzu ein kleiner Exkurs in die jüngste Mastering-Evolution:

Betrachtet man die Entwicklungen im Bereich des popularmusikalischen Masterings vom analogen Zeitalter der z.B. 1970er Jahre bis hin zur heutigen digitalen Klangerzeugung, und vergleicht man ebensolche Musikproduktionen, stellt man fest, dass der Dynamikumfang stetig abnahm, jedoch die Gesamtlautheit der Musik gleichzeitig immer weiter anstieg. Diese Entwicklung hat zu einer zunehmenden „Plättung“ des Sounds geführt und die natürliche Dynamik des Klanges reduziert.

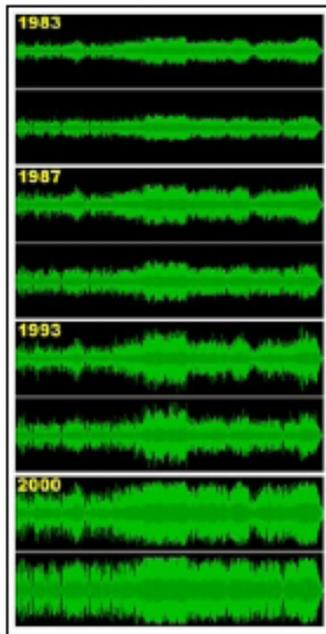


Abb. 8.3: „Something“ von den veröffentlicht wurden /ersionen, die in diesen Jahren veröffentlicht wurden

Während in den Aufnahmen der 1980er beispielsweise die Snaredrum eines Schlagzeuges je nach Anschlagstärke stellenweise lauter oder leiser sein konnte, wird heutzutage diese Dynamik mittels starkem Limiting aufgehoben und die unterschiedlich lauten Anschläge auf einen Pegel gebracht, der nicht selten bis in grenzwertige Bereiche hochgesetzt wird. Die Motivation dieses Lautheitsanstieges, in der Fachwelt

auch als *Loudness War* oder *Loudness Race* bezeichnet, war ein musikindustrieller, fast schon ein „marktschreierischer“ Konkurrenzkampf unter Radiosendern und Musikproduzenten, wo es darum ging der Lauteste zu sein, um so einen einzigartigen „Klangstempel“ zu erzeugen<sup>7</sup>. Wie die amerikanischen Wissenschaftler *Harvey Fletcher* und *W. A. Munson* bereits in den 1930er-Jahren entdeckten, werden tiefe und hohe Frequenzen subjektiv intensiver wahrgenommen, wenn ein Klangsignal lauter wird. Dadurch wird das Schallereignis von den meisten Menschen als besser klingend empfunden<sup>8</sup>.

Aus dieser u.a. auch Marketing-getriebenen Entwicklung lässt sich eines sehr deutlich herauslesen: eine sich weitläufig etablierte Erwartungshaltung an den Klang. Im Laufe der Jahrzehnte hat sich das Durchschnitts-Ohr weitestgehend von einer dynamikreichen Klangwiedergabe quasi entwöhnt und an eine hohe Grundlautheit angepasst. Natürlich gibt es auch zahlreiche Ausnahmen, bei denen hohe Dynamik von elementarem Wert ist, wie z.B. Weltmusik, klassische Musik oder Filmklang. Doch analysiert man die am meisten genutzten auditiven Massenmedien, nämlich Rundfunk, Tonträger und im weitesten Sinne auch das Fernsehen, so stellt man fest, dass besonders diese Medien dazu geneigt sind, eine sehr dynamikarme Einheits-Lautheit zu erzeugen<sup>9</sup>. Das hat nicht unbedingt mit einer Oktroyierung eines bestimmten Klangbildes zu tun. Viel mehr ist es damit verbunden, dass man den Hörer nicht mit unterschiedlich lauten Musikstücken permanent irritieren möchte, sodass er gezwungen wäre, die Lautstärke seines Empfangsgerätes ständig nachregeln zu müssen und infolgedessen irgendwann entnervt abschalten oder den Sender wechseln würde.

Doch was bedeutet das nun konkret für die Gestaltung von Wellenfeldsynthese-Klang?

Gerade diese Rezeptionsgewohnheit sollte beim Mixing und ggf. auch beim Mastering von WFS-Klang berücksichtigt werden. Insbesondere mit der Dynamikgestaltung sollte mit Bedacht umgegangen werden. Beispielsweise wäre es überaus unangenehm, wenn nach einem relativ leisen und weit entfernten Klangereignis mit ca.  $-50 \text{ dB}_{\text{SPL}}$  eine plötzliche Explosion mit  $+50 \text{ dB}_{\text{SPL}}$  oder gar mehr folgen würde. An sich könnte dies durchaus einem natürlichen Schallverhalten nahe liegen und eine immersive Wahrnehmung verstärken, jedoch den Nerven und besonders den empfindlichen Ohren der Hörer zuliebe sollte sich so etwas in einem moderaten Rahmen abspielen. Andererseits ist es selbstverständlich auch nicht besonders sinnvoll, wenn entfernte Schallquellen mit hohem Raumklanganteil gleich laut wahrgenommen werden wie nahe Schallquellen mit geringem Raumklanganteil. Dieser Teil der gestalterisch-technischen Umsetzung erfordert ein gewisses Maß an Feingefühl und Einschätzungsvermögen.

## 2.5 Wellenfeldsynthetische Immersionsaspekte und deren

<sup>7</sup> Vgl. Katz, 2007, S.288.

<sup>8</sup> Vgl. Howard/Angus, 2006, S.83f.

<sup>9</sup> Vgl. Katz, 2007, S.289f.

## Mehrwerte

Die erörterten Möglichkeiten wie man das Kopfkino gestalten kann, lassen sich insbesondere im Wellenfeldsynthese-Format kombinieren. Welche Aspekte es dabei zu beachten gibt und welche Auswirkungen diese auf die Dramaturgie und die Immersion haben können, soll nun im Folgenden näher untersucht werden.

Im Vergleich zum Stereo-Ton-Format liegt ein wesentlicher immersiver Wahrnehmungsmehrwert darin, dass sich der WFS-Klangraum in fast jede horizontale Richtungen erstreckt. Dieser besonders vorteilhafte Aspekt einer eingeschränkten<sup>10</sup> Darstellungsmöglichkeit hinter der Ohrachse (90° bzw. -90°) ermöglicht eine immersivere räumliche Aufteilung, die den Hörer *in* den Raum integrieren und ihn, dramaturgisch betrachtet, stärker in bestimmte Perspektiven oder Rollen versetzen kann - der Hörer ist nicht mehr nur am Geschehen, sondern kann sich fortan „physisch“ mitten im Geschehen befinden. Interessant wäre hierzu auch der Aspekt, dass der Hörer selbst bestimmen könnte, aus welcher Perspektive oder Rolle er die Szene wahrnehmen möchte, beispielsweise durch das Bestimmen, wie weit entfernt er sich von der Szene befinden möchte, und das ggf. sogar in Echtzeit steuerbar.

Die Technik der virtuellen Schallquellen ermöglicht eine tatsächliche Tiefenstaffelungswahrnehmung durch die planaren und fokussierten Wellenfronten, die in dieser Form weder bei Stereo noch bei Dolby Digital möglich sind. Vom Ansatz her ähnlich wäre in der Stereophonie zwar das Verfahren der Phantomschallquellen, die eine Lokalisation jenseits der realen Schallquellen (Lautsprecher) andeutungsweise vorsieht, jedoch ist hierbei eine tatsächliche Wahrnehmung der Tiefenstaffelung wie bei WFS aufgrund der Eindimensionalität der Stereophonie definitiv ausschließbar. Bei Dolby-Digital kann man lediglich auch nur den Faktor der räumlichen Aufstellung als Immersionsaspekt anführen, denn diese Technologie basiert in ihren Grundzügen auf der Stereophonie und schließt somit gleichermaßen eine tatsächliche Tiefenstaffelung aus<sup>11</sup>.

Die wellenfeldsynthetische Tiefenwahrnehmung wird durch den Raumklang in zwei Punkten noch ergänzt. Einerseits wird dem Hörer durch die Raumklanginformation der subjektive Abstand zur Schallquelle verdeutlicht, andererseits vermittelt es den Größeneindruck des gesamten Raumes, der seinerseits neben der räumlichen Identifizierung und Orientierung auch eines emotionalen Atmosphärenaufbaus sehr dienlich sein kann.

---

10 Eine Erstreckung in jede horizontale Richtung ist deshalb nicht möglich, weil die WFS-Anlage der Hochschule keine geschlossene Aufstellung besitzt.

11 Vgl. Birkner, 2002, S.43.

Doch einer der wohl bedeutendsten Aspekte für eine immersive Wirkung von WFS-Klang ist die Bewegung von Schallquellen. Um diese Wirkung allerdings adäquat erzeugen zu können, muss bei der „Bewegungsprogrammierung“ einer reinen auditiven Szenerie ein fundamentaler Faktor berücksichtigt werden: Dem Hörer muss genau bewusst sein, in welcher Perspektive er sich zum Zeitpunkt der Schallquellenbewegung befindet. Im Grunde gibt es lediglich zwei Perspektiven: die Innen- oder Ich-Perspektive (engl.: point of view) und die Außenperspektive<sup>12</sup>. Für eine Klangbewegung ist zunächst genau zu klären, wer oder was sich bewegen muss - ob der Hörer, also die gesamte Szene, oder nur ein Objekt. Daraufhin muss für den Hörer eine logische Referenz sozusagen als Ankerpunkt festgelegt werden, an der er sich orientieren kann<sup>13</sup>. Um es ein wenig anschaulicher zu gestalten, sei nun folgendes vereinfachtes Gedanken-Beispiel angebracht, das in einem dramaturgischen Ablauf beide Situationen enthält.

Zu hören ist eine Wald-Athmo, die aus allen Panels erklingt. Ein helles Vogelzwitschern bewegt sich von hinten-rechts nach vorne-links, und deutlich von vorne-links zu hören ist ein plätschernder Bachstrom. Es soll nun eine Kopfbewegung des Hörers erfolgen, der in diesem Wald nach etwas Bestimmtem sucht. Auf erzählerischer Weise wurde dem Hörer bereits zuvor vermittelt, dass er sich in der Ich-Perspektive eines Jägers befindet. Der Bach stellt nun den logischen Bewegungsanker dar, da man weiß dass sich der Bach per se nicht bewegen kann. Es ist für den Hörer eine logische und nachvollziehbare Schlussfolgerung, dass eine Bewegung des Baches von links nach rechts eine Kopfbewegung bedeuten muss. Der Bach befindet sich nun vorne rechts. Plötzlich kommt aus der Tiefe des Waldes ein knurrender und Zähne fletschender Wolf auf den Jäger zugerannt, der beim Versuch auf den Jäger zu springen angeschossen wird und aufheulend wieder in der Tiefe des Waldes verschwindet. Da der Wolf aus der Richtung kommt, in die der Jäger gerade schaut, wäre hier die logische Bewegungsreferenz der Wolf, da der Jäger sich in diesem Fall praktisch nicht bewegt.

Ein bedeutsamer technischer Aspekt, der die Schallquellenbewegung immersiver als bei Dolby Digital wirken lässt, ist neben der Bündigkeit der Lautsprecher auch deren Anzahl. Durch eine höhere Schallwandler-Anzahl nicht nur Gestaltungs- und Klangraum vergrößert, sondern gleichzeitig noch eine feinere Bewegungsauflösung der prinzipiellen 359°-Bewegungsfreiheit ermöglicht, was allgemein zu einer flüssigeren und natürlicheren Bewegung führt. In Zeiten von frequenzbeschränkten Laptop-Boxen und komprimiertem „Youtube-Sound“, ist zudem noch die Klangqualität der Panels als ein äußerst wichtiges Immersionskriterium anzubringen. Je hochwertiger die frequenzmäßige Auflösung (Frequenzgang) der Lautsprecher, desto mehr feinere Klangnuancen werden wiedergegeben und desto realer bzw. natürlicher ist die Klangquelle letztendlich<sup>14</sup>. Natürlich steht die Wahrnehmbarkeit feiner Nuancen in Abhängigkeit zur physischen Verfassung des Gehörs.

12 Vgl. Stanzel, 2001, S.128.

13 Hierfür gibt es von einem weiteren Spin-Off-Unternehmen des Fraunhofer-Instituts Ensonido bereits ein Echtzeit- Kopf-Trackingsystem namens „Headtracker“, vgl. ENSONIDO.

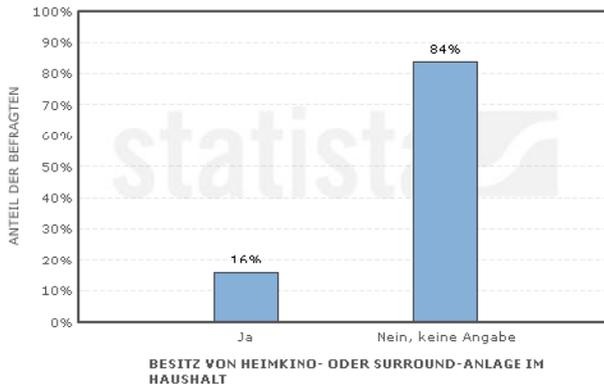
14 Eine entsprechend hochwertige Aufnahme ist in diesem Fall eine Grundvoraussetzung.

## 2.6 Mögliche Schwierigkeiten der immersiven Wahrnehmung

Zu Beginn dieses Unterpunktes muss erwähnt werden, dass aus zeitlichen Gründen keine fundierte empirische Forschung stattfinden konnte. Die folgenden Behauptungen und Annahmen beruhen hauptsächlich auf subjektiven Erfahrungen und auf hypothetischen Schlussfolgerungen.

Betrachtet man nun die Hörgewohnheiten einer möglichen WFS-Rezipientengruppe zwischen 15 und 50 Jahren, so stellt man fest, dass die Qualitätsansprüche bei jüngeren Rezipienten tendenziell zu sinken scheinen. Während die ältere Generation mit dem analogen Klang von Schallplatten groß geworden sind und mehr Wert auf einen ordentlichen HiFi-Sound-Genuss leg(t)en, scheinen sich die nachfolgenden Generationen zunehmend an den Klang günstiger und kleiner (PC-)Boxen, und an mit Klangverlusten behafteten MP3-Dateien zu gewöhnen. Jedoch der eigentliche Bezugspunkt hierbei ist nicht die Klangqualität, sondern zunächst einmal die Form der Beschallung.

### ■ Besitzen Sie eine Heimkino- oder Surround-Anlage in Ihrem Haushalt?



Deutschland; 14.64 Jahre; Institut für Demoskopie Allensbach

© Statista.org 2008  
Quelle: IfD Allensbach

Abb. 8.4: Web-Befragung zum Besitz von Surround-Anlagen

Angesichts stetig fallender Kaufpreise, scheint die Akzeptanz und Nutzung von Surround-Systemen zwar zuzunehmen, jedoch im Vergleich zu beispielsweise rund 7,5 Millionen verkauften MP3-Playern allein in Deutschland im Jahr 2005<sup>15</sup>, kann von einer alltäglichen Nutzungsgewohnheit von Mehrkanalton-Systemen noch nicht allgemein die Rede sein.

<sup>15</sup> Vgl. Digitale Unterhaltung.

Daher wäre es sicherlich ein falscher Ansatz, bei dieser Analyse von einem verallgemeinerten Grundmaß an Surround-bezogener Hörraffinität auszugehen. Aus diesem Grund soll im Folgenden eine Unterteilung in zwei Lager vorgenommen werden: auf der einen Seite die noch deutliche Mehrheit eher unaffiner Rezipienten, die Surround-Sound überwiegend aus großen Kinosälen kennen und größtenteils Mono- und Stereoklang im Alltag gewöhnt sind. Auf der anderen Seite die wachsende Minderheit der affineren Surroundsystem-Besitzer, bei denen eine gewisse Hör-Regelmäßigkeit anzunehmen, und daher eher auch ein gewisses Maß an Erfahrung vorauszusetzen ist. An dieser Stelle sei auch *das Auto* als mögliches Surround-Umfeld ausgeklammert, u.a. weil man den Klang in der Regel nicht aus einer mit einer Heimanlage oder der WFS-Anlage vergleichbaren sweet-spot-Position wahrnimmt.

Das unaffinere Lager könnte insofern Schwierigkeiten mit der artifiziellen räumlichen Wahrnehmung bekommen, als dass ihre Hörgewohnheiten zwecks Lautsprecher- (und Kopfhörer-) Wiedergabe zunächst einmal auf eine eindimensionierte Frontalbeschallung ausgerichtet sind. Das Stereopanorama befindet sich in der Regel ausschließlich vor (bzw. auf) der Ohrachse und man ist praktisch daran gewöhnt zu „sehen“ was man hört; auch weil der Klang bei einer Hifi-Wiedergabe oft direkt ins Gesichtsfeld abgestrahlt wird. Vor allen Dingen ist es hierbei ausgeschlossen, dass Klang aus den Richtungen hinter der Ohrachse kommen kann, was zu einer erfahrungsbedingten Erwartungshaltung einer eindimensionierten Abstrahlrichtung der Schallquelle(n) führt; trivial ausgedrückt: die Stereoanlage spielt immer aus der gleichen Richtung und verändert ihre Position nicht.

Wenn nun in Anbetracht dieser Erwartungshaltung und diesem Erfahrungshintergrund eine Schallquelle hinter der Ohrachse ertönt und zudem auch noch in Bewegung versetzt wird, kann es dazu führen, dass ohne eine gewisse Vorerfahrung die Intention des Wellenfeldeffektes verloren geht. Aus subjektiver Erfahrung kann hierzu gesagt werden: wenn man nicht weiß, wie man den WFS-Klang zu erwarten hat, wird der Effekt als solcher nicht sofort wahrgenommen.

Eine mögliche Erklärung hierzu wäre: während das Wellenfeldsystem bereits eine Quelle abspielt, ist das Gehirn noch mit dem Prozess zu Gange, seine Erwartungshaltung neu auszurichten und seinen Wahrnehmungsbereich hinter der Ohrachse zu erweitern, statt sich auf die räumliche Lokalisation zu fokussieren. Das führt letztendlich auch dazu, dass es zu Schwierigkeiten der inhaltlichen bzw. dramaturgischen Rezeption kommen kann. Daher sollte bei einer Komposition zuerst eine möglichst simple Sensibilisierungsphase berücksichtigt und ggf. miteinbezogen werden, wenn diese auf ein unaffines Publikum ausgelegt werden soll.

Die Gruppe der Surroundsystem-Besitzer könnte hierbei zunächst weniger Schwierigkeiten mit dem Wellenfeldsynthese-Effekt haben, da ihre Wahrnehmungsgewohnheiten an eine räumliche Klangwiedergabe stärker adaptiert sind. Doch während im

ersten Lager die allgemeine räumliche Lokalisation und die Verfolgung räumlicher Klangbewegungen eine mögliche Hürde darstellt, könnte sich bei dieser Rezipientengruppe die Lokalisationsschärfe bzw. die Entfernungswahrnehmung als besondere Schwierigkeit erweisen. Da es bei Dolby Digital keine planaren oder fokussierten Schallquellenabbildungen gibt, könnte eine klare Unterscheidung zwischen „*source on spot*“ und „*source off spot*“ (also Klangquelle am oder auf dem *sweet spot* und Klangquelle nicht am *sweet spot* problematisch werden. Hierfür ist es generell von Vorteil, wenn man als Hörer, unabhängig ob erfahren oder nicht, neben den Bewegungsreferenzen auch noch Tiefenreferenzen zur deutlicheren Orientierung zur Verfügung hat.

### 3 Erzeugung auditiver Immersion in Kombination mit stereoskopischem Film

In der Kombination mit dem Medium Film werden nun einige im vorigen Abschnitt vorgestellten Komponenten des Kopf-Kinos, die bisher von elementarer Wichtigkeit für eine ausschließlich auditive Erzählung waren, ersetzt durch visuelle Komponenten. Zum einen fällt dem Erzähler nur noch eine untergeordnete Rolle zu, wenn er überhaupt noch als solcher gebraucht wird, d. h. die metaphorische Be- und Umschreibung der Abläufe und der Dinge, die im Hörspiel bislang erforderlich war, wird nun hauptsächlich durch Bewegtbilder ersetzt. Beispielsweise beim Prolog des Kurzfilm *Die Rolle seines Lebens*, bei dem der Protagonist zu Beginn als Erzähler aus dem Off agiert, hat dieses Vorgehen zwei sehr praktikable Vorzüge:

- Es kann unter Umständen ein höherer Produktionsaufwand und eine länger Erzähldauer kompensiert werden, ohne dass es zu dramaturgischen Defiziten kommt,
- Man kann man damit dem Rezipienten komplexe und vielschichtige emotionale Relationen und Zusammenhänge in relativ knapper und verständlicher Form vermitteln.

Zum anderen dienen Geräusche und Sound Effekte nicht mehr einzig nur dazu, Klangeignisse für eine Immersionssteigerung plastischer (und ohne Worte) kommunizieren zu können, sondern sind unabdingbar für eine realistischere Illusion geworden.

#### 3.1 Film ohne Audio? Udenkbar!

Es ist jedoch nicht unbedingt nur der Aspekt, dass für einen Dialog hörbare Stimmen zwingend erforderlich sind, noch dass während einem Autounfall hörbare Distruction-Geräusche erfolgen müssen. Man stelle sich beispielsweise vor, ein Mörder stünde mit Messer in der Hand und zum Todesstoß ausholend hinter seinem ahnungslosen Opfer,

ohne die gänsehauterregenden hohen Geigen, die die Spannung dieser Situation zum Bersten bringen. Oder das Paar, das ihr Liebesglück gefunden hat und sich zum Höhepunkt des Filmendes innig küsst, ohne die sanften Orchestermelodien, die den Zuschauer in Tränen zerfließen lassen. Daher bleiben die potentiellsten Emotionsträger auch beim Film im Grunde die selben wie beim Hörspiel:

die Dialog-Stimme wird hierbei zwar durch die körperliche Gestalt, Mimik, Gestik oder Physiognomie des Akteurs erweitert, jedoch der Stellenwert und die fundamentale Wichtigkeit von Geräuschen und der entsprechenden Filmmusik bleiben weiterhin in mindestens gleicher Form bestehen.

### 3.2 Wellenfeldsynthetische Immersionsaspekte im stereoskopischen Filmeinsatz und deren Mehrwerte

Auch in der filmischen Begleitung sind die wellenfeldsynthetischen Immersionsaspekte sehr analog zu denen des Hörspiels. Daher wird im Folgenden nur auf die Punkte eingegangen, die explizite stereoskopiebezogene Mehrwerte aufweisen. Ein besonderer Vorzug hierbei ist, dass der Rezipient sich nun nicht mehr in einer ausschließlich imaginären Welt befindet, was wiederum stärker seiner Alltagswahrnehmung, seinen filmischen Konsumerwartungen und seinem Erfahrungshintergrund entspricht<sup>16</sup>. Dies begünstigt wellenfeldsynthetische Effekte insofern, dass die auditive Ebene durch die visuelle „Vorgabe“ in vielen Gesichtspunkten grundsätzlich leichter nachvollzogen werden kann.

Bei stereoskopischen Filmprojektionen, in denen sogenannte *depth cues* die räumliche Wahrnehmung auf visueller Ebene verstärken, wäre sogar ein allgemeingültiger höherer WFS-Immersiongrad absehbarer als bei einer monoskopischen Projektion<sup>17</sup>. Abgesehen vom Raumklang, der bei beiden Varianten aller Wahrscheinlichkeit nach keine großen Mehrwertsunterschiede erzielen würde<sup>18</sup>, können hingegen die Klangquellenpositionierung und die synchrone zweidimensionale Klangquellenbewegung zum „dreidimensionalen“ Objekt durchaus einen höheren immersiven Mehrwert generieren. Durch das Vorhandensein einer stereoskopischen Bildtiefe, lässt sich zudem der subjektive Abstand eines Objektes durch Lautstärkendynamik und ggf. Dissipations-Effekten noch stärker zu Gunsten einer immersiveren Tiefenwahrnehmung erzeugen.

### 3.3 Mögliche Schwierigkeiten der immersiven Wahrnehmung

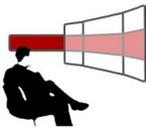
16 Vgl. Kinder/Wieck, 2001, S. 16.

17 Hierbei sollte der Rezipient bereits über eine gewisse Affinität mit stereoskopischen Projektionen verfügen.

18 Hinreichende Untersuchungen bezüglich der raumklanglichen Wirkung bei mono- und stereoskopischem Film waren aus zeitlichen Gründen nicht möglich. Daher beruht diese Annahme auf rein subjektiver Vermutung.

In diesem Falle hängt eine immersive wellenfeldsynthetische Wahrnehmung besonders stark mit der Wahrnehmungskompetenz bezüglich des stereoskopischen Effektes zusammen. Ist der Rezipient nicht in der Lage, den visuellen Stereo-Effekt adäquat zu sehen, so könnte der WFS-Effekt gleichermaßen seine Wirkung verlieren, da der Rezipient seinen Wahrnehmungsfokus stärker auf das Visuelle ausrichtet. Andererseits lässt es sich auch nicht ausschließen, dass gerade mit Hilfe des WFS-Sounds der stereoskopische Effekt besser gesichtet werden kann<sup>19</sup>. Allerdings sollte auch hierzu für den Rezipienten eine audiovisuelle Eingewöhnungsphase berücksichtigt werden um ein mögliches Scheitern der Effekte zu verringern.

Jedoch das größte Hindernis für die immersive Wahrnehmung des Beweis-Kurzfilms „Die Rolle seines Lebens“ liegt im Aufbau des Wiedergabe-Setups des Media Synthesis-Labors. Die Front-Panels der Wellenfeldsynthese-Anlage sind unterhalb einer 4:1 - Panorama-Rückprojektionsleinwand<sup>20</sup> festmontiert. Dies hat signifikante Konsequenzen für die Immersion des Filmes.



a) Stereo bzw. Surround-Aufstellung

b) Aufstellung der Wellenfeld-Anlage im MediaSynthesis-Labor

c) Idee: In die Leinwand integrierte Front-Panels der WFS-Anlage. Bei allen Bildern sitzt der Rezipient im Sweet Spot,

Während sich beim Fernsehapparat oder bei einem Dolby-Digital-Setup Bild und Ton

19 Analog zu den visuellen depth cues, könnte man hier von (wellenfeldsynthetischen) akustischen depth cues sprechen. Für weiterführende Informationen bezüglich der visuellen depth cues, sei an Eric Schumachers Thesis verwiesen.

20 Vgl. Hochschule Furtwangen.

auf gleicher Höhe befinden (Abb. 4-2, a) ), nämlich auf der Augen- und Ohrachse, besitzen Klang und Bild im Labor-Setup ein technisch bedingtes ungleiches Achsenverhältnis. Im Gegensatz zu den konventionellen Wiedergabesystemen wird hier Bild und Ton nicht aus der selben Richtung wahrgenommen. Wie in Abbildung 4-2 b) zu sehen ist, befindet sich die WFS-Panels zwar auf korrekter Ohrhöhe, jedoch das projizierte Bild nicht auf entsprechender Augenhöhe. Dies hat zur Folge, dass der Rezipient den Klang unterhalb des Bildes wahrnimmt, was eine natürliche bzw. gewohnte (filmische) Wahrnehmungsgewohnheit nicht gewährleistet. Somit schafft diese Konstellation zwangsläufig nur einen suboptimalen immersiven Wahrnehmungsmehrwert.

Platziert man den Zuschauer nun weiter entfernt von der Leinwand, verringert dies zwar die Achsendiskrepanz zwischen Bild und Ton<sup>21</sup>, schadet es jedoch gleichzeitig dem Wellenfeld-Effekt. Je weiter man sich vom sweet spot entfernt und je mehr man aus dem virtuellen Gestaltungsraum bzw. Klangraum der WFS-Anlage tritt, desto stärker wird man frontal beschallt.

Ein zunächst offensichtlich geeigneter Lösungsansatz wäre die Entkoppelung der Front-Panels von der Triptychon-Leinwand, sodass eine autarke Platzierung der WFS-Anlage ermöglicht werden würde und die Projektionsfläche auf eine abgestimmte Höhe gebracht werden könnte. Jedoch ergeben sich auch hierbei Optimierungsschwierigkeiten technischer Art. Senkt man die Leinwand auf Augenhöhe ab, behindern die Front-Panels der Wellenfeld-Anlage die Sicht. Setzt man den Triptychon-Screen jedoch in den vorderen Bereich des Klangraumes, sodass es vor den Panels steht, so behindert es wiederum die Klangabstrahlung. Ergo absorbiert und verfälscht es den Klang und den Wellenfeldsynthese-Effekt.

Der (rein theoretisch) effizienteste, aber technisch sehr aufwändige Lösungsansatz wäre eine quasi unsichtbare Integrierung der Panels in die Leinwand (Abb. 4-2 c) ), sodass der Klang direkt und unverfälscht aus der Leinwand abstrahlt. Allerdings wäre bei dieser Lösung eine Rückprojektion wohl eher von Nachteil, da es sich als unrealistisch erweisen würde, die Panels lichtdurchlässig zu bauen. Durchaus realistischer wäre jedoch eine farbliche Angleichung der Panels an die Leinwand. Daher wäre hierfür die Rückprojektion durch eine Frontprojektion zu ersetzen.

---

21 Selbstversuche zusammen mit Herrn Schumacher haben gezeigt, dass mit zunehmender Entfernung die Wahrnehmung von Ghosting-Effekten, also die Divergenz zwischen linkem und rechtem Bild, abnimmt, für weiterführende Informationen sei auf die Thesis von Eric Schumacher verwiesen.





## Autor

Antonio Lopes



Geb. 1980, 2004-2008 Bachelor of Science - Studium ‚Online Medien‘ und ‚Digital Media Production‘ an der HS Furtwangen und der Auckland University of Technology, New Zealand. Thesis-Thema: „Analyse der Gestaltungsmöglichkeiten von Audio-Wellenfeldsynthese in Kombination mit stereoskopischem unkomprimiertem HD-Videofilm auf Immersionsbasis.“

Seit 2008 bis voraussichtlich März 2010 Master of Science-Studium ‚Computer Science in Media‘ an der HS Furtwangen.

Seit 2007 Geschäftsführer des Sound- und Medien-Unternehmens „LAB SIX“ zusammen mit Dipl.-Inform. Med. Gernot Wurst.



## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 8.1: Absorption von Schall durch die Atmosphäre  
LAB SIX
- Abb. 8.2: Screenshot von Steinberg Cubase SX 3 [...]  
Illustration: Antonio Lopes
- Abb. 8.3: „Something“ von den Beatles [...]  
[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- Abb. 8.4: Web-Befragung zum Besitz von Surround-Anlagen  
[www.statista.org](http://www.statista.org)
- Abb. 8.5: Aufstellungen  
Illustration: Antonio Lopes



## Literaturverzeichnis

- Birkner, C.: Surround, Press Project Verlags GmbH, Bergkirchen 2002
- Dickreiter, M.: Mikrofonaufnahmetechnik, Hirzel Verlag, Stuttgart 2003, 3. Auflage
- Eargle, J. / Foreman, C.: Audio Engineering for sound reinforcement – first edition, Hal Leonard Corporation, 2002
- Görne, T.: Mikrofone in Theorie und Praxis, Elektor-Verlag, Aachen 2007, 8. Auflage
- Görne, T.: Tontechnik, Fachbuchverlag Leipzig, 2006
- Haug, H.: Statistische Physik, Zweite Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2006
- Henle, H.: Das Tonstudio Handbuch, GC Carstensen Verlag München, 1998, 4. Auflage
- Howard, D. / Angus, J.: Acoustics and Psychoacoustics, Third Edition, Focal Press, 2006
- Katz, R.: Mastering Audio – the art and the science, Second Edition, Focal Press, 2007
- Kinder, R./ Wieck, T.: Zum Schreien komisch, zum Heulen schön – Die Macht des Filmgenres, Erste Auflage, Bastei-Lübbe Verlag, 2001
- Kuttruff, H.: Akustik – Eine Einführung, Hirzel Verlag, Stuttgart, 2004
- Rinnert, A.: Heinrich von Kleist – Michael Koolhaas – Interpretationshilfe Deutsch, STARK Verlag, 2005
- Römer, C.: Schall und Raum – eine kleine Einführung in die Welt der Akustik, vde-Verlag GmbH Berlin, Offenbach, 1994
- Schumacher, E.: Analyse der Gestaltungsmöglichkeiten von stereoskopischem unkomprimiertem HD-Videofilm in Kombination mit Audio-Wellenfeldsynthese auf Immersionsbasis, Fakultät Digitale Medien, Hochschule Furtwangen, SS 2008
- Sexl, R./ Raab, I./ Streuerwitz, E.: Der Weg der modernen Physik (Band 2), Verlag Sauerländer, CH- Aarau, 1996, 3. überarbeitete Auflage
- Stanzel, F.: Theorie des Erzählens - Siebte Auflage, Vandenhoeck & Ruprecht, 2001,
- Dolby (2008): Interview with Mixers François Groult and Bruno Trarière of The Messenger: The Joan of Arc Story - [http://www.dolby.com/consumer/motion\\_picture/interviews\\_4.html](http://www.dolby.com/consumer/motion_picture/interviews_4.html) ; Zugriff: 21.08.2008 [DVD]
- Digital Domain (2008): Articles and Demos by Bob Katz <http://www.digido.com/bob-katz/> ; Zugriff: 23.07.2008, [DVD]
- ENSONIDO (2008): <http://www.iis.fraunhofer.de/bf/amm/projects/spatial/enso/tech.jsp> ; Zugriff: 01.08.2008 [DVD]
- Feldbinder, R. (2008): Kirchhoff-Helmholtz-Integral <http://wfs.topicbase.net/040612005751/040613030905> ; Zugriff: 22.06.2008, [DVD]
- Hochschule Furtwangen (2008): Das Media-Synthesis-Lab der Hochschule Furtwangen <http://webuser.fh-furtwangen.de/~fetzner/spacestudies/index.php?n=Main.MediaSynthesisLab> ; Zugriff: 20.06.2008, [DVD]
- IOSONO (2008): <http://www.iosono-sound.com>; Zugriff: 29.06.2008, [DVD] Ircam Centre Pompidou (2008): Wave Field Synthesis : A brief overview [http://recherche.ircam.fr/equipements/salles/WFS\\_WEBSITE/Index\\_wfs\\_site.htm](http://recherche.ircam.fr/equipements/salles/WFS_WEBSITE/Index_wfs_site.htm) ; Zugriff: 22.06.2008, [DVD]
- ISO (2008): Acoustics -- Attenuation of sound during propagation outdoors -- Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere [http://www.iso.org/iso/iso\\_catalogue/catalogue\\_detail.htm?csnumber=17426](http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_detail.htm?csnumber=17426) ; Zugriff: 26.07.2008, [DVD]
- Oellers, H.(2008): Wellenfeldsynthese <http://www.syntheticwave.de/Wellenfeldsynthese%20im%20Heimkino.htm>; Zugriff: 29.06.2008, [DVD]
- Statista.org (2008): Statistik zum Besitz von Surround-Systemen im Heimgebrauch <http://de.statista.org/statistik/diagramm/studie/21860/umfrage/besitz-von-heimkino-odersurround-anlage-im-haushalt/> ; Zugriff: 01.08.2008, [DVD]

- Universität Lüneburg (2008): Die AD/DA-Umsetzung <http://audio.uni-lueneburg.de/seminarwebseiten/audiobearbeitung/site3.php> ; Zugriff: 23.07.2008, [DVD]
- Wapedia.mobi (2008): Immersion (Physik) [http://wapedia.mobi/de/Immersion\\_\(Physik\)](http://wapedia.mobi/de/Immersion_(Physik)) ; Zugriff: 03.07.2008, 22.08.2008 [DVD]
- WDR (2008): WDR-Interview mit Toningenieur Hans Schlosser <http://www.wdr.de/themen/kultur/3/wellenfeldsynthese/index.jhtml> ; Zugriff: 22.08.2008 [DVD]
- Wikipedia.org (2008): (GNU License | User: Aquegg), Loudness War [http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Cd\\_loudness\\_trend-something.gif](http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Cd_loudness_trend-something.gif); Zugriff: 20.07.2008, [DVD]
- Wright, M. (2008): Open Sound Control Specification <http://archive.cnmat.berkeley.edu/OpenSoundControl/OSC-spec.html>; Zugriff 08.07.2008, [DVD]
- (PDF) Digitale Unterhaltung: Online-Publikation, Fraunhofer Institut, 2006, Dateiname: magazin2-2006\_tcm5-60904.pdf, [DVD]
- (PDF) Sonic Emotion AG: M3S NET Documentation, 2007, Dateiname: M3S-Dokumentation - sonic emotion ag.pdf, [DVD]
- (PDF) Wellenfeldsynthese - Das Audiowiedergabesystem der Zukunft: Online-Publikation, Fraunhofer Institut, 2008, Dateiname: Fraunhofer\_WFS\_dt\_tcm97-67521.pdf, [DVD]
- LAB SIX (2008): Auszug interne Entwicklungsdokumentation „Virtual Space“, LAB SIX GbR Persönliche Überreichung durch Herrn Dipl.-Inf. Gernot Wurst
- Sound2Motion (2006): Applikation auf JAVA-Basis, persönliche Überreichung durch Prof. Dr. Bruno Friedmann, Hochschule Furtwangen, Fakultät Digitale Medien, [DVD]
- Steuerungs-und Synchronisations-Patch (2008): Eigenentwicklung auf Max/MSP-Basis, Hochschule Furtwangen, Fakultät Digitale Medien, [DVD]
- WFS.Control (2008): Eigenentwicklung auf Max/MSP-Basis, Hochschule Furtwangen, Fakultät Digitale Medien, [DVD]

