

Diplomarbeit

Das digitale Kino und dessen derzeitiger Entwicklungsstand in Österreich

Ausgeführt zum Zweck der Erlangung des akademischen Grades eines
Dipl.-Ing. (FH) für Telekommunikation und Medien
am Fachhochschul-Diplomstudiengang Telekommunikation und Medien St. Pölten

unter der Leitung von

Prof. Dr. Jakob Wassermann

ausgeführt von

Lipp Martin
tm021073

Zweitbegutachter: **FH-Prof. Dipl.-Ing. Georg Barta**

St. Pölten, am 01. August 2006

Unterschrift:

The Cinema – storytelling in a flow of consecutive images which meet in secret, poetic understanding – is an ancient artform, the celluloid film strip just its latest technical phase. Latest, not last. We will soon filming without film and without tapes.

(Bengt Idestam-Almquist)

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere, dass

- ich diese Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als angegebene Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im Inland noch im Ausland einem Begutachter/einer Begutachterin zur Beurteilung oder in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Diese Arbeit stimmt mit der von den Begutachtern beurteilten Arbeit überein.

.....
Ort, Datum

.....
Unterschrift

Danksagung

Besonders bedanken möchte ich mich hiermit bei meinen Eltern, Gottfried und Elfriede Lipp, welche mir durch ihre Finanzierung ein sorgenfreies Studium ermöglichten und mir, wann immer ich Anleitung bedurfte, mit Rat und Tat zur Seite standen und meinem Bruder Andreas Lipp, meiner Freundin Verena Trauner und ihrer Tante Maria Trauner, die mir oft den nötigen Ausgleich zum stressbedingten Studium verschafften.

Weiters möchte ich meinen Studienkollegen danken, die, da sie versuchten einen Schritt vor mir zu bleiben, dafür sorgten, dass ich nie nachließ und mich durch ihre hervorragenden Leistungen zu besseren Erfolgen ermunterten.

Zudem gilt mein Dank Dr. Kurt Kaufmann, dem Geschäftsleiter des Fachverbandes der Lichtspieltheater und Audiovisionsveranstalter für die Übersendung von Material und in besonderem Maße Michael Redtenbacher, welcher die Leitung des Facility Management, IT & Digital Cinema bei der Cineplexx Kinobetriebe GmbH inne hat, für die wertvolle Diskussion und die schnelle, unkomplizierte und fachmännische Information über das digitale Kino in Österreich. Seine Hilfe war für den Inhalt meiner Diplomarbeit essentiell, zudem regte er durch Erwähnung mir unbekannter Sachverhalte zu weiterer und tiefergehender Recherche in dem einen oder anderen Themengebiet an.

Weiters möchte ich mich bei meiner bereits erwähnten Freundin Verena Trauner bedanken, welche mir immer eine große Inspiration und sicherer Hafen ist. Danke für die Hilfe bei der Digitalisierung der Arbeit, dein mir entgegengebrachtes Engagement und die Geduld mit der du die, durch die Diplomarbeit entstandenen, Einbußen an gemeinsam verbrachter Zeit auf dich genommen hast. Zudem danke ich Stefanie Süßbauer, einer sehr guten und langjährigen Freundin, für das Lektorieren der Arbeit.

Mein Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. Jakob Wassermann, dessen Kontakte zum FKTG ich nutzen konnte und der durch Änderungsvorschläge stets zur Verbesserung dieser Arbeit beigetragen hat. Zu guter letzt bedanke ich mich bei Herrn FH-Prof. Dipl.-Ing. Georg Barta, welcher mir, vor allem was formale und stilistische Aspekte anbelangte, sehr gute Ratschläge mit auf den Weg gab und mich somit bei der Verbesserung der Arbeit unterstützte.

Kurzfassung

Während des letzten Jahrhunderts haben sich Bewegtbildapplikationen in ihrer Art, Geschichten zu erzählen, sehr zum Besseren entwickelt.

Das digitale Kino zum Beispiel – selten wird ein im technischen Bereich angesiedeltes Thema in diesem Ausmaß diskutiert – bezeichnet Techniken, Prozesse und Gerätschaften, welche das Akquirieren, Postproduzieren, Mastern, Distribuieren und Projizieren von Bewegtbildern auf einem sich vom 35mm-Film unterscheidenden digitalen Medium bewerkstelligen sollen.

Die Bildqualität ist bei weitem nicht der einzige Vorteil den digitale Kinoserver- und Projektortechnologien mit sich bringen, da aufgrund des Speicherns von Film auf digitalen Medien, dieser besser gegen Piraterie geschützt werden kann. Es gibt zudem neue Technologien, wie die des digitalen Wasserzeichens, welche es den Vertreibern durch in den projizierten Film eingefügte Codes ermöglicht, mit Camcordern abgefilmte Kopien verlässlich zu den Kinos in denen sie aufgenommen wurden, zurückzuverfolgen.

Ein anderer Bereich der durch neue digitale Technologien revolutioniert wurde, ist die Filmdistribution, welche es ermöglicht, digitale Filme via Satellit, Glasfasernetzwerk oder physischen Medien (DVD-ROM, Festplatten, etc.) zu distribuieren, statt die Filmbehälter physisch und dadurch weniger ökonomisch transportieren zu müssen.

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit dem letzten Forschungsstand von Arbeitsabläufen im digitalen Kino, skizziert, wie sie verbessert werden könnten, und ermöglicht einen detaillierten Blick auf die digitale Kinotechnologie, ihr Bedürfnis nach Sicherheit und Interoperabilität verwendeter Komponenten und die ihr entgegengebrachte Akzeptanz.

Zudem wurden mit Hilfe eines mit Herrn Michael Redtenbacher, dem Head of Facility Management, IT & Digital Cinema bei Constantin Film, durchgeführten Interviews der momentane Entwicklungsstand digitaler Kinos in Österreich, die zur Anwendung kommende Technik, Finanzierungsmodelle und mögliche Zukunftsszenarien aufgearbeitet.

Abstract

In the past century, moving-image media have greatly expanded the way in which stories can be told. Digital Cinema for example – there are few topics in the technical realm that are discussed to such a great extent – refers to techniques, processes and equipment for acquiring, post-processing, mastering, distributing, and exhibiting motion picture industry without film.

But picture quality is not the only advantage of digital cinema server and projector technology, because when film is stored digitally, it can be encrypted in many ways and thereby protected from piracy. There are also new technologies such as the digital watermarking technology which, by inserting codes in the digitally projected motion picture, enables studios to reliably trace camcorder-pirated films back to the theatres where they were recorded.

Another area which is revolutionized by digital technologies is the motion-picture distribution and delivery system, which makes it possible to distribute digital movies via satellite, fiber optic networks and physical media (DVD-Rom, single computer hard drives, etc.) instead of transporting film cans physically, which is less economical.

This diploma thesis focuses on the current level of development as far as digital cinema processes are concerned. It outlines how these processes can be improved and provides a detailed look at today's digital cinema technology, the need for security and interoperability of its components, and the acceptance that is brought to it.

Besides the current state of digital cinema technology in Austria, the equipment used, financing models and outlooks for the future are summarized on the basis of an interview with Michael Redtenbacher, Head of Facility Management, IT& Digital Cinema at Constantin Film.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	11
1.1	Motivation.....	11
1.2	Versuch einer Begriffsbestimmung:.....	12
1.3	Geschichtlicher Hintergrund	14
1.4	Spezifikationen und Standards	19
1.5	Konzept des digitalen Kinos	22
1.6	Kinoformate des digitalen Films	23
2	Produktion.....	24
2.1	Einleitung.....	24
2.2	Film Look vs. Electronic Look	24
3	Postproduktion.....	33
3.1	Einführung.....	33
3.2	Postproduktion beim Film.....	33
3.3	Digitale Postproduktion.....	35
3.3.1	Die Zukunft der digitalen Postproduktion	37
4	Mastering.....	39
4.1	Zur Funktionsweise des digitalen Kinos	39
4.2	Die wichtigsten Arbeitsschritte im Mastering Prozess.....	40
4.2.1	Capture	40
4.2.2	Creative image manipulation.....	41
4.2.3	Formatting an Resizing	42
4.2.4	Restoration, stabilization and cleanup	42
4.2.5	Color Encoding and gamut mapping	43
4.2.6	Audio Preparation.....	43
4.2.7	Related Data Placement.....	43
4.2.8	Packaging.....	44
4.3	Auswirkungen des Digital Cinema auf den Mastering Prozess	45
4.3.1	Digital Intermediate (DI).....	45

4.4	Zukünftige Entwicklungen des Mastering Prozesses	47
4.4.1	Einspielen des Bildmaterials.....	48
4.4.2	Veränderungen im Bildbearbeitungsprozess	49
4.4.3	Bearbeitung des Tons.....	49
4.4.4	Related Data.....	49
4.4.5	Sonstiges	49
5	Kompression.....	50
5.1	Begriffserklärung	50
5.2	Wozu benötigt man Kompression?	50
5.3	Standards	51
5.4	Verlustlose und verlustbehaftete Kompressionssysteme.....	54
5.5	Abtastung u. Diskretisierung des Wertebereiches durch Quantisierung	56
5.6	Umwandlung des Farbraumes	57
5.7	Kompressionssysteme für bewegte Bilder	57
5.8	Transformationen	58
5.8.1	DCT	59
5.8.2	Wavelet-Transformation.....	60
5.9	Quantisierung	61
5.10	Verlustlose Kompression	61
5.11	Zusammenfassung.....	62
6	Gewährleistung der Sicherheit im digitalen Kino	63
6.1	Content Encryption	64
6.2	Die Verwaltung der Schlüssel und Zertifikate	65
6.3	DRM (Digital Rights Management) im digitalen Kino.....	66
6.4	Logging/Auditing.....	66
6.5	Sicherheitssysteme der nächsten Generation	67
6.5.1	Der Business-Bereich	68
6.5.2	Der Technik-Bereich	68
6.6	Systemarchitektur.....	70
6.6.1	Außerhalb des Kinos.....	70

6.6.2	Innerhalb des Kinos	70
6.7	Beispiele möglicher Implementierungen.....	72
6.7.1	BSTS with Embedded SM and Self-Managed Security.....	72
6.7.2	BSTS with Embedded SM and Third Party Security Operations ...	72
6.7.3	Multiplex Theatre System with Self-Managed Security.....	73
6.7.4	Multiplex Theatre System with Third-Party Security	73
6.8	Verpackung	74
7	Die Distribution beim Digitalen Kino.....	76
7.1	Hauptkomponenten des Distributionssystems.....	77
7.2	Für die Distribution verantwortliche Bereiche	80
8	Projektion	81
8.1	Einführung.....	81
8.2	Projektionsverfahren im digitalen Kino	82
8.2.1	LCD-Projektoren	83
8.2.2	D-ILA-Projektoren.....	83
8.2.3	4K SXRD-Projektor.....	84
8.2.4	DLP-Projektor.....	86
8.2.5	Laser-Projektoren.....	87
8.3	Die Kinoprojektion betreffende Kriterien	89
8.4	Zusammenfassung	91
9	Mögliche Kinosysteme	92
9.1	Die Branche.....	92
9.2	Anspruch auf Interoperabilität	93
9.3	Media Block Architekturen.....	94
9.3.1	Broadcast Model	94
9.3.2	Datacentric Model	95
9.3.3	Preprocessing Model.....	96
9.4	Zusammenfassung.....	97
10	Die Gegenwart und Zukunft des digitalen Kinos	98
10.1	Wozu brauchen wir digitales Kino?	99

10.2 Mögliche Zukunftsszenarien	100
10.3 Die zur Anwendung kommende Technik.....	102
10.4 Praxis.....	103
10.4.1 Projektortechnik.....	104
10.4.2 Audio.....	106
10.4.3 Server	107
10.4.4 Sicherheit.....	108
10.4.5 Produktion	110
10.4.6 Distribution.....	113
11 Experteninterview	114
12 Resümee	130
13 Anhang	133
13.1 Glossar.....	133
13.2 Schlüsseldaten zu Produktion und Verleih digitaler Filme	135
13.3 Abbildungsverzeichnis	136
13.4 Literaturverzeichnis.....	137

1 Einleitung

1.1 Motivation

Der Film-Distributions- und -Projektionsprozess hat sich seit dem Jahr 1895, als die Brüder Lumière die ersten „*sich bewegenden Bilder*“ einem Publikum präsentierten, nur unwesentlich verändert. Immer noch werden mit Hilfe analoger photochemischer Prozesse, welche im Stande sind, sehr hochwertige und ausdrucksstarke Bilder zu erstellen, Filmkopien erzeugt, welche an die Kinos gesandt und dort projiziert werden. Durch seine mechanischen Eigenschaften ergeben sich jedoch auch Nachteile, die sich vor allem durch Abnutzungserscheinungen wie Kratzer und Staubspuren abzeichnen. Da zudem die Erzeugung und Verteilung der Kinokopien sehr kostspielig ist, wendet die Filmindustrie jetzt, aus ökonomischen Gesichtspunkten, der digitalen Technik und ihrem Potenzial zur Verteilung und Auf-führung ihr Interesse zu.

Der digitalen Kinorevolution kann demnach eine gewisse Zwangsläufigkeit suggeriert werden, denn ökonomische Potenziale nebst gewissen technologischen Gesamtentwicklungen wie die Digitalisierung der Informationsverarbeitung, legen den Übergriff eines technologischen Prinzips auf andere nahe. Außerdem hat die Digitalisierung die Herstellung von Kinofilmen in manchen Bereichen bereits erfasst, meint Slansky:

[...]durch die Einführung des digitalen nonlinearen Schnitts an Stelle des manuellen Filmschnitts an einem Filmschneidetisch, durch das Previsualizing, eine computergestützte Produktionsverarbeitung, durch die Visual Effects, d.h. durch Bildeffekte und Tricks, die nur durch eine Nachbearbeitung am Computer möglich sind, durch das digitale Sound Design, ja seit einigen Jahren auch durch digitale Kameras, die Bilder in Fernsehqualität oder in noch höherer Qualität aufnehmen können. Auf der Distributionsseite des Kinos hat sich die Digitalisierung bisher auf die Verwendung digitaler Tonsignale auf der Tonspur des Filmstreifens, zusätzlich zu den analogen, beschränkt [...] ([23], S.12)

Begründen ließe sich diese Tatsache mit dem fundamentalen Unterschied zwischen Produktions- und Distributionskette. Während bei der Digitalisierung der Produktion nämlich den Zuschauern die künstlerisch-ästhetischen Folgen der technischen und somit auch gestalterischen Entwicklung sichtbar und erlebbar werden, handelt es sich bei der Distribution um ein „b2b“¹-Modell, ganz im Gegenteil zur „business to consumer“-Strategie des Fernsehens. (vgl. [23], S.12) Somit fällt aber der Kunde, den die Distributionstechnik eigentlich nichts angeht, als Finanzierungsquelle aus, sollte sich durch die neue Technik nicht ein Mehrwert in audiovisueller Hinsicht einstellen.

¹ **b2b** ist die Abkürzung für **Business-To-Business** und steht allgemein für Beziehungen zwischen Unternehmen, im Gegensatz zu Beziehungen zwischen Unternehmen und anderen Gruppen (Konsumenten, also Privatpersonen als Kunden, Mitarbeitern oder öffentlichen Verwaltung) (<http://de.wikipedia.org/wiki/B2b>)

Weiters sollten oder müssen die Investitionen durch die übrigen Teilnehmer der Wertschöpfungskette hereingeholt werden, die da wären: die Produzenten, die Kinobetreiber, die Filmverleiher, die den größten ökonomischen Nutzen daraus ziehen, oder die neuen Marktteilnehmer (aus der IT- und Telekommunikationsbranche).

All diese Veränderungen, die dieser Transformationsprozesses von analog zu digital mit sich bringt, werden Auswirkungen auf die Filmproduktions- und Verwertungsbranche haben, wie das Suchen nach geeigneten Finanzierungsmodellen und Theatersystemen.

In der Produktion, der Speicherung, der Postproduktion und der Distribution von Filmen wird es zu tief greifenden Veränderungen kommen, in dem einen Bereich früher, in einem anderen später. Gerade diese Problematik hält dazu an, über dieses Thema zu schreiben.

Diese Arbeit soll also gegenwärtig zur Anwendung kommende Systeme und zukünftige, weiterführenden Konzepte auflisten und die Thematik der Umrüstung auf digitale Kinos, mit ihren Befürwortern und Kontrahenten, skizzieren.

In weiterer Folge wurde, um auf den aktuellen Entwicklungsstand des digitalen Kinos in Österreich eingehen zu können, ein Experteninterview mit dem Head of Facility Management, IT& Digital Cinema der Constantin Film Unternehmensgruppe, Michael Redtenbacher, geführt.

Themenbezogene Fachbegriffe werden im Anhang erläutert.

Zuletzt meint Hahne: *„die Beschäftigung mit der Digitalisierung des Kinos ist keine Absage an die 100-jährige Tradition der Kinematographie [...] lediglich ein weiterer Schritt in Richtung einer vollständig digitalisierten Produktionskette bei der Kinofilmherstellung [...]“* ([11], S.15)

1.2 Versuch einer Begriffsbestimmung:

Der deutsche Begriff „*digitales Kino*“ ist etwas unglücklich gewählt und ließe sich zur besseren Veranschaulichung anhand englischer Fachbegriffe besser differenzieren:

- **digital cinematography:** elektronische Generierung von im Kino vorzuführenden Inhalten (mit Hilfe elektronischer Kameras und Aufzeichnungsgeräte mit HDTV-Auflösung oder darüber hinaus)
- **digital postproduction:** digitale Verarbeitung von Bildmaterial, ob nun elektronisch oder konventionell generiert; das Endprodukt wird dann meist wieder auf Film ausbelichtet
- **digital cinema distribution:** die Inhalte werden digital an die Kinos distribuiert

Weiters ist eine auf Qualitätsmerkmalen basierende Unterscheidung des Begriffes „*digitales Kino*“ möglich und erforderlich:

- **D-Cinema:** laut DC28 handelt es sich hierbei um eine Ersetzung des 35mm-Standards; der Begriff beschreibt einen Technologiewechsel (Qualitätssteigerung) bei unveränderter Zielgruppe und gleich bleibenden Nutzungsformen des Kinos
- **E-Cinema:** diese Terminologie schließt auch Übertragungswege, andere Nutzungsformen des Kinos und Projektion in niedriger Qualität mit ein
- **Home-Cinema:** Filmgenuss im eigenen Heim

Die unten zu sehende Abbildung (**vgl. Abb.1**) von Patrick von Sychowski verdeutlicht diese Einteilung. Der Unterschied zwischen D-Cinema und E-Cinema wird hier anhand der Qualitätssteigerung im Vergleich zum heute genutzten 35mm Film statuiert.

Auch ist zu erkennen, dass viele neue Entwicklungen (wie Werbung, Live Events, etc.) sich auf das, mit SDTV²-, VGA³- oder HDTV⁴-Auflösung projizierende, E-Cinema beschränken. In diesem Bereich wird sich wohl in nächster Zeit auf Grund der Tatsache, dass es in Europa politisch gewollt und gefördert ist, am meisten tun.

Es ist wohl wegen der höher auflösenden und teureren Projektionstechnik (2k oder 4k), dass D Cinema sich, verglichen mit E-Cinema, nur sehr langsam wird etablieren können.

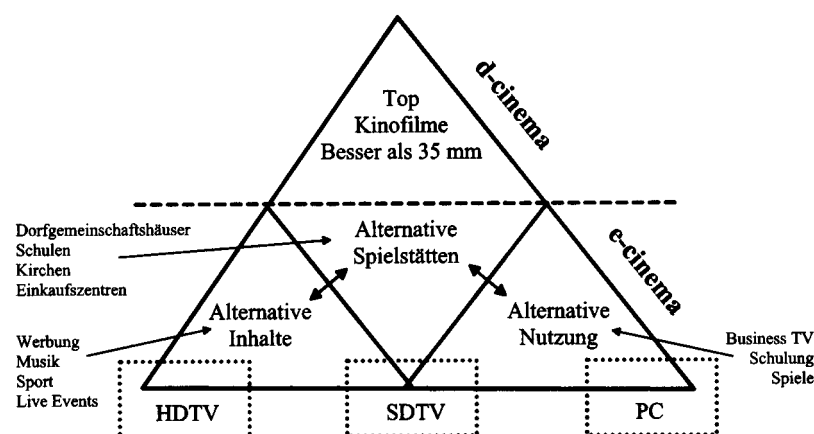


Abb.1 Begriffsbestimmung von E-Cinema und D-Cinema (Quelle: [26], S.256)

² **Standard-definition television** oder **SDTV** ist ein Sammelbegriff für analoge Fernseh- bzw. Videonormen. Folgende Auflösungen sind typisch: NTSC (insbesondere USA und Japan): 480 × 640 Pixel bei 59,94 Hertz Bildfrequenz (d. i. Bilder pro Sekunde); PAL, SECAM (Rest der Welt): 576 × 768 Pixel bei 50 Hertz Bildfrequenz. Diese Angaben beziehen sich auf das sichtbare Bild, ohne overscan. Alle drei Formate arbeiten bei der Übertragung mit dem Zeilensprungverfahren („interlaced“, „Halbbild“). (<http://de.wikipedia.org/wiki/SDTV>)

³ Der Begriff **Video Graphics Array (VGA)** bezeichnet einen Computergrafik-Standard (EISA, 1987), der bestimmte Kombinationen von Bildauflösung und Farbanzahl (Bittiefe) sowie Wiederholfrequenz definiert. (http://de.wikipedia.org/wiki/Video_Graphics_Array)

⁴ **High Definition Television (HDTV)**, engl. für *Hochauflösendes Fernsehen* ist ein Sammelbegriff, der eine Reihe von Fernsehnormen bezeichnet, die sich gegenüber dem herkömmlichem Fernsehen (*Standard Definition*, SDTV) durch eine erhöhte vertikale, horizontale und/oder temporale Auflösung auszeichnen. Zu verschiedenen Zeiten verstand man aufgrund des aktuellen Standes der Technik andere Auflösungen als hochauflösend. Aktuell sind Vertikalaufösungen von 720 (Vollbilder) und 1080 Zeilen (Halbbilder) gebräuchlich. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Hdtv>)

1.3 Geschichtlicher Hintergrund

„Kino ist die Vorführung eines audiovisuellen Werkes vor einem Publikum von maximal tausend Menschen in einem abgedunkelten Raum durch Projektion“. ([23], S. 15)

Der Begriff selber geht auf die Erfindung der Gebrüder Lumière zurück, den Cinématographe, welcher zugleich als Kamera, Kopiermaschine und Projektor eingesetzt wurde. Das Bild wurde und wird hierbei durch die Technik der filmischen Abbildung, welcher ein chemischer Prozess vor der weiteren Bearbeitung folgt, reproduziert.

Diese Tatsache macht bis heute durch die entstehende Zeitverzögerung ein so genanntes „Livekino“ unmöglich.

Als die drei wichtigsten Schlüsselkriterien für das Kino, sind laut Peter C. Slansky, seit 1999 Professor für Technik der Bildmedien Fernsehen und Film und geschäftsführender Leiter der Abteilung Technik an der Hochschule für Fernsehen und Film München, die Laterna Magica, die Fotografie⁵ und die Mechanik des schrittweisen Filmtransportes mit einem Greiferwerk bzw. mit einem Malteserkreuzschaltwerk anzuführen. Es handelt sich hier also um ein optisch-mechanisch-fotochemisches Medium, bei dem elektrische bzw. elektronische Komponenten (Lichterzeugung, Lichtmessung, Antrieb, Ton) nur eine sekundäre Rolle spielen. (vgl. [23], S.15f)

Den Ton betreffend formulierte Edison zwar schon sehr früh die Idee, Bild und Tonaufzeichnungsverfahren zu koppeln, doch erforderte der Filmtton, im Gegensatz zum Ton in Rundfunk und Fernsehen, ein Schallspeicherverfahren, wodurch die Ausreifung desselbigen 30 Jahre an Entwicklung in Anspruch nahm.

Als einer der wenigen qualitativen Sprünge in der technologischen Entwicklung des Kinos ist wohl die Einführung des bildsynchron reproduzierten Tons anzuführen, bis zu dessen Entwicklung eine Emanzipation des Films vom Theater nicht möglich war. Der bis dahin stumme Film wurde nämlich musikalisch und von Kinoerzählern begleitet, die direkt auf dargestellte Szenen reagierten und eine besondere Form eines Live-Erlebnisses erzeugten.

Nach der Entwicklung des einstreifigen Tonverfahrens⁶, welche noch Auswirkungen auf die künstlerische Entwicklung des Films hatte, waren alle anschließenden Verbesserungen (Einführung der Zackschrift gegenüber der Sprossenschrift, der Magnetton und der Stereoton) nur noch quantitativer oder evolutionärer Natur.

⁵ insbesondere mit dem Negativ-Positiv-Verfahren auf der Basis von silbersalzhaltigen Emulsionen und flexiblen Trägermaterialien (vgl. [23], S.15)

⁶ optisch-electrische Speicherung des Tons auf dem selben Informationsträger wie das Bild

Allein die sich abzeichnende Vision der Wellenfeldsynthese (von jedem Zuschauersitz gleichermaßen exakt lokalisierbarer Kinoton), auf welche in dieser Arbeit später noch genauer eingegangen wird, könnte wieder einen qualitativen Sprung bei der Tonreproduktion und -gestaltung bedeuten. Das im Vergleich zum Bild räumlich eingeschränkte Empfinden des Menschen für den Ton lässt aber die Frage seiner Relevanz im Kino offen.

Grundsätzlich ist das Kino von seinem Ursprung an ein globales Medium gewesen – der 35mm Film wurde 1909 nach einer internationalen Vereinbarung als Standardformat festgelegt – und daran haben im Wesentlichen auch technologische Weiterentwicklungen wie die Einführung des Tonfilms und des Farbfilms, dessen Einführung erheblich länger als die des Tonfilms dauerte und welcher zunächst durch nachträgliche Kolorierung der Schwarzweiß-Filme per Hand und später durch Farbsensibilisierung der lichtempfindlichen Emulsionen durch den Zusatz bestimmter Farbstoffe gefertigt wurde (Technicolor-Verfahren: erstes ernstzunehmendes Verfahren) oder auch die Einführung verschiedener breitwandiger Formate nichts geändert. Auch die spätere Entwicklung von 16mm Film als Fernsehproduktionsstandard hatte von Anfang an eine untergeordnete Rolle.

Eine Digitalisierung des Films jedoch würde ein teilweises Verlassen dieses optisch-mechanisch-fotochemischen Prinzips mit sich bringen, ein erster notwendiger Schritt wäre die elektronische Sequenzialisierung des Einzelbildes, dessen Ansatz das Fernsehen nutzt.

Die Abbildung erfolgt hier zwar vorerst von einer vierdimensionalen Realität (Raum über Zeit) in eine Dreidimensionalität (Raum [zweidimensionales Bild] über Zeit), so wie auch beim Kino, doch wird dann das zweidimensionale Bild mit zeilenweiser Abtastung in ein zweidimensionales⁷ elektrisches Signal zerlegt. (vgl. [23], S. 18)

Schlüsseldaten zur Entstehung des digitalen Kinos:

In den 70er Jahren etabliert sich die Videotechnik großflächig. Dolby baut – seit Mitte der 70er finden auf Lichtton basierende Mehrkanalsysteme erhebliche Verbreitung – seine später dominierende Marktposition im Tonbereich auf⁸ und erste Vorboten der digitalen Revolution kündigen sich an. Der PC wird erst in der 80ern zur revolutionären Technik, doch werden Grundlagen für das heutige, sich auch erst später etablieren könnende, Internet geschaffen.

Obwohl schon seit den 50er Jahren Fernsehen farbig ausgestrahlt wird (NTSC 1953; SECAM 1957;

⁷ Da die wechselnde Signalstärke, die Amplitude, die Helligkeit eines bestimmten Bildpunktes zu einem bestimmten Zeitpunkt repräsentiert (vgl. [23], S.18)

⁸ 1976 wurde mit Ken Russells Musiker Biografie „*Lisztomania*“ der erste Film mit codiertem optischen Dolby-Stereo-Sound in vier Kanälen produziert und setzte Mehrspur-Aufnahmetechnik durch (vgl. [29])

PAL 1963), wobei in Europa und Frankreich aufgrund der schlechten Farbstabilität von NTSC (National Televisions Systems Committee) alternativ das PAL (Phase Alternation line) bzw. das SECAM (séquentiel couleur à mémoire) Verfahren eingesetzt wurden, konnten erst ab der Einführung professioneller Systeme zur magnetischen Aufzeichnung, namentlich bis zur Einführung des Ampex VR-1000 VTR 1956, TV-Sendungen live aufgezeichnet werden. (vgl. [29])

In den 80er Jahren artikuliert Francis Ford Coppola erstmals eine Vision eines Electronic Cinema und versucht sie in seinem Film „*One from the heart*“ (USA 1982) umzusetzen, scheitert aber sowohl in ökonomischer, als auch ästhetischer Hinsicht.

Die Videotechnik setzt sich im Heimbereich durch – es sind sowohl preiswerte Videorekorder, als auch digitale MAZ- und Studio-Systeme erhältlich – und zur ökonomischen Verwertungskette der Filmwirtschaft wird die Videoauswertung hinzugefügt. Die Aufzeichnung erfolgt immer noch analog, doch gibt es erste konkurrierende Systeme, wie die Philips „*Laser Vision*“, bei der die Tonspur bereits optional Digitalton speichern kann.

Für den Endverbraucher setzt sich, als vollständig digitale Technik, die Audio-CD durch (CD-DA: Prototyp von Philips 1979; Marktreife 1981; erstes CD-Presswerk 1982). Die Digitalisierung des Films setzte sich zudem vor allem in den Bereichen Pre-Production und Post-Production durch (VFX⁹/CGI¹⁰) und das gemächlich. (vgl. [30])

In den 90ern werden feste Produktionsabläufe zu Gunsten parallelisierter und flexiblerer aufgelöst, und neue und preiswertere Techniken der Bildakquisition¹¹ ermöglichen eine anfängliche Demokratisierung des Films („*desktop film*“ in greifbarer Nähe). Der Postproduktionsprozess wird nonlinear.

Nachdem schon in den 80ern die Digitalisierung in die Bereiche der Pre- und Postproduction (z.B.: Bildbearbeitung) Einzug gehalten hatte, nimmt sie nun auch zunehmend Einfluss auf die Dreharbeiten. CGI-Verfahren ermöglichen visuelle Effekte mit erstaunlicher fotorealistischer Qualität und erste vollständig computergenerierte Filme werden vorgeführt. Auch im Bereich des Filmtons kommt es zu einer vollständigen Digitalisierung (Dolby Digital [1992]; SDDS [1993]; dts [1993]).

Der Kinofilm-Vertrieb bleibt jedoch zur Zeit weiter, ebenso wie die Projektion desselben, konventionell und oben genannte computergenerierte Filme werden auf fotochemische Filmrollen ausbelichtet und per Kurier an die Kinos gesandt.

⁹ Visuelle Effekte bzw. **Visual Effects (VFX)** sind künstliche, in der Postproduktion, mit Hilfe von Computern erzeugte, Effekte, welche im Gegensatz zu Spezialeffekten nicht in der Kamera, also am Set, gedreht werden (<http://de.wikipedia.org/wiki/Vfx>)

¹⁰ **Computer Generated Imagery**: mittels 3D-Computergrafik erzeugte Bilder im Bereich der Filmtechnik und der visuellen Effekte (http://de.wikipedia.org/wiki/Computer_Generated_Imagery)

¹¹ Aus dem Heimvideobereich dringen ab 1994 **digitale Camcorder (DVC)** in den No- und Low-Budget-Bereich ein (vgl. [31])

Im Consumer-Bereich jedoch wird mit der DVD das erste vollständig digitale Distributionsmedium für Film überwältigend akzeptiert. (vgl. [31])

Wiederum eine Dekade später setzen sich digitale Techniken in der Filmproduktion durch; CGI Produktionen wagen sich an weitestgehend synthetische Schauspieler, ohne jedoch die menschliche Mimik und Gestik vollkommen glaubhaft wiedergeben zu können. Die Kinoprojektion bleibt weitestgehend analog, wobei erste Spezifikationen für digitale Distribution und Projektion schon zwischen den Jahren 2004 und 2005 verfügbar sind.

In den Bereichen der Videoproduktion und Fernsehauswertung wird zunehmend digital akquiriert, laut Agon S. Buchholz, „insbesondere in skandinavischen Ländern, Japan und den USA, weniger jedoch im deutschsprachigen Raum“. [32] Fernsehproduzenten stellen früher als der Filmbereich auf High Definition Video (HDV) und digitales HDTV um. Für den Filmbereich sind verfügbare Techniken zur digitalen Bildakquisition noch nicht ausgereift und verbesserungswürdig. Trotz dieser Tatsache kommt eine zunehmende Anzahl an digital produzierter und postproduzierter Filme in die Kinos. (vgl. [32])

Das Ende des Jahrtausends ist zudem von leistungsfähigen, ubiquitären Computersystemen bestimmt, welche es ermöglichen, längere Spielfilmsequenzen in hoher Auflösung zu speichern und mit hoher Komplexität zu bearbeiten, die anschließend wieder auf Film ausbelichtet werden. Schon ist auszumachen, dass die Digitaltechnik sich nicht nur auf den Produktionsbereich beschränken, sondern sich auf die Bereiche Distribution und Wiedergabe ausweiten wird. Für die Distribution und Projektion stehen hochwertige Datenreduktionsverfahren und Projektoren zur Verfügung und der Einsatz von digitalen High-Definition Kameras wird wohl früher oder später zu einer vollständig digitalen Infrastruktur im Kinobereich führen, bei welcher Produktions- und Distributionssysteme dem Fernseh- und Videobereich ähneln werden.

Weiters schreibt Agon S. Buchholz: „die 2000er Jahre waren weltweit durch urheberrechtliche Auseinandersetzungen um Art, Umfang und Ausmaß immaterieller Monopolrechte an „geistigem Eigentum“ und die Ausgestaltung kommerzieller Verwertungsrechte geprägt. Unter dem irreführenden Propagandabegriff des Kampfes gegen so genannte „Raubkopierer“ reichten die Kulturproduzenten tausende von Klagen gegen Privatpersonen ein, die Peer-to-Peer¹²-Tauschbörsen oder Auktionen auf Plattformen wie Ebay genutzt hatten. In der ersten Hälfte der 2000er Jahre gelingt es der etablierten Kulturindustrie nicht, mit der „neuen“ Informationsstruktur des Internet konstruktiv umzugehen, durch diese bornierte Blockadehaltung eröffnen sich jedoch auch enorme Chancen für kreative Filmemacher, die das Internet als Kommunikations- und Distributionsmedium für ihre Filme nutzen.“ ([32])

¹² **Peer-to-Peer (P2P) Connection** (engl. *peer* „Gleichgestellter“, „Ebenbürtiger“, oder „Altersgenosse/-in“) und **Rechner-Rechner-Verbindung** sind synonyme Bezeichnungen für eine Kommunikation unter Gleichen. In einem *Peer-to-Peer-Netz* sind alle Computer gleichberechtigt und können sowohl Dienste in Anspruch nehmen, als auch Dienste zur Verfügung stellen. Die Computer können als Arbeitsstationen genutzt werden, aber auch Aufgaben im Netz übernehmen. (http://de.wikipedia.org/wiki/Peer_to_peer)

Während sich also HD als Fernsehformat durchsetzt, bleibt es abzuwarten ob es sich ebenso als Kinoformat, anstelle des 35mm Films, wird behaupten können. Nachdem nämlich die **ITU** im Jahr 2002 die 1080/24p Norm als Standard definiert hatte, zog sie sich auf Druck der **DCI**, da für **DCI** und **NATO** dieser Standard zur Verbreitung und Projektion von Kinoinhalten nicht in Frage kam, aus dieser Diskussion zurück. Die **DCI** selbst forderte hierauf eine Auflösung von 4K, was aber auf Grund kaum existierender Lösungen sehr unrealistisch erschien.

Wären die Standards einmal definiert, sollten Produktionshäuser und Kinobetreiber durch neue Geschäftsmodelle wie Technikleasing, Beteiligung an Kinos, exklusive Raumnutzung oder den Einkauf von Zeitfenstern gefördert und unterstützt werden.

In der nun fertigen Spezifikation unterstützt die **DCI** einen auf JPEG2000 basierenden Standard, welcher sowohl 2K als auch 4K als Kinoformat unterstützt.

Dass die **DCI** hier nicht gerade früh daran war, einen Standard festzusetzen, belegt die Tatsache, dass bereits viele Filme mit 1080/24p gedreht wurden. Besonders in Europa, meint Philipp Hahn, Autor des Buches *„Mit High Definition ins digitale Kino“*, *„wird die Digitalisierung vor allem als Chance zur preiswerteren Filmproduktion und -verwertung begriffen – so dass hier kaum jemand z.B. an einem teuren 4K-Standard interessiert ist“*. ([10], S.20)

In den USA geht dieser Umstieg auf das HD-Produktionsformat aufgrund höherer Budgets deutlich langsamer voran, doch Filme wie „Star Wars“, „Collateral“, „Sky Captain and the world of tomorrow“, etc. konstatieren auch hier einen deutlichen Zuwachs.

Die Umrüstung auf Seiten der Kinobetreiber geht zudem eher schleppend voran, was wohl auf hohe Investitionskosten und immer noch in manchen Bereichen unsicheren Standards beruht.

So schätzte Medienmarktforscher Patrick von Sychowski, dass 2004 erst ca. 250 Kinos weltweit über entsprechend hochwertige Systeme verfügen werden. (zit. n. [10], S.20)

Ende 2005, so zeigte eine **Goldmedia/Screendigest**-Studie mit Namen *„Digital Cinema: Rollout, Business Models and Forecasts to 2010“* auf, gab es weltweit eine Anzahl von 849 digitalen Kinos¹³, was ein Wachstum von 150% seit dem Jahr 2004 bedeutete, so David Hancock, Koautor des Reports. Weiters würden für das Jahr 2010 17.000 Leinwände erwartet, ein Großteil davon in den USA. (vgl. [68])

David Hancock meint: *„While there are still challenges facing the wide scale rollout of high-end digital cinema, the pace of growth experienced in 2005 shows that d-cinema has finally become a commercial reality. The acceptance by major distributors, notably the US studios, and the conversion of this acceptance into a business model based on distributor savings, has been a key catalyst for the conversion process.“* (vgl. [59])

¹³ Österreich liegt mit 15 Leinwänden auf dem 13. Platz, Deutschland reihte sich mit 33 Kinos an den sechsten Platz, den ersten nimmt USA (324) gefolgt von China (124 Bildwände) und Japan (59) ein (vgl. [68], Stand 19.05.2006)

1.4 Spezifikationen und Standards

Um sich mit der Erschaffung von Spezifikationen beschäftigende Gruppen und Organisationen näher zu bringen, seien hier die wichtigsten aufgelistet:

SMPTE (Society of motion pictures and television engineers): Diese Institution, in der sowohl Hollywood Studios, als auch alle wichtigen Hersteller und Rundfunkveranstalter vertreten sind, gründete 1999 das Komitee **DC28** *“Digital Cinema”*¹⁴ und ist federführend an der Entwicklung von Standards für das digitale Kino beteiligt. Seit seiner Einführung wurde die Organisationsstruktur dahingehend überarbeitet, dass 2003 aus ursprünglich acht Gruppen drei größere gebildet wurden, die die Bereiche Mastering, Distribution und Exhibition abdecken.

MPAA¹⁵ (The Motion Picture Association of America): Gegründet im Jahr 1922 als Sprachrohr der Motion Picture-, Home-Video- und Fernsehindustrie, listete sie im Jahr 2000 die zehn wichtigsten Ziele (*„Goals for Digital Cinema“*) für eine erfolgreiche Implementierung eines Digital Cinema Systems auf.

DCI¹⁶ (Digital Cinema Initiative): Im März 2002 hatten die sieben größten Hollywood Studios¹⁷ ein Joint Venture mit dem Namen **DCI** gegründet, dessen Aufgabe es war, allgemein anerkannte Standards für das digitale Kino zu entwickeln und einzuführen.

Mit dem 20. Juli 2005, als die so genannte *„Digital Cinema System Specification v1.0“* angekündigt wurde, waren die schlussendlich zur Geltung kommenden Parameter (Systemvoraussetzungen und Spezifikationen) statuiert, welche es den Herstellern ermöglichen sollten, Projektoren und sonstiges Equipment mit nötiger Standardisierung und Interoperabilität zu erzeugen.

ASC (The American Society of Cinematographers): Diese Organisation, welche 1919 gegründet wurde um vorwiegend die Kunst des *“narrative filmmaking”* voranzutreiben und sich sowohl aus einer Vielzahl, teils führender Kameramänner und Visual Effects Artists, als auch Repräsentanten der damit in Verbindung stehenden Industriesektoren zusammensetzt, gründete im Mai 2003 das **ASC** *„Technology Committee“*. Das Ziel war es, Normen und Versuchsabläufe für aufkommende, den Filmschaffungsprozess (Kunstform, Handwerk) betreffende, Techniken zu kreieren.

Daraus resultierte unter Aufsicht des Technology committee und des **DCI** ein so genanntes StEM (Standardized Evaluation Material), welches es ermöglichen sollte, die Performance digitaler Projektoren und anderer Systemkomponenten des digitalen Kino zu bewerten.

¹⁴ www.smpte.org/engineering_committees

¹⁵ www.mpa.org

¹⁶ www.dcinovies.com

¹⁷ Disney, Fox, MGM, Paramount, Sony Pictures Entertainment, Universal und Warner Bros

NATO¹⁸ (The National Association of Theater Owners): Sie repräsentiert sowohl große Kinoketten, als auch hunderte von unabhängigen Kinobetreibern in mehr als 20 Ländern weltweit. Am 22. Februar 2002 veröffentlichte die **NATO** ihre „*Digital Cinema User Requirements*“¹⁹, in der sie folgende Anforderungen an das digitale Kino stellte:

- Minimum presentation standards for image projection, including colour gamut, contrast ratio and pixel count.
- International standards for digital image and audio data representation, storage and play out.
- System support for more than one method of movie data delivery (e.g. physical, satellite transmission, fibre, etc.)
- International acceptance of a single encryption algorithm.
- Rules for digital rights expression and for electronic methods of exhibitor authorization that duplicate the current rights and facilities existing in 35mm technology.
- International acceptance of a single image compression algorithm.
- International standard for a single audio compression, if implemented.
- International standards for electronic interfaces, networks and protocols used on all equipment, including surfaces

([13] , NATO Digital Cinema User Requirements, S.262)

Das sich daraus ergebende Ziel war es, die Entwicklung von interoperationalen und wettbewerbsfähigen Systemkomponenten zu gewährleisten, bei welchen darüber hinaus die Instandhaltungskosten niedrig sein sollten. Weiters wurde eine minimale Projektionsqualität gefordert (4K), die die des bisherigen 35mm Films übertrifft und so die Erwartungen der kreativen Gemeinschaft erfüllt. Internationale Kooperation ist hier unerlässlich.

Entertainment Technology Center at USC²⁰ (ETC-USC): Das **ETC** wurde 1993 als Forschungseinheit der „*University of Southern California's School of Cinema-Television*“ gegründet und rief 1999 das „*Digital Cinema Forum*“ in die Welt, welches wiederum das Konzept eines neutralen Labors für das Testen und Bewerten digitaler Kinoprodukte und -lösungen kreierte. Unterstützt von **NATO** und **MPAA** wurde im Jahr 2000 dann im „*Hollywood Pacific Theater*“ das **DCL** (Digital Cinema Laboratory) eröffnet und im Dezember 2002 zum offiziellen Testbett für digitale Kinotechnologien ernannt.

¹⁸ www.natoonline.org

¹⁹ Siehe auch http://mkpe.com/digital_cinema/nato/NATO%20Digital%20Cinema%20System%20Requirements%20-%20release%201-0.pdf

²⁰ www.etcenter.org

ISO²¹ (International Organization of Standardization): **ISO** ist eine internationale Vereinigung von Normungsorganisationen aus über 150 Ländern, welche mit internationalen Unternehmen, Regierungen, der Industrie, dem Gewerbe und Interessensvertretungen zusammenarbeitet. Sie wurde im Februar 1947 gegründet und hat ihren Sitz in Genf in der Schweiz. Das **ISO** Technical Committee „*ISO/TC-36-Cinematography*“, welches sich 1952 erstmals in New York traf, hat es sich zur Aufgabe gemacht, Definitionen, Dimensionen und Methoden zur Messung und Bewertung von Performance Charakteristiken in Bezug auf Materialien und Apparaturen zu standardisieren.

EDCF²² (European Digital Cinema Forum): Das Forum wurde im Juni 2001 in Stockholm gegründet, um technische und geschäftliche Rahmenbedingungen für die harmonische Einführung von Digital Cinema und all seiner Abwandlungen in Europa zu gewährleisten. Es besteht aus drei Teilen: einem technischen, einem gewerblichen und einem inhaltlichen Modul.

DTB@NFT (Digital Test Bed at the National Film Theater): Das Testbett wurde im Juni 2003 gegründet und ist die bedeutendste britische und europäische Einrichtung zur Erforschung der digitalen Distribution und Projektion. Es dient als neutrales Forschungslabor, um nach universellen Standards und kompatiblen technologischen Lösungen zu suchen.

Weiters zu erwähnen sind das **Moving Image Center**²³ (MIC), das **Digital Cinema Consortium of Japan**²⁴ (DCCJ), die **Commission Supérieure Technique de l'Image et du Son**²⁵ (CST) und die **Association Française de Normalisation**²⁶ (AFNOR) in Frankreich, welche auch das ihre zur Standardisierung des digitalen Kinos beitragen.

Alles in allem benötigt das digitale Kino ein Systemdesign, das auf international angewandten, inter-operationalen Standards beruht, zur selben Zeit aber jene Flexibilität mit sich bringt, die es ihm erlaubt, sich an kommende Technologien anzupassen. Nur dann, wenn auch die Wünsche der **NATO** und anderer Organisationen dies betreffend befriedigt sein werden, steht dem Digitalen Kino nichts mehr im Weg. Aufgrund der durchwegs positiven Resonanz auf die finale Spezifikation der **DCI**, zu der jedoch momentan auch gegenläufige Meinungen existieren, scheint ein wichtiger Schritt in diese Richtung gemacht worden zu sein. Folgendes, vom NATO-Präsidenten verfasstes Zitat, soll symbolisch für die damals ausschließlich positive Resonanz angeführt werden:

²¹ www.iso.org

²² www.digitalcinema-europe.com

²³ <http://www.mic.org.nz/>

²⁴ <http://www12.ocn.ne.jp/~d-cinema/index2.htm>

²⁵ <http://www.cst.fr/>

²⁶ www.afnor.fr/portail.asp

John Fithian, Präsident der "National Organization of Theater Owners" (**NATO**), sagte in einem Presseartikel vom 27.7.2005, mit dem Titel „**Digital Cinema Initiatives (DCI) announces final overall system requirements and specifications for Digital Cinema**“, *"This spec, created over the past three years by DCI with input from exhibitors and vendors, is an important step toward making digital cinema a reality. With this piece now in place, we look forward to working with all the involved parties to achieve our mutual goal – bringing the best possible moviegoing experience to the consumer."* ([36])

1.5 Konzept des digitalen Kinos

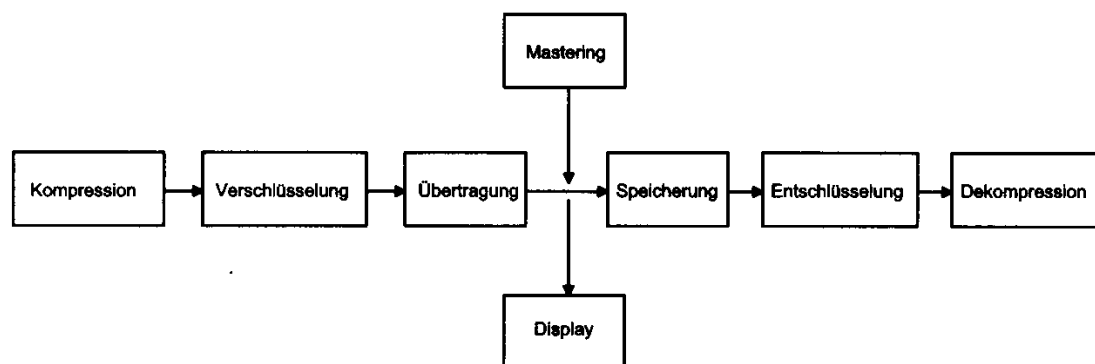


Abb. 2 D-Cinema Konzept nach SMPTE DC28 (Quelle: [26], S.256)

Während im konventionellen Kino das Endprodukt des Mastering-Prozesses vervielfältigt wurde, mit Hilfe von Botendiensten ins Kino gelangte und dort auf eine helle Projektionsfläche projiziert wurde, ist das Resultat des digitalen Mastering eine Datei auf einem Massenspeicher. Aufgrund der sehr hohen Qualitätsansprüche und den damit verbundenen Datenmengen, ist es vor der Übertragung notwendig, eine Kompression vorzunehmen, um besagte Datenmenge zu reduzieren. Weiters gilt es, die Daten zu verschlüsseln, um Film-Piraterie vorzubeugen.

Die Distribution des fertigen Produktes kann auf verschiedene Weise erfolgen: zum einen kann der Datentransfer nun per DVD-ROM oder Festplatte, also auf physischen Medien, zum anderen über Satelliten oder andere breitbandige Netzwerke realisiert werden. All diesen bis jetzt angewandten Verfahren ist jedoch die Tatsache gemein, dass sie nicht echtzeitfähig sind, was man sich, alternativer Inhalte eingedenk, aber wünschen würde.

Bei der Kinovorstellung wird hierauf der Datensatz vom Server wiedergegeben, entschlüsselt, decodiert und über einen hochwertigen Projektor an die Leinwand projiziert. Um die Daten wiederum entschlüsseln zu können, benötigt man einen Schlüssel, der von dem Rechteinhaber zur Verfügung gestellt wird. Der gesamte, möglichst transparente Prozess wird von einem Kontrollsystem überwacht. (vgl. [26], S.256f)

Betrachtet man nun also die gesamte Kinokette, von der Herstellung des Filmes bis zu seiner Projektion, so können wir sie in zwei Oberbereiche aufgliedern:

- einer dieser Bereiche ist die Produktion, die sich wiederum in Aufnahme und Postproduktion (Schnitt, Vertonung, Farbkorrektur, Trick etc.) unterteilt
- die anderen sind die Distribution, welche sich grob in die Herstellung der Kopien und deren Transport gliedert sowie die Projektion im Kino

1.6 Kinoformate des digitalen Films

Die DCI hat im September 2005 nach mehrjähriger Vorbereitungszeit ihre Standardisierungsverfahren offiziell abgeschlossen. Deren Ergebnis war eine umfangreiche technische Spezifikation, die unter anderem folgende Themen behandelte:

- **Bildauflösung.** Die horizontale Master-Auflösung soll 4096 Pixel betragen, was also einer 4K-Bildauflösung entspricht. Die vertikale Auflösung leitet sich dann aus dem Bildseitenverhältnis ab; das Cinemascope-Format 2,35:1 hätte dann eine Auflösung von 4.096*1.714 Pixel. Für die Projektion sind sowohl 2K-, als auch 4K-Auflösungen zulässig, die Digitalprojektoren müssen jedoch die jeweiligen anderen Formate skalieren können.
- **Bildwechselfrequenz.** Ähnlich wie bei Rollfilm verbleibt die Bildwechselfrequenz standardmäßig bei 24 Bildern pro Sekunde (frames per second, fps); alternativ sind jedoch auch Frequenzen von 48 fps möglich, die eine deutlich verbesserte Bewegungswiedergabe ermöglichen, aber auch die Datenraten verdoppeln.
- **Kompression.** Als Codec für D-Cinema spezifiziert die DCI Motion JPEG 2000 nach SMPTE DC28, also ein offenes Format.
- **Tonsystem.** Vorgesehen sind 16 distinkte Tonkanäle, die mittels eines Channel Mapping in gängigen 5.1- und 7.1-Konfigurationen wiedergegeben werden können. Gespeichert werden die Tondaten unkomprimiert im Wave Audio Format (WAF), heutige Surround-Systeme wie Dolby Digital oder dts werden also überflüssig.
- **Dateiformat.** Die Bild- und Tondaten werden im Containerformat Material Exchange Format (MXF) zusammengeführt; ein MXF-Container kann beispielsweise auch alternative Sprachfassungen oder Untertitel enthalten.
- **Verschlüsselung.** Bild-, Ton- und Untertiteldaten werden nach dem Advanced Encryption Standard (AES) mit 128 Bit langen Keys verschlüsselt; das kryptografische Verfahren gilt derzeit als sicher.
Datenraten und -volumina. Die Datenraten liegen allein für Video bei bis zu 250 Mbit/s, zusammen mit den Audiodaten müssen die Speichersysteme bis zu 307 Mbit/s verarbeiten können. Gespeichert werden müssen bis zu 1,5 Terabyte an Daten.
- **Physikalische Sicherheit.** Die verschiedenen Komponenten, die das DCP im Kino durchläuft, müssen bestimmten Sicherheitsstandards genügen; maßgeblich ist hierfür die US-amerikanische Richtlinie Federal Information Processing Standard 140-2 (FIPS), die u.a. die Möglichkeit von Wartungsarbeiten durch nicht speziell berechtigtes Personal auf bestimmten Sicherheitsstufen unterbindet. (<http://www.kefk.org/portal/kinoformate.des.digitalen.films>)

2 Produktion

2.1 Einleitung

Die Produktion als Stufe in der digitalen Kinokette, soll hier nur am Rande erwähnt werden, da sich der Begriff digitales Kino, per Definition, ausschließlich auf die digitale Distribution und Projektion von Inhalten bezieht. Es ist zudem nicht zwingend notwendig, digital zu akquirieren, da konventionell gedrehte Filme z.B.: im, im **Kapitel 4.3.1** erklärten „*Digital Intermediate*“ Prozess auch digital gemastert und weiters für jedweden Verwertungsweg vorbereitet werden können.

Zudem ist die elektronischeameratechnik der konventionellen Filmkamera und dem Medium Film noch in mancher Hinsicht unterlegen, sie steckt noch in ihren Kinderschuhen und ist ständiger Verbesserung unterworfen (Schwarzweiß-Sucher, etc.).

Vorteile der digitalen Produktion ergeben sich vor allem in ökonomischer Hinsicht (z.B.: Filmmaterial, etc.), aber auch in der Arbeit am Set (z.B.: Kontrollmonitor, etc.) und in gestalterischer Hinsicht. Doch während die einen sich der neuen Technik hingeben, ziehen es andere DoPs²⁷ vor abzuwarten oder ihrem Medium Film treu zu bleiben.

Die anschließende Auflistung soll Aufschluss über Unterschiede zwischen dem Medium Film und der elektronischen Bildakquisition geben und das Thema digitale Kinematografie etwas näher bringen.

2.2 Film Look vs. Electronic Look

Die Überschrift bedarf einer Definition an sich. So versucht Slansky, in seinem Buch „*Digitaler Film – Digitales Kino*“, die Bildanmutungen durch die Summe derjenigen sichtbaren Unterschiede zwischen den Medien zu umschreiben, die bei gleicher technischer Bildqualität noch immer wahrnehmbar bleiben. Die Bildanmutung wäre weiters immer auf konkrete physische Eigenschaften verwendeter technischer Komponenten zurückzuführen, unterläge hiermit also einem technischen Wandel, der ihm zwar eine begrenzte Geltungsdauer zuschreibt, jedoch auch folgende, bei Slansky aufgelistete, Konstanten erlaubt (vgl. [22], S.94-117). Ergänzt sei diese Betrachtung durch zwei Zitate, welche fernab fachlicher Erklärungen Aufschluss über die Bildanmutung geben sollen.

Folglich lassen sich die Parameter wie folgt aufschlüsseln:

- **Auflösung und räumliche Isotropie (d.h. Gleichförmigkeit) des Bildes**

Durch das Fehlen eines Bildpunktrasters und die statistisch wechselnde Kornstruktur des Filmbildes ist die Auflösung und Schärfe in allen räumlichen Richtungen (oben-unten, links-rechts, diagonal oder schräg) identisch, was ein räumlich isotropes Bild ergibt.

²⁷ Der **Director of photography**, im deutschen Kameramann/-frau genannt ist bei Kino- und Fernseh-Filmaufnahmen für das Bild verantwortlich (http://de.wikipedia.org/wiki/Director_of_photography)

Beim elektronischen Bildsystem jedoch ist, ungleich der vom Fernsehen bekannten Zerlegung des Bildes in Zeilen (eindimensionaler Abtastvorgang), bei CCD- oder CMOS-Bildsensoren dieser Abtastvorgang durch die Aufrasterung des Bildes in diskrete Bildelemente, auch Pixel genannt, ein zweidimensionaler. Das Raster ist rechtwinkelig orientiert und somit ist das Bild nicht mehr isotrop²⁸.

- **Kornstruktur versus elektronisches Rauschen**

Film hat eine von Bild zu Bild statistisch verteilte Kornstruktur, welche beim Farbfilm aus gelb-, magenta- oder cyanfarbenen Farbstoffwölkchen besteht. Die eben genannte Kornstruktur entsteht dadurch, dass beim Negativfilm – ist doch eine den Positivfilm übertreffende Lichtempfindlichkeit gefragt – größere Silberkristalle benötigt werden. Diese filmtypische Kornstruktur, aufgrund ihres zeitlichen Wechsels auch als Kornrauschen beschrieben, ist nach der Aufnahme nicht mehr von der originalen Bildinformation zu trennen und muss, sollte man diesen Look in der digitalen Kinokette erhalten wollen, mit mindestens 4K abgetastet werden.

Bei elektronischen Kameras bleibt die Rasterung des Bildwandlers konstant und regelmäßig (CCDs haben zum Beispiel ein rechtwinkeliges, schachbrettartiges Muster). Daraus resultieren bei Aliaseffekten²⁹ und beim Bildrauschen³⁰ Unterschiede in der Konturenabbildung.

Ein weiterer Unterschied in der Charakteristik ist, dass Filmkornrauschen sich in erster Linie in Mitteltönen abspielt, elektronisches Rauschen jedoch vor allem in den Schwarzen und dunklen Mitteltönen.

„Im traditionellen Filmbild basiert der Code auf dem Korn, im digitalen Prozess auf dem Pixel. Die erste Frage muss also den Unterschieden zwischen Korn und Pixel gelten. Während die Position des Kornes innerhalb eines von Zufällen bestimmten Rahmens im Bild tanzt, ist die Lage des einzelnen Pixels fest definiert. Die oft als kalt beschriebene Anmutung des digitalen Bildes hat ihren Ursprung in diesem Unterschied. Den Bildern fehlen die gewohnten Störungen, die das Wahrnehmungssystem füttern und mit Adaptionsaufgaben auf der Mikroebene beschäftigen, die zum lebendigen Eindruck des Filmbilds führen. Sie wirken sehr perfekt und werden als unbelebt und steril qualifiziert. Das digitale Bild trage die Züge des technischen Apparats auf der Oberfläche und mache sie in einer Weise bewusst, die der Aufgabe des Kinos, Illusionen zu erzeugen, abträglich sei, so der Einwand. Ein annähernd perfekter Bildstand verstärkt diesen Eindruck zusätzlich.“ ([6], S. 131)

„Während des Drehens fand ich an HD eine Sache irritierend, die mit dem Zeitempfinden zusammenhängt. Man muss sehen, wie man diese Schwäche zur Stärke umwandeln kann. Wenn ich ein Filmbild auf Zelluloid habe, habe ich immer das Gefühl, durch die Körnigkeit des Films ist Zeit in das Bild eingeschrieben. Ich weiß, das Bild läuft und es ist nicht Gegenwart, sondern es handelt sich um konservierte Zeit. Das hat den Vorteil, dass der Zuschauer den Kinofilm als Gegenwart erleben darf, denn er weiß, diese Gegenwart ist kontrolliert, sie findet nicht jetzt statt. So kann der Zuschauer diesem Film viel mehr vertrauen als seinem eigenen Leben. Diese Qualität ist bei HD umgekehrt. HD hat durch die Abwesenheit von Korn und durch die Glättung von Flächen für mich immer das Gefühl von unmittelbarer Ge-

²⁸ Als *isotrop* wird in der Physik im Wesentlichen die Richtungsunabhängigkeit bezeichnet; in unserem Fall ist bezüglich der Auflösung nur die Vertikale und die Horizontale ausgezeichnet (vgl. [22], S98f; <http://de.wikipedia.org/wiki/Isotropie>)

²⁹ **Alias-Effekte**, auch als Aliasing-Effekte bezeichnet, sind durch die Nichtbeachtung des Abtasttheorems auftretende Fehler beim Abtasten von Signalen (<http://de.wikipedia.org/wiki/Alias-Effekte>)

³⁰ durch elektronische Bauteile, wie den analogen Bildwandler erzeugt, bewirkt es die zeitlich variable Abweichung jedes Bildpunktes, von seinem, der jeweiligen Bildinformation entsprechenden Wert, in Helligkeit und Farbe ([22], S.99f)

genwart. Man empfindet die Zeit im HD-Format nicht als Zeit, die konserviert wurde, sondern als unmittelbare Gegenwart. Das bedeutet für mich als Regisseur: Ich kippe von den Bildern her ganz schnell entweder in so etwas wie eine Reportage mit einem Zeitversetzen zwischen Ereignis und Zuschauen. Oder ich kippe in ein extremes Gefühl von Zeitstillstand, weil diese schon aufgenommene Zeit eben nicht mehr stattfindet, sich aber sehr real anfühlt. Das ist, so glaube ich, wirklich etwas Neues am Medium HD.“ ([9], S.40)

- **Aliaseffekte und Pixel Visibility**

Wird bei einem Abtastvorgang die Grenzauflösung erreicht oder überschritten, so führt dies ohne Vor- oder Nachfilterung zu „Moiré“-Effekten³¹. Alle Bildsensoren weisen nämlich, neben den fotoelektrisch aktiven Pixelanteilen, inaktive Zonen auf, wodurch sich neben den lichtempfindlichen auch lichtunempfindliche Partien befinden, welche die Bildinformation auslesen und dann bei der Vorführung als sich zwischen den aktiv das Projektionslicht modulierenden Flächen des Bildwandlers befindende, dunkle Begrenzungen mit auf die Leinwand abgebildet werden („Pixel Visibility“). Dies vermag der Zuschauer zu erkennen.

- **Zeitliche Isotropie des Bildes**

Der Film ist aufgrund nicht zu vermeidender Ungleichmäßigkeiten³² bei der Filmerstellung ein zeitlich anisotropes³³ Medium, wodurch es zu arhythmischen oder rhythmischen Schwankungen in der Helligkeit und in den Farben kommt.

Die elektronische Bildakquisition, in ihrer Eigenschaft als zeitlich isotropes Medium, kennt im Unterschied dazu höchstens, wenn überhaupt, langsame Drifts einzelner Parameter.

Die anisotropen Eigenschaften des Films, gegenüber dem völlig gleichförmig stehenden Bild der Elektronik, bewirken jedoch auch einen permanenten, anregenden Stimulus für das Auge des Menschen, der, bleibt er unter einer gewissen Schwelle, dem Film Leben einhaucht.

- **Bildstand**

Hier handelt es sich um eine Eigenheit des Films, welche auf Toleranzen des mechanischen Filmtransports beruht. Dieses Problem ist bei digitaler Weiterverarbeitung des Films jedoch durch moderne Filmabtaster³⁴, die den Bildstandsfehler vollständig ausgleichen können, gelöst worden. Bei Datenkompression, in Zusammenhang mit der Auswertung auf andere Medien, würden diese Fehler nämlich sonst zu Artefaktbildungen führen.

³¹ Macht sich bei der Überlagerung von Rastern oder Linien durch die Entstehung neuer Linien bemerkbar (tritt beim Scannen von Bildern mit periodischen Strukturen oder beim digitalen Abtasten von Bildern auf) (<http://de.wikipedia.org/wiki/Moir%C3%A9-Effekt>)

³² Schwankungen in der Dicke und der chemischen Zusammensetzung der Filmschichten in der Filmentwicklung ([22], S.101f)

³³ Bezeichnet die Richtungsabhängigkeit einer Eigenschaft (<http://de.wikipedia.org/wiki/Anisotrop>)

³⁴ auch **Filmgeber/Telecine**; ist in der Fernstechnik ein Gerät, welches Kinofilme und sonstiges Filmmaterial einliest und daraus ein – analoges oder digitales – Videosignal erzeugt (<http://de.wikipedia.org/wiki/Filmabtaster>)

- **Kratzer und Schrammen**

Dies sind organische Bildfehler, die aufgrund der beim Film charakteristischen optischen Bildspeicherung in Form eines verkleinerten optischen Abbildes, bei der Projektion mit abgebildet werden. Dunkel abgebildete Teilchen würden hier Staub bei der Aufnahme oder der Wiedergabe, helle Teilchen Staub bei der Negativabtastung oder -kopierung bedeuten.

Diese dem Film anhaftenden Bildfehler führen, durch deren Auftreten, zu der Annahme, dass es sich um Film handle. So besitzen viele digitale Schnittsysteme Filter, die dies zu simulieren im Stande sind.

Bei der digitalen Signalspeicherung verhält es sich anders, denn sollten bei einer Magnet- oder Bandaufzeichnung, oder einer Festplatte, Verunreinigungen auftreten, so führen diese mitunter zu Datenverlusten, welchen durch redundante Systeme vorgebeugt werden kann. Bei größeren Verlusten wird mit Fehlerkompensationsverfahren gearbeitet, welche ab einer gewissen Schwelle aber trotzdem Artefakte auftreten lassen, die vorwiegend anorganischer Natur sind (z.B.: schachbrettartige Bildwürfelungen).

- **Kontrastwiedergabe**

Ein moderner Negativfilm kann Kontraste von bis zu 1:10000 aufzeichnen, wobei die hellste gerade noch durchzeichnete Bildpartie 10000mal heller sein darf, als die dunkelste. Bei der Kopierung des Positivs wird der beim Negativmaterial mögliche Kontrastumfang auf höchstens 1:250³⁵ reduziert.

Aktuelle CCD³⁶-Bildwandler, CMOS³⁷-Sensoren besitzen jedoch eine noch höhere Dynamik, weisen einen übertragbaren Kontrastumfang von über 1:1000 auf. Das Problem der elektronischen Bildakquisition liegt also nicht am Sensor sondern an der Signalaufzeichnung, da es nämlich ohne „*Head Room*“ (Reserve in der Datenmenge) zu Begrenzungseffekten wie zugelaufenen Schatten³⁸ oder ausgefressenen Lichtern³⁹ kommen kann.

Die Gammakurve bei HD, welche das Verhältnis zwischen Aufnahme- bzw. Objektkontrast und Abbildungs- bzw. Bildkontrast beschreibt, kann aber relativ frei, auch bezogen auf einzelne Farbkanäle, eingestellt werden, so dass Unzulänglichkeiten des kleineren Kontrastumfangs, welcher ja einer stetigen Weiterentwicklung unterliegt, ausgeglichen werden können.

³⁵ Belichtungsspielraum; übertragbarer Szenenkontrastumfang von sieben Blendenstufen (vgl. [22], S.103f)

³⁶ **Charge Coupled Device** (dt. „*ladungsgekoppeltes Bauteil*“): ein wichtiges elektronisches Bauteil in digitalen Videokameras und Fotoapparaten (http://de.wikipedia.org/wiki/Charge_Coupled_Device_%28allgemein%29)

³⁷ „**Complementary Metal Oxide Semiconductors**“ (dt. komplementärer Metall-Oxid-Halbleiter) eignen sich aufgrund ihres geringen Leistungsbedarfs besonders für die Herstellung integrierter Schaltungen; mit ihr werden Mikroprozessoren, Speicherelemente und Sensoren (z. B.: Fotodetektoren in Form von CMOS- Sensoren für die Digitalfotografie) gefertigt (<http://de.wikipedia.org/wiki/Cmos>)

³⁸ harter Einsatz der Bildübertragung in den Schatten (vgl. [22], S.103f)

³⁹ „**clipping**“. Hartes Abknicken in den Lichtern (vgl. [22], S.103f)

Film hat hier den entscheidenden Vorteil, dass die Gradationskurve⁴⁰ des Negativmaterials, entgegen der linearen Charakteristik elektronischer Bildwandler, mit einem gerundeten Anstieg in den Schatten beginnt und in einer gerundeten Abflachung zur maximalen Dichte hin endet („*eleganter Fehler*“), die Kontrastübertragung des Films also selbst harte Begrenzungseffekte vermeidet und der menschlichen Wahrnehmung, deren Helligkeitsempfinden in verschiedenen Helligkeitsbereichen unterschiedlich ausgeprägt, also in den mittleren Graustufen feiner differenziert ist, als in sehr hellen oder sehr dunklen Bereichen, besser gerecht wird.

- **Farbwiedergabe**

Beim Medium Film beruht die Farbempfindlichkeit und -differenzierbarkeit bei der Aufnahme in erster Hinsicht auf den unterschiedlichen spektralen Empfindlichkeiten der drei Filmschichten, die Farbwiedergabe dagegen auf den spektralen Absorptionseigenschaften der bei der Entwicklung in den drei Filmschichten erzeugten Farbstoffe. Des Weiteren trägt die spektrale Charakteristik des Projektionslichtes das ihre dazu bei. Auch wenn es hier zweckentfremdend ist, noch ausführlicher zu werden, so lässt sich dennoch statuieren, dass in der Fertigung moderner Farbfilme ein hohes Maß an chemischer und verfahrenstechnischer Hochtechnologie steckt.

Bei der elektronischen Kamera beruht die Farbempfindlichkeit und -differenzierbarkeit auf mehreren Komponenten wie dem Farbseparationssystem (Strahlenteiler bzw. Streifenfilter), dem verwendeten Korrekturfilter und der spektralen Empfindlichkeit der Bildwandler. Die Farbwiedergabe ist also konstruktiv festgelegt und elektronisch in der Kamera beeinflussbar. Auf der Wiedergabeseite beruht die Farbcharakteristik vor allem auf den spektralen Eigenschaften des Bildwandlerprinzips und der Spektralcharakteristik der Lichtquelle des Projektors.

- **Alterung**

Mit der Farbwiedergabe verknüpft ist die Frage nach der Alterung von Filmmaterial. Das Ausbleichen der Farbstoffe kann hier mit Alterungssimulationen in gewissen Grenzen getestet und vorausgesagt werden, und auch der Einfluss des Projektionslichtes auf die Farbstoffe des Films lässt sich simulieren. Es lassen sich aus entsprechenden Testreihen Dichteveränderungen ermitteln, die auf längere Zeiträume hochgerechnet werden können.

So kann heute, bei neuen Negativmaterialien, eine Archivfestigkeit von über 100 Jahren, richtige Lagerung vorausgesetzt, angenommen werden. Ältere Negativ- und Positivmaterialien müssen auf Grund ihres erheblichen Ausbleichens immer wieder restauriert werden.

⁴⁰ Unter **Dichte (Gradation)** versteht man in der Fotografie das Ausmaß der Umwandlung des lichtempfindlichen Materials in Folge der Belichtung und Entwicklung in sichtbares Grau/Schwarz (Schwärzung) oder Farbe. Zwischen dem Ausmaß der Belichtung sowie der Entwicklung und der Dichte besteht ein Zusammenhang, der durch den Dichteumfang und die Dichtekurve beschrieben werden kann (<http://de.wikipedia.org/wiki/Gradationskurve>)

Bei elektronischen Datenträgern verhält es sich anders. Zwar altern auch sie, die Verluste im Bild äußern sich aber anders. Bei älteren Magnetbändern, zum Beispiel, kann es zur Zersetzung kommen und bei neueren zu einer Trennung der Magnetschicht vom Schichtträger.

Bei DVDs kann es vorkommen, dass sie schon nach fünf Jahren nicht mehr gelesen werden können oder dass sich die aufeinander gepressten Schichten voneinander lösen.

Was die Archivierung anbelangt, stellt sich die Frage, ob aufgrund der kürzeren Innovationszyklen heutiger Speichersysteme die gleiche Langzeitfestigkeit wie beim Film gewährleistet wird. Hierzu gibt es jedoch keine, dem Film entsprechende Langzeitversuche, die diese Frage beantworten könnten. Bei digitalen Systemen wird eine ständige und regelmäßige Datenkopierung von älteren auf neuere Systeme notwendig werden.

- **Konturenwiedergabe**

Die Filmemulsion ist so aufgebaut, dass feine Strukturen im Wesentlichen durch echte Modulationstiefe und weniger durch eine Kantenanhebung (Hell-Dunkel-Kanten) differenziert werden.

Bei den elektronischen Kameras werden, wegen der begrenzten Auflösung, Hell-Dunkel-Übergänge elektronisch verstärkt, also horizontal und vertikal aufgestellt. Die entsprechenden Schaltungen, sie heißen „*Apertur*⁴¹-*Korrektur*“, „*Detailing*“ und „*Crispening*⁴²“, haben zum Nachteil, dass der Effekt nachträglich nicht mehr herausgefiltert werden kann. Besonders bei Spitzlichtern kommt es zu unschönen, anorganisch wirkenden, dunklen Konturen um das Spitzlicht herum.

- **Bewegungswiedergabe**

Digitale Filmkameras arbeiten ohne Zeilensprungverfahren, also progressiv. Bei elektronischen Bildwandlern, welche ohne Verschluss arbeiten, gibt man statt der Belichtungszeit die Bildintegrationszeit an, welche dem Kehrwert der Bildfrequenz für das Kino (1/24 bzw. 1/25 sec) entspricht.

Filmbilder hingegen werden mit einer Flügelblende von 180° belichtet, was eine Belichtungszeit von 1/48 bzw. 1/50 Sekunde ergibt (Hälfte aller Bewegungsinformationen ausgeblendet), was sich bei einer elektronischen Kamera mit Hilfe eines Shutters⁴³ bewerkstelligen lässt.

Trotzdem treten auch dann noch gewisse Unterschiede bei der Wiedergabe von Bewegungen auf.

⁴¹ Bei optischen bildgebenden Sensoren wird der lichtempfindliche Anteil des Pixels als Apertur oder auch Füllfaktor bezeichnet. Bei CMOS-Sensoren liegt dieser Wert zwischen 30% und 80%. (Stand 2002)

⁴² Verbessern nicht tatsächlich die Auflösung, sondern lediglich den Kantenkontrast (vgl. [22], S.110f)

⁴³ ein lichtdichtes, mechanisch bewegliches Element, das bei einer Kamera im Strahlengang vor der Bildebene liegt. Während der Belichtungszeit wird dieses Element für die Dauer der voreingestellten Verschlusszeit geöffnet, in der das vom Objektiv kommende Licht auf die Bildebene trifft. Nach erfolgter Belichtung schließt sich der Verschluss und schützt bis zur nächsten Aufnahme die lichtempfindliche Schicht des Aufnahmematerials bzw. den digitalen Bildsensor vor ungewolltem Lichteinfall. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Shutter>)

- **Zeitlupe und Zeitraffer**

Die Laufgeschwindigkeit bei der Aufnahme von Film ist stufenlos veränderbar, wobei moderne Kameras den Bereich zwischen zwei (12-facher Zeitraffer) und 75 (3-fache Zeitlupe) Bildern pro Sekunde abdecken. Da weiters das Verhältnis von Belichtungszeit und Dunkelphase konstant bleibt, hat die Bewegungsschärfe immer die gleiche relative Größe und somit ist der Bewegungseindruck bei der Wiedergabe gleichbleibend und flüssig. Auch Geschwindigkeitsrampen, das sind Änderung der Geschwindigkeit während der Aufnahme, sind möglich.

Mit elektronischen Kameras wiederum lassen sich echte Zeitlupe und Zeitraffer nur sehr eingeschränkt herstellen, was zum einen daran liegt, dass sich der Auslesetakt eines CCDs nicht ohne weiteres beschleunigen lässt, zum anderen daran, dass z.B. Magnetbandrekorder nur mit einer einzigen normierten Bildfrequenz laufen können. Nur spezielle Systeme ermöglichen eine echte Zeitlupe, wie sie bei Sportübertragungen verwendet wird.

Bei analogen und digitalen elektronischen Bildmedien kann die Bildfrequenz in der Nachbearbeitung wesentlich einfacher und leichter, ohne weitere Kopierschritte, variiert werden. Die Möglichkeiten beschränken sich jedoch auf das nachträgliche Auslassen oder Vervielfachen zuvor aufgenommener Bilder. Da die Belichtungszeit jedoch gleich bleibt, haben nachträgliche Zeitrafferaufnahmen bei der Wiedergabe eine geringere, nachträgliche Zeitlupenaufnahmen eine größere Bewegungsunschärfe.

- **Tiefenschärfe**

Während bei momentan eingesetzten CCDs Bildfeldgrößen von ca. 10 x 6 mm oder weniger eingesetzt werden, ist ein Standard-35mm-Filmbild mehr als fünf Mal so groß (22 x 16).

Da nun für einen bestimmten Bildwinkel, d.h. für eine bestimmte Einstellungsgröße bei einem bestimmten Aufnahmeabstand, die Objektivbrennweite proportional zur Bildfeldgröße⁴⁴ ist und die Objektivbrennweite im Quadrat in die Tiefenschärfe⁴⁵ eingeht, haben elektronisch akquirierte Bilder bei gleichem Blickwinkel und gleicher Blende stets eine höhere Tiefenschärfe als Filmbilder. Das ist jedoch, in gestalterischer Hinsicht, mehr Nach- als Vorteil, da eine geringe Schärfentiefe ein wichtiges Gestaltungsmittel, man spricht von selektiver Schärfenführung, im Kino ist.

⁴⁴ Ein doppelt so großes Bildfeld fordert eine doppelt so große Brennweite, um die gleiche Einstellung oder den gleichen Bildwinkel zu erzielen ([22], S.113)

⁴⁵ Je größer die Brennweite, desto geringer die Tiefenschärfe ([22], S.113)

- **Optische Artefakte**

Beim heutigen, einstreifigen Filmverfahren befinden sich die Farbauszüge übereinander auf einem einzigen Filmstreifen. Die Farbseparation beruht auf der unterschiedlichen farblichen Lichtempfindlichkeit der drei Schichten.

Bei herkömmlich verwendeten elektronischen Kameras basiert die Farbseparation auf der Aufspaltung des Lichtes durch ein Glasprisma in jeweils einen Lichtweg mit rotem, blauem und grünem Lichtanteil. An den Enden des Prismas befindet sich jeweils ein Bildwandler für die oben genannten Farben.

Dieses Prisma mit seinen großen optischen Weglängen ist auch dafür verantwortlich, dass sich die hier eingesetzten Objektive von denen der Kamera unterscheiden, sei es durch ihre weniger präzise Verarbeitungsqualität, oder durch ihr der Berichterstattung angepasstes Design.

Mittlerweile haben Objektivhersteller jedoch die speziellen Anforderungen beim Film erkannt und „*Cine Style*“ Objektive geliefert, die sich vor allem durch Bereitstellung von Festbrennweiten auszeichnen (Kontrastübertragung, Streuverhalten und Lichtstärke sind bei diesen Objektiven besser).

Das Strahlenteilerprisma führt weiters zu bestimmten räumlich anisotropen Bildartefakten, wie zum Beispiel dem „*Focus Shading*“⁴⁶, welches umso stärker ist, je selektiver die Schärfe ist.

Aus diesen Gründen bestehen aktuelle Entwicklungsziele darin, große Bildwandler zu konstruieren, bei denen die Separation auf dem Wandler geschieht und somit ein Strahlenteilerprisma unnötig macht. Es könnten dann herkömmliche Filmobjektive verwendet werden und die Lookparameter Tiefenschärfe, Begrenzung auf Blende 1.4 und Focus Shading wären befriedigender ausgeführt. Eine heute erhältliche Kamera, die diesen Ansatz verfolgt, ist die **ARRI D-20** mit ihrem CMOS-Sensor (vgl. Abb. 3)

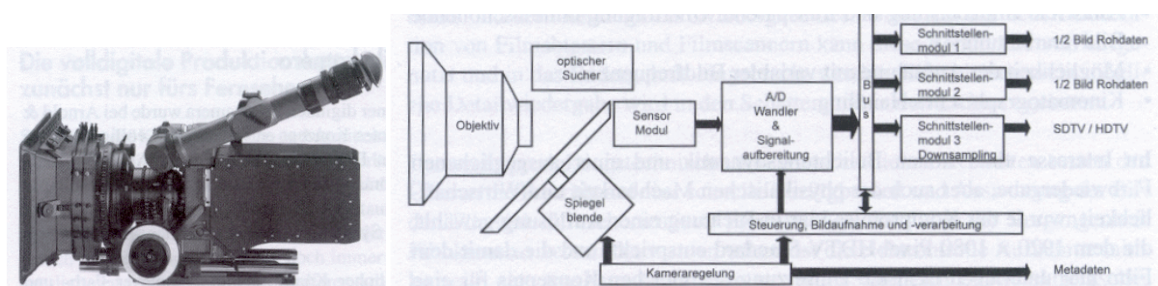


Abb. 3 Die ARRI D-20 Digitalkamera und deren Blockschaltbild (Quelle: [16], S.88)

- **Flimmern**

Das Großflächenflimmern tritt wiedergabeseitig auf, da bei Filmprojektoren für die Dauer des mechanischen Transports das Bild mit einer so genannten Flügelblende abgedunkelt wird.

⁴⁶ Hier bilden sich bei vertikalen Hell- Dunkel- Übergängen, die vor oder hinter der Schärfeebene liegen, grüne oder magentafarbene, unscharfe Übergänge (horizontale Übergänge sind unscharf, aber farbneutral). (vgl.[22], S.114)

Aufgrund der Trägheit des Auges führt die „*intermittierende Projektion*“ oberhalb einer gewissen Grenzfrequenz, der Flimmerfrequenz⁴⁷, zu einem kontinuierlichen Helligkeitseindruck. Da im Kino, in einem fast völlig abgedunkelten Raum, projiziert wird, sich das Auge also aufgrund der geringen mittleren Helligkeit im Zustand des Dämmerungssehens befindet, liegt die Flimmerfrequenz bei unter 48 Hertz. Da der Filmprojektor mit 24 Bildern läuft, genügt eine 2-Flügelblende, so dass jedes Bild vor dem Transport zwei Mal projiziert wird.

Bei elektronischen Projektoren ist dieses Flimmern sehr unterschiedlich. Unterschieden werden kann zwischen Systemen mit integralem Bildaufbau (z.B.: LCD-Projektoren) und solchen mit bildpunktweisem Aufbau (z.B.: Röhrenprojektor).

- **Digitale Artefakte**

Während digitale Audiosignale als 2-dimensionaler Datenstrom aufgefasst werden (Pegel über Zeit), stellen digitale Bildsysteme einen 3-dimensionalen Datenstrom dar (2 räumliche Dimensionen über der Zeit), welcher wiederum in drei Anteile von Informationen, nämlich in relevante⁴⁸, irrelevante⁴⁹ und redundante⁵⁰, aufgeteilt werden kann.

Die Qualität eines Datenkompressionsverfahrens richtet sich nun danach, wie gut diese Informationen erkannt und getrennt behandelt werden können, wobei Aufnahme, Postproduktion und Distribution jeweils andere Anforderungen stellen. So erfordert eine Magnetbandaufzeichnung eine konstante Datenrate, wobei ein nonlineares Schnittsystem über Hard Disks einen variablen Datenstrom verarbeiten kann. Deshalb fordert man in der Produktionskette eine geringe Datenreduktion („*Intra-Frame-Verfahren*“⁵¹).

In der Distribution hingegen sollte die Datenmenge möglichst gering sein und der Zugriff auf einzelne Bilder, so wie in der Produktion, ist nicht von Nöten („*Inter-Frame-Verfahren*“⁵²).

Da in einer Übertragungskette meist verschiedene Kompressionsverfahren nacheinander verwendet werden, können sich Artefakte bilden, die durch Kaskadierung im Gesamten gravierender sind, als im Einzelnen.

Zum Schluss sollte es noch einmal bewusst gemacht werden, dass all diese Parameter einem technischen Wandel unterliegen und sich in einigen Punkten wie Farbwiedergabe, Rauschen, Überbelichtungsfestigkeit etc. die beiden Aufnahmemedien einander annähern werden. Das „*Eigenleben*“ des Films, meint auch Slansky, wird jedoch ein prinzipieller Unterschied bleiben.

⁴⁷ Abhängig von absoluter Helligkeit, dem Stimmungszustand des Auges, vom Betrachtungswinkel und von der Länge des Hellanteils bei der Projektion. ([22], S.115)

⁴⁸ Verlust wäre nicht korrigierbar und würde vom Zuschauer bemerkt werden

⁴⁹ Verlust wäre nicht korrigierbar, würde vom Zuschauer aber nicht bemerkt

⁵⁰ lässt man etwas weg, so stellt es keinen Verlust dar

⁵¹ Codierung von Einzelbildern

⁵² höhere Effizienz durch die Nutzung der zeitlichen Beziehung zwischen aufeinander folgenden Bildern ([22], S.116f)

3 Postproduktion

3.1 Einführung

Egal ob konventionell, oder digital akquiriert, ist ein Film einmal gedreht, beginnt die Postproduktion. Dieser umfassende Begriff bezieht sich nicht nur auf das Schneiden des Filmes, also das Zusammenfügen unterschiedlicher Einstellungen, um eine Geschichte zu erzählen, sondern auch auf Sound Effekte, Dialoge, die Mischung des Soundtracks, Visual Effects und ein letztes „*Color-Grading*“⁵³.

Dieses Kapitel soll momentan zur Anwendung kommende Postproduktionssysteme auflisten und gegenwärtige und zukünftige Prozesse skizzieren.

In der Postproduktion hatte die Einführung digitaler Technologien bis jetzt den größten Einfluss. Durch die Bearbeitung des Filmmaterials auf computergestützten, digitalen Systemen ergeben sich neue Möglichkeiten im nonlinearen Schnitt, dem Compositing und in der Computeranimation, welche es im klassischen Film in dieser Form noch nicht gab.

3.2 Postproduktion beim Film

Zunächst wird hier das originale Negativ anhand einer EDL⁵⁴ („*edit decision list*“) geschnitten und dann lichtbestimmt. „*Bei der Lichtbestimmung haben wir den Vorteil, dass wir auf Negativinformationen zugreifen können, die nicht sichtbar sind*“, meint Matthias Bürcher, freischaffender Filmeditor und Programmautor ([2], S.64), während man beim Digitalen auf das Sichtbare mehr Einfluss hat (Primäre⁵⁵, sekundäre Lichtbestimmung⁵⁶, Spot-Color-Correction⁵⁷). Die konventionelle Lichtbestimmung beim Film ist zudem immer noch eine photochemische und dadurch, weil von der Chemie abhängig, nur begrenzt beeinflussbar.

Danach wird ein Interpositiv (IP), durch direkten Kontakt mit dem geschnittenen Negativ gefertigt. Meist erfolgt dies in einem „*Wet Gate Printer*“, einem speziellen Gerät, in welchem der Film während des Prozesses in eine chemische Flüssigkeit getaucht ist, welche denselben Lichtbrechungsindex wie der Film selbst aufweist und somit kleinere Kratzer ausgeglichen werden können. In diesem Arbeitsvorgang (vgl. Abb. 4) wird das Negativ mit den Lichtbestimmungswerten des „*Answer Prints*“ auf ein sehr feinkörniges, speziell formuliertes Filmmaterial gedruckt.

⁵³ „**Color grading**“ is the process of altering and enhancing the color of a motion picture or television image, either electronically, photo-chemically or digitally. The photo-chemical process is also referred to as *color timing* and is typically performed at a photographic laboratory. Modern color correction, whether for theatrical film or video distribution, is generally done digitally. ([17], S.83)

⁵⁴ Die **Edit Decision List** ist eine Schnittliste mit Anweisungen für die Ausführung des Online- Schnittes. Sie enthält den Time Code der In- und Out-Punkte, der Quellen- und des Zielbandes, Informationen über Video- und Tonspuren sowie Überblendungen. (vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Edit_Decision_List)

⁵⁵ generelle Beeinflussung des Farbraumes ([2], S.64)

⁵⁶ gezielte Veränderung einzelner Farben ([2], S.66)

⁵⁷ Gezielte Veränderung von Farbe an einzelnen Orten ([2], S.67)

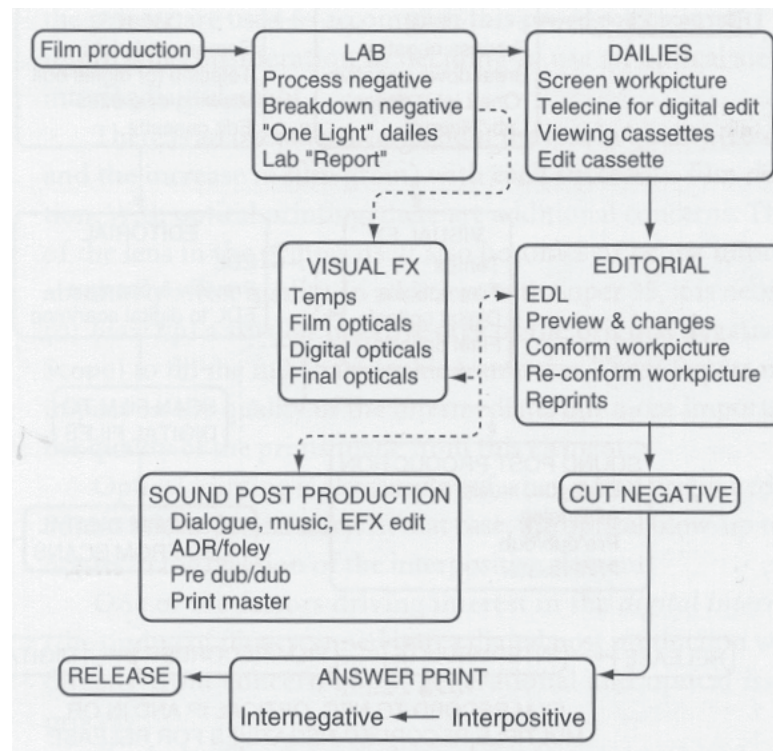


Abb. 4 Release printing workflow (Quelle: [21], S.29)

Das Interpositiv wird auch als intermediäres Element bezeichnet, da es als Quelle für das nächste Element in diesem Prozess dient, das Internegative (IN), einer Art Kopie des originalen Negativs und Ausgangsmaterial für sämtliche „Release Prints“. Dieses wird entweder durch direkten Kontakt oder einen optischen Druck bewerkstelligt.

Für landesweite Releases müssen so genannte „*dupe negs*“ hergestellt werden, da die Negative während des Kopierprozesses an Qualität verlieren. Grundsätzlich können mit einem einzigen „*dupe negative*“ 800 bis 1000 Kinokopien hergestellt werden.

Die größten Nachteile, die sich aus diesem Prozess ergeben, sind sowohl die durch jede erneute Filmkopie entstehenden Generations- und optischen Verluste, als auch ökonomische Nachteile.

Aus diesen Nachteilen leitet sich ein gesteigertes Interesse am „*Digital Intermediate*“ (vgl. Abb. 5) Prozess ab, in erster Linie um die erwähnten Verluste zu verhindern und um Kosten für Kinokopien und Botendienste zu sparen.

Die Anzahl an Kinokopien ist nämlich im Steigen begriffen, sei es nun aufgrund drohender Piraterie oder aufgrund von Marketing- und Distributionsstrategien und der Wunsch nach eventuell gleichzeitigen, weltweiten Veröffentlichungen wird die Anzahl weiter steigen lassen.

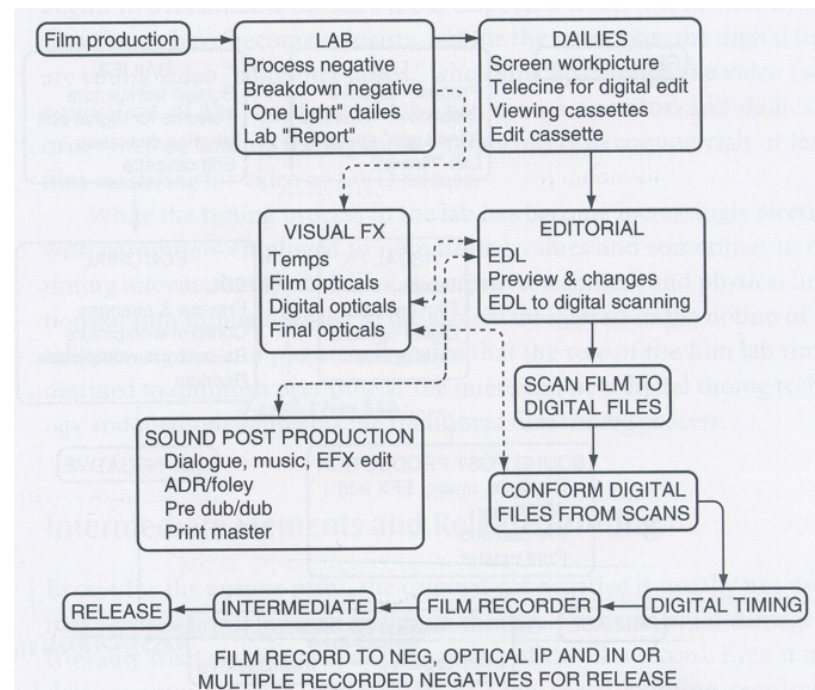


Abb. 5 Intermediate elements workflow (Quelle: [21], S.30)

3.3 Digitale Postproduktion

Nachdem die aufgenommenen Bilder und Töne eines Films zusammengestellt und bearbeitet worden sind, somit ein Original hergestellt worden ist, sei es nun ein geschnittenes Originalnegativ oder ein digitales Master, dient selbiges, über eine Reihe von Zwischenkopierstufen, zur Erstellung der Kopien für die Distribution.

Bei der digitalen Postproduktion liegt dieses Bildmaterial durch einen digitalen Abtastvorgang oder durch digitale Bildakquisition bereits digital vor.

In die digitale Postproduktion sind die Bereiche nonlinearer Schnitt, Compositing (Bildteile und -ebenen werden durch Stanz- oder Maskenverfahren kombiniert) und Computeranimation (Simulation von Objekt- und Kamerabewegungen) einzuordnen. Diesen Arbeitsschritten der Filmnachbearbeitung ist gemein, dass das akquirierte Filmmaterial auf Computern digital bearbeitet werden kann. Während dies früher nur auf Großrechnern möglich war, laufen heute viele Bearbeitungsschritte schon auf Personal- oder Apple-Computern mit entsprechender Software.

Der Einsatz der Digitaltechnik bringt dadurch Vorteile, dass die Schnittfestlegung keine hochqualitativen Bilder fordert, sondern mit datenreduziertem Material sein Auskommen findet und dass nun ein schnelleres und effizienteres Zugreifen auf und Korrigieren von Sequenzen möglich ist. Auch ist es möglich mehrere Schnittversionen zu erstellen. Zudem ist die beim Film erforderliche Lichtbestimmung, welche mit der Farbbeurteilung und -kalibrierung betreffenden Problemen, behaftet ist, nun mit Hilfe digitaler Daten durchzuführen, die wesentlich mehr Freiheitsgrade als die konventionelle Licht-

bestimmung im Kopierwerk erlauben, sich also nicht nur auf das Abändern des Mischverhältnisses der Grundfarben beschränkt.

Ein digitales Schnittsystem besteht im Wesentlichen aus einem Computer mit Standardperipherie (Monitor, etc.), der entsprechenden Software, einem externen Video-Monitor und einem Gerät für das Zu- und Ausspielen des Bildmaterials (z.B.: MAZ⁵⁸).

Bei fast allen professionellen Schnittsystemen kommen noch externe Festplattensysteme sowie eine dedizierte⁵⁹ Hardwareeinheit dazu.

Da Komponenten genau aufeinander abgestimmt werden müssen, werden Schnittsysteme traditionell als Komplettsysteme, d.h. Hardware plus Software (ohne MAZ) vertrieben.

Für den HD-Online Schnitt und das „*Finishing*“ (Farbkorrektur etc.) stehen heute im Wesentlichen zwei Möglichkeiten zur Auswahl:

- **Highend-Komplettlösung** bestehend aus Software, Rechner und dedizierter Hardwareeinheit (Avid Ds Nitris bzw. Adrenaline (mit entsprechender Erweiterungskarte Sony Xpri bzw. Vegas oder Quantel EQ) → teures, aber schnelles Spezial-System
- **Preisgünstigere auf Desktopcomputern basierende Lösungen** wie Apple Final Cut Pro (Desktoprechner mit entsprechender (HDSDI-)Schnittstellenkarte [auch bei der Arbeit mit HD]) → an Hardware gespart; längere Bearbeitungszeiten; höhere Personalkosten

Mit Zweiterem kann zwar durchaus professionell gearbeitet werden, doch muss bei aufwendigeren Prozessen (z.B.: Farbkorrekturen etc.) mit sehr langen Rechenzeiten („*rendering*“) gerechnet werden. Das entscheidende Kriterium für die praktische Nutzbarkeit solcher Systeme ist die Fähigkeit zum flüssigen Arbeiten.

Da bei Software-basierten Systemen die Entwicklung der Leistungsfähigkeit mit der dynamischen Entwicklung (Moore's Law⁶⁰, 1965) von Desktop-Computern korreliert, ist absehbar, dass solche Systeme in Zukunft Ähnliches wie High-End-Systeme mit dedizierter Hardware leisten werden können. (vgl. [10], S65ff)

Das bringt mit sich, könnte man meinen, dass alle anfänglich erwähnten Bereiche der Postproduktion auf der gleichen Hardware arbeiten werden, es also im Bereich des Möglichen wäre, dass die hier noch getrennt voneinander behandelten Bereiche zusammenwachsen werden.

Auf Grund unterschiedlicher Anforderungsprofile an die Operatoren jedoch scheint eine fortbestehende Abgrenzung in Zukunft dennoch wahrscheinlicher, so Kornacher. (vgl. [15], S.207)

⁵⁸ Eine **Magnetaufzeichnung** ist eine elektronische analoge oder digitale Aufzeichnung von Inhalten visueller, akustischer oder abstrakter Natur auf magnetische Medien, meist Magnetbändern. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Magnetaufzeichnung>)

⁵⁹ ein **dediziertes** Gerät ist speziell dazu ausgelegt eine einzige, spezielle Aufgabe zu erfüllen (<http://de.wikipedia.org/wiki/Dediziert>)

⁶⁰ Besagt, dass sich die Anzahl der Transistoren auf einem Chip, welche als Schlüsselkriterium für die Geschwindigkeit von Mikroprozessoren gilt, alle 24 Monate verdoppeln lässt. Aufgrund von Tunnel-Effekten und zunehmender Hitzeentwicklung wird das Gesetz aber wohl nicht mehr allzu lange mit einer solchen Genauigkeit prognostizieren können. (vgl. [10], S.67f)

3.3.1 Die Zukunft der digitalen Postproduktion

Hans Kornacher, künstlerisch-wissenschaftlicher Mitarbeiter an der „Hochschule für Fernsehen und Film“ in München stellt hierzu folgende Fragen in den Raum: „Wird durch die computergestützte digitale Postproduktion eine neue Kreativität bei den Operatoren geweckt und werden neue Ideen hervorgebracht und ermöglicht? Oder wird durch einen technischen Apparat eine Distanz zwischen dem Operator und dem Material aufgebaut, die einen intuitiven und von neuen Ideen geprägten Umgang erschwert oder gar nicht möglich macht?“ ([15], S.207)

Diese Situation – zu einer ähnlichen kam es schon, als der klassisch nonlineare Filmschnitt vom linearen Videoschnitt abgelöst wurde – gilt es zu beobachten, so Kornacher. Aufgrund elektronischer Steuerungen, „Timecodes“⁶¹, Zahlenkolonnen auf den Computerschirmen und der hohen technischen Komplexität kam es zu einer spürbaren Distanz und einem Rückschritt in gestalterischer Hinsicht. (vgl. [15], S.207)

Konventionelle Schnittmuster mit wenig Mut zu neuen Ideen und ein gewisser Automatismus, aufgrund des Wissens, dass ein Nachschneiden einer Szene, wegen des chronologischen Schneidens ein großer Mehraufwand war, führten zu weniger innovativen und experimentellen Ergebnissen.

Dieser besagte Rückschritt wurde erst mit Einführung des computergestützten nonlinearen Schnittsystems wieder rückgängig gemacht. Nun war ein kreativerer Umgang mit dem Medium möglich. Verschiedene Erzählstrukturen und Varianten konnten schnell ausprobiert werden und schnelle, kurze und sehr experimentelle Montagemuster in Kinofilmen waren die Folgen dieser technischen Entwicklung.

Die Entwicklung geht also, wie bereits erwähnt, in die Richtung, dass die gesamte Postproduktionskette, mit ihren unterschiedlichen Bereichen, auf Computersystemen durchgeführt wird, welche immer schneller werden und immer größere Speicherkapazität besitzen.

Kornacher meint dazu: „Kinobilder in besserer Qualität können komplexeren Bearbeitungen unterzogen werden zu einem immer geringeren Preis.“ ([15], S.208)

Da die für die professionelle Bildbearbeitung notwendigen Programme und die Computer in einem für jeden erschwinglichen Preissegment angekommen sind, können junge Operatoren mit neuen Ideen in den Markt eindringen und mit arrivierten bzw. etablierten Produktionshäusern in einem bisher undenkbaren Maße konkurrieren. (vgl. [15], S.208)

⁶¹ Der **Timecode (TC)** bzw. Zeitstempel entstand aus dem Wunsch der Filmemacher, Ton und Bild exakt zu Synchronisieren beziehungsweise Dokumentarfilme ohne das Schlagen einer Klappe drehen zu können. Heute findet er sowohl im Film als auch Videobereich seine Anwendung. In der Postproduktion (Nachbearbeitung des Filmes) ist der Timecode zwingend erforderlich, um Bild und Ton synchronisieren zu können (<http://de.wikipedia.org/wiki/Timecode>)

Dem entgegen macht Philipp Hahn darauf aufmerksam, dass, obwohl durch die Entwicklungen in der IT Branche davon auszugehen ist, dass die Kosten für die Rechenleistung solcher Systeme von einem starken Preisverfall betroffen sein werden, eine Kostenverschiebung in Richtung der Peripherie stattfinden wird. (MAZ, Monitore, etc.). (vgl. [10], S.70)

Er behauptet: „*Wer maximale Ansprüche an die Qualität stellt, wird auch weiterhin mit hohen Ausgaben für seine Ausrüstung kalkulieren müssen. Ist man jedoch gewillt, bei der Geschwindigkeit bzw. Qualität Abstriche zu machen, fallen die Anschaffungskosten solcher Systeme sehr viel schneller als bislang – bei der Bereitschaft zu starken Einschränkungen sogar in den Preisbereich, in dem bislang ausschließlich Prosumersysteme angesiedelt wurden. Dies bedeutet letztlich, dass auch in der Postproduktion die Kosten für High-End Qualität relativ steigen.*“ ([10], S.70)

Die Entwicklung der digitalen Postproduktion ist somit an einem Punkt angelangt, an dem es durchaus noch qualitative Verbesserungen geben wird, jedoch unter Umständen keine quantitativen Sprünge mehr zu bestaunen sein werden und in dem alles möglich und nur mehr eine Frage des Geldes ist. Nahezu jede beliebige Idee, sei sie noch so phantastisch, ist durch die digitale Postproduktion, also den nonlinearen Schnitt, die Visual Effects und die Computeranimation, in ein sichtbares Bild umsetzbar.

Mit den Mitteln digitaler Postproduktion ist also beinahe jeder Look gestaltbar und jedes Wesen oder Objekt synthetisch generierbar und dennoch ist es schwierig die Erwartungshaltung eines Zuschauers die Authentizität (Komposition, Lichtführung, Abbildungscharakteristik, etc.) subjektbezogener Looks betreffend, an die er gewöhnt ist und welche er erwartet, zu erfüllen. (vgl. [16], S.75)

Da also der Zuschauer von der digitalen Omnipotenz weiß, gibt es kaum mehr Erstaunen, und gerade dadurch könnte der Film seiner ältesten und wichtigsten Wirkung beraubt werden, so Kornacher: des Staunens auf gerade dem die Effekte der digitalen Postproduktion basieren. (vgl. [15], S.209)

4 Mastering

4.1 Zur Funktionsweise des digitalen Kinos

Das digitale Kino (vgl. Abb. 6) greift schon in den Filmproduktionsprozess ein, an dessen Ende nun, anstatt einer Nullkopie oder eines Negatives, ein so genanntes DSM („*Digital Source Master*“) steht, welches den Film in maximaler Qualität und zusätzliche Informationen zur Farbigkeit, Gamma, Bildformat und anderem enthält. So kann es grundsätzlich für sämtliche, unterschiedliche Anforderungen stellende, Verwertungskanäle dienen („*Single Source Master*“).

Diese eben beschriebene Datei wird dann an ein Play-Out-Center weitergeleitet, welches, ähnlich einem heutigen Kopierwerk, den Film speichert, verwaltet und für die Erstellung digitaler Kopien für die unterschiedlichen Verwertungswege verantwortlich ist, wie z.B.: Kino, DVD und Video. Für die Projektion im Kino wird hierauf ein so genanntes „*Digital Cinema Distribution Master*“ (DCDM) erstellt, welches alle für die Projektion erforderlichen Daten beinhaltet (Bilddaten, Ton, Untertitel, Projektionsdaten, etc.).

Ein wichtiger Teil dieses Prozesses ist auch die Komprimierung und Verschlüsselung der Inhalte mittels DRM-Systemen, welche auch die Lizenzvergabe und Abrechnung bestimmen (Zeitraum, Zeitfenster, technische Mindestanforderungen für Wiedergabe, etc.).

Das DCDM wird dann als DCP („*Digital Cinema Package*“) mit Datenträgern (z.B.: DLT-Tapes⁶², Festplatten, DVDs) oder per Breitband- oder Satelliten-Verbindung (Rückkanal zur Verrechnung) zu den Kinos transportiert und auf einem Server zwischengespeichert.

Entschlüsselt und wiedergegeben wird der Inhalt dann entweder auf dem Server, der den Film per Datenstrom dem Projektor zur Verfügung stellt („*push-Verfahren*“), oder im Projektor selbst („*pull-Verfahren*“). (vgl. [10], S.72ff)

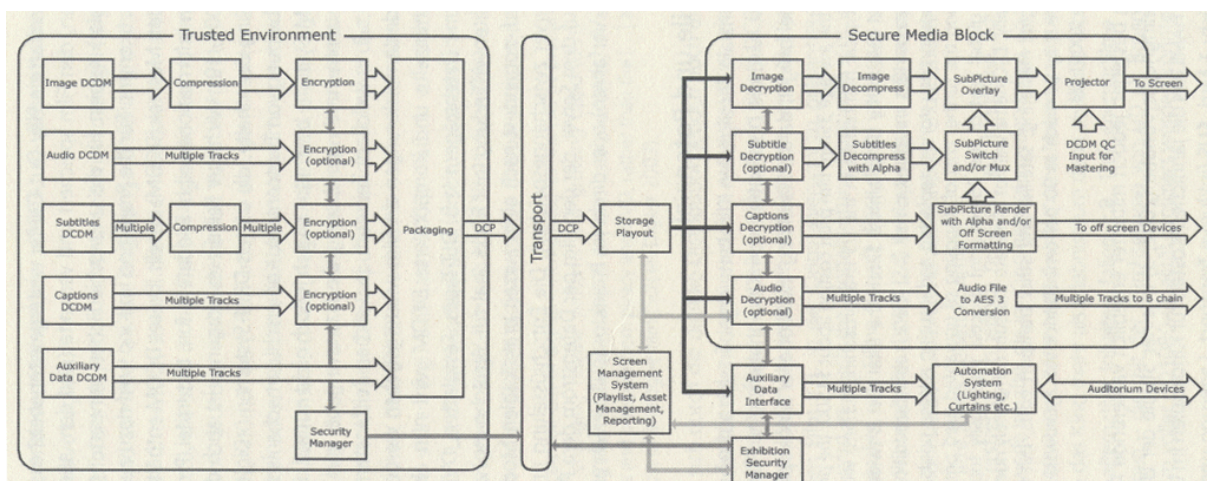


Abb. 6 Die digitale Kinokette nach Ordway 2005 (Quelle: [10], S.73)

⁶² Das Digital Linear Tape (DLT) ist in der Informationstechnik ein ehemals von Digital Equipment Corporation, inzwischen Quantum entwickeltes magnetisches Speichermedium für die Datensicherung (*Backup*) und Archivierung von digitalen Daten. (http://de.wikipedia.org/wiki/Digital_Linear_Tape)

4.2 Die wichtigsten Arbeitsschritte im Mastering Prozess

In diesem technisch sehr anspruchsvollen, die Kreativität betreffend aber sehr feinfühligem Prozess, welcher zeitlich vor den Kompressions- und Verschlüsselungsarbeiten des „Content Preparation“-Prozesses, der Distribution, der Speicherung im Kino und zuletzt der digitalen Projektion und nach dem Prozess der „Content Creation“ und der Postproduktion stattfindet, werden also die Ausgangsmaterialien, ob es nun Film oder eine digitale Datei sei, für den Transport zu den Kinos vorbereitet. (vgl. **Abb. 7**). Schon deswegen ist das Mitwirken der Filmemacher hier sehr wichtig, da es ja in ihrem Interesse liegt, dass die digitale Version des Films der ursprünglichen kreativen Vision gleichkommt.

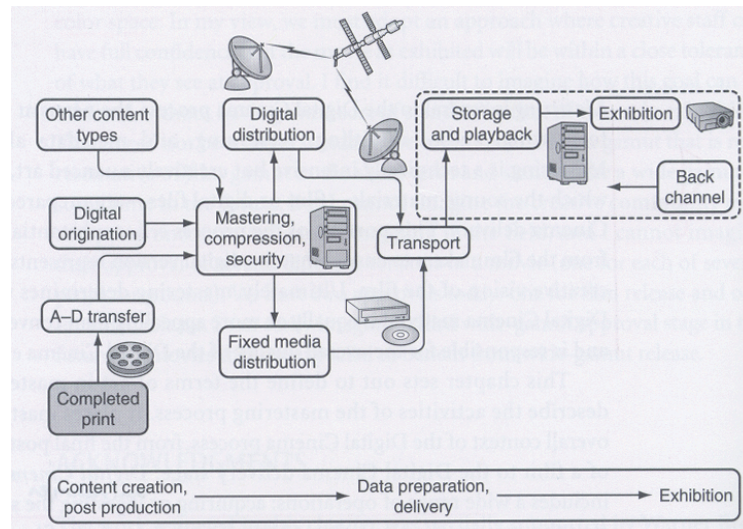


Abb. 7 Systemelemente des digitalen Kinos (Quelle: [4], S. 84)

Der „Digital Cinema Mastering“-Prozess beinhaltet eine Vielzahl an Aufgaben, über die unter anderem Carey, Lambert, Kinder und Kennel (vgl. [4], S.84-90) Aufschluss geben und auf welche hier näher eingegangen werden soll; die Bezeichnung der Arbeitspakete soll in ihrer ursprünglichen englischen Form bleiben, um Fehlübersetzungen zu vermeiden.

4.2.1 Capture

Hier, in der ersten Stufe des Mastering Prozesses, wird das Originalmaterial, egal welchen Ursprungs (Filmmaterial, computergeneriertes Bildmaterial oder digital akquiriertes Filmmaterial) in den Mastering Prozess geführt, wobei Filmmaterial gescannt und digital generiertes Material konvertiert wird. Wichtig in dieser Phase ist die vom Cutter bereitgestellte EDL⁶³, welche es möglich macht, das Material framegenau zusammenzufügen. Die letzte Stufe der Postproduktion, in welcher das „Digital Source Master“ erstellt wird, ist also gleichzeitig die erste Stufe des digitalen Mastering.

⁶³ „edit decision list“, oder auch **Schnittliste** genannt und beinhaltet die Timecodes aller Schnitte. Eine Schnittliste mit Anweisungen für die Ausführung des On-Line-Schnittes. Die EDL Enthält den Time Code der In- und Out-Punkte, der Quellen- und des Zielbandes, Informationen über Video- und Tonspuren sowie Überblendungen. (http://de.wikipedia.org/wiki/Edit_Decision_List)

4.2.2 Creative image manipulation

Im Gegensatz zu konventionellen photochemischen Prozessen bietet die digitale Manipulation des Bildmaterials eine schier unendliche Palette an Möglichkeiten für die Filmemacher. Es sind sowohl Änderungen der Farbe, des Kontrastes, der Dichte, der Auflösung und der Positionierung des Bildes möglich, als auch Schmutzbeseitigung, Retuschierung und andere Verbesserungen und Korrekturen. Diese Änderungen werden grundsätzlich Szene für Szene oder Einstellung für Einstellung angewendet, doch ist es zudem möglich, sie an einem einzelnen Frame, oder im Frame selbst, zu gebrauchen (Primäre, sekundäre Lichtbestimmung, Spot-Color-Correction). Ein gut abgestimmter „*Screening Room*“ (vgl. Abb. 8) und ein Projektionssystem sind Schlüsselkomponenten der Einrichtung. Sie sollen bestmöglich kalibriert und auf zur Anwendung kommende Projektionssysteme abgestimmt sein.



Abb. 8 Randall Dark's HD Vision Studios in Los Angeles (links, Quelle: [43]), Screening Room in den European headquarters der Dolby Laboratories in England (Quelle: [33])

Der Prozess kann nun weiter unterteilt werden in:

4.2.2.1 Color Correction or grading

Hier werden Einstellungen an Farbe und Kontrast, das Bildmaterial betreffend, vorgenommen, die es dem Kinematographen erlauben eine Vielzahl ästhetischer Aspekte zu verändern („*overall tint*“, „*color balance*“, „*brightness*“, „*contrast*“).

Die Farbkorrektur bezieht grundsätzlich immer die Projektion des Digital Source Masters in einer Digital Mastering Suite mit ein, bei welcher es sich um einen eigens gestalteten Vorführraum mit bestens abgestimmten bzw. kalibrierten Projektionssystemen handelt und in welchem Einstellungen den gewünschten Look betreffend, „*on the fly*“ vorgenommen werden können.

4.2.2.2 Enhancements

In diesem Prozess wird zum Beispiel der Kontrast bearbeitet um Über- oder Unterbelichtung zu kompensieren, es kann aber auch ein bestimmter Look kreiert (Sepia-Ton, vgl. „*Ob Brother, Where Art Thou?*“) oder das Verhalten bestimmter Materialien nachgeahmt werden.

Andere Verbesserungen beinhalten das Retuschieren ausgewählter Bildbereiche oder das Ersetzen und Versetzen visueller Elemente.

4.2.3 Formatting an Resizing

Ankommend auf die Art der Erstellung des Inhalts kann dieser in einer von vielen möglichen Auflösungen und Bildseitenverhältnissen kreiert worden sein, welche im Mastering eventuell angepasst werden müssen (vgl. Abb. 9).

Da DSMs auch für andere Verwertungskanäle (z.B.: konventionelle Filmprojektion, DVD, Airline- und Broadcast-Masters) als das Digitale Kino verwendet werden, werden mehrere verschiedene „Distribution Master“ erstellt, um den Anforderungen der jeweils unterschiedlichen Verwertungswege gerecht zu werden (z.B.: unterschiedlicher Farbraum, Auflösung, Sampling⁶⁴-Frequenz, Bitrate⁶⁵, usw.)

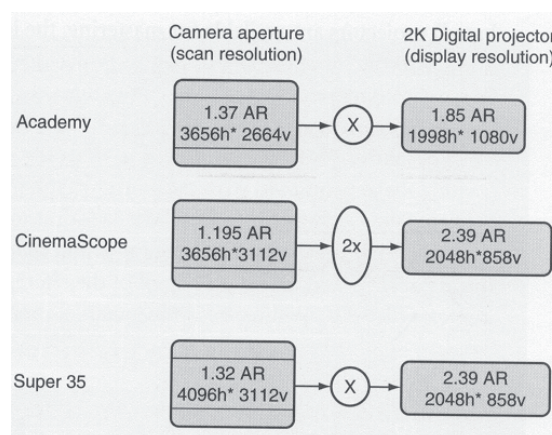


Abb. 9 Formatumwandlungen (Quelle: [4], S.106)

4.2.4 Restoration, stabilization and cleanup

Die Restaurierung hat, zum Beispiel, die Beseitigung von Negativkratzen, Verschmutzungen oder durch die Entwicklung im Filmlabor entstandene Artefakte zur Aufgabe, während die Stabilisierung benutzt wird, um mechanische Varianzen, entstehend durch den Transport des Films durch die Kamera oder das Scannen ohne „pin registration“, auszugleichen. Besonders wichtig ist dies im Bereich des Compositing⁶⁶, wo computergeneriertes Bildmaterial, welches diese Varianzen nicht aufweist, mit Filmmaterial kombiniert wird. Diese Stabilisierung wird heute aber schon von Hochleistungsscannern übernommen.

⁶⁴ **Abtastung** ist die Registrierung von Messwerten zu diskreten, meist äquidistanten Zeitpunkten. Aus einem zeitkontinuierlichen Signal wird so ein zeitdiskretes Signal gewonnen. Die Anzahl der Abtastungen wird Abtastrate genannt (<http://de.wikipedia.org/wiki/Abtastung>)

⁶⁵ Die **Datenübertragungsrate** (auch Datenrate, Kapazität oder umgangssprachlich fälschlich Bandbreite) bezeichnet die Menge der Daten, die innerhalb einer Zeiteinheit auf einen Übertragungskanal geschickt werden können, jedoch nicht die Geschwindigkeit der Daten an sich. Sie ist zusammen mit der Latenzzeit (Antwortverzögerung) das Maß für die Leistungsfähigkeit eines Kanals. Ein Kanal kann beispielsweise eine Verbindung im Rechnernetz, die Verbindung zum Internetdienstanbieter oder die Schnittstelle zu einem Speichermedium sein. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Daten%C3%BCbertragungsrate>)

⁶⁶ findet in der Postproduktion eines Filmes als Spezialeffekt Anwendung. Im **Compositing** werden zwei oder mehr voneinander getrennt aufgenommene Elemente zu einem Bild zusammengeführt. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Compositing>)

Auch kann hier darüber entschieden werden, ob es im Bezug auf künstlerische und technische Rahmenbedingungen gewünscht ist, für den Film typische Looks, wie das Kornrauschen, zu zeigen, nachzuahmen oder wegzulassen.

4.2.5 Color Encoding and gamut mapping

Für die Fortdauer der Prozesse innerhalb des Masterings ist eine andauernde Farbkalibrierung der Projektorsysteme unerlässlich, um einen gleich bleibenden Bildeindruck von der Digital Mastering Suite bis in die Kinos zu gewährleisten. Farbcodierung und Gamut-Mapping sollen dabei helfen. Bei der Farbkodierung handelt es sich um eine Umwandlung der Bildinformation in ein entsprechendes kolorimetrisches Datenformat, während sich Gamut⁶⁷-Mapping auf die Tatsache gründet, dass Metadaten mit dem Bildinhalt gesendet werden, welche die Performance-Charakteristiken der Projektoren optimieren sollen.

4.2.6 Audio Preparation

Alle Audio Elemente werden hier mit den visuellen Elementen synchronisiert. Besondere Aufmerksamkeit verdienen hier sowohl die Bittiefe und die Sampling Raten des digitalen Audiomaterials, als auch die Anzahl der Kanäle, das entsprechende Channel Mapping⁶⁸ und das korrekte Platzieren und Routen der Audiodateien für eine Mehrkanalaufführung.

Das Audioformat im Digitalen Kino ist als „Broadcast Wave“ (.wav) Format mit 24 Bits und einer Sampling Frequenz von 48 oder 96 KHz in der DCI Spezifikation spezifiziert (vgl. [37], S.15, Stand 20. Juli 2005)

4.2.7 Related Data Placement

Beinhaltet die Erzeugung und Platzierung einer Reihe von „non-picture“ und „non-sound“ Elementen, also Metadaten, welche mit ins Kino geliefert werden (Untertitel, Beschreibungen von Off Screen Sounds, Wasserzeichen und andere Metadaten).

4.2.7.1 Subtitling⁶⁹ and captioning⁷⁰

Beinhaltet die Generierung einer On-Screen Textüberlagerung meist zum Zeitpunkt der Projektion.

⁶⁷ **Gamut** (dt. *Tonleiter, Skala*) ist das Maß für den Umfang der Farbdarstellungs- bzw. Farbaufnahmemöglichkeit eines Geräts (z.B. eines Monitors, Druckers, Scanners, Films). Formal ist der Gamut das Volumen im Farbsystem des Geräts aller möglichen Farben, die durch *innere Farbmischung* nachgestellt werden können. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Gamut>)

⁶⁸ defines where the individual audio channels are assigned and the labelling of channels in a Digital Cinema audio system (vgl. [37])

⁶⁹ übersetzen den gesprochenen Dialog und werden, nachdem im Mastering Prozess erstellt, mit dem DCP als separater Datensatz mitgeliefert, welcher imstande ist, grafische Overlays im Projektor zu erzeugen (vgl. [4], S.89)

⁷⁰ Enthalten zusätzlich zum Dialog Beschreibungen von „*offscreen sounds*“ und Hinweise darüber, welcher Dialog welchem Schauspieler zuzuordnen ist. Sie können zwar als ein dem Subtitle-Format ähnliches Format gesendet werden, werden dann im Kino jedoch auf getrennten Displaysystemen, wie einem zweiten Projektor oder einem LED-Display für Hörgeschädigte gerendert (vgl. [4], S.89)

4.2.7.2 Watermarks

Wasserzeichen sind an sich im Mastering Prozess generierte und eingebettete Markierungen, welche für jeden Film einzigartig sind und somit das Aufspüren bestimmter für Kinos hergestellter Kopien erleichtern. Zusammen mit so genannten forensischen „fingerprints“⁷¹ ist es sogar möglich, eine illegal mitgefilmte Kopie auf ein bestimmtes Kino, ja sogar auf den Tag und den Zeitpunkt der Aufführung zurückzuverfolgen, aber dazu mehr im Kapitel „Gewährleistung der Sicherheit im digitalen Kino“ (vgl. Kapitel 6).

Andere Metadaten, die im DCP (Digital Cinema Package) integriert sind, wären, zum Beispiel, die so bezeichnete „Control Track Information“, die es erlaubt, die sich im Kino befindende Ausstattung zu steuern (Licht dimmen, Vorhang zu- und aufziehen, Special Effects, etc.), so genannte 3D-LUTs⁷² für kolorimetrische Einstellungen und Anpassungen auf Seiten des Projektors, Schlüssel zur Sicherheit und andere Daten.

4.2.8 Packaging

Nachdem Bild, Ton und Metadaten gemastert worden sind, also ästhetische Bedenken ausgeräumt wurden, folgen die Kompression, die Verschlüsselung und die Verpackung der Daten, um ein transportierbares Paket zu generieren (vgl. Abb. 10), welches auch DCP (Digital Cinema Package) genannt wird.

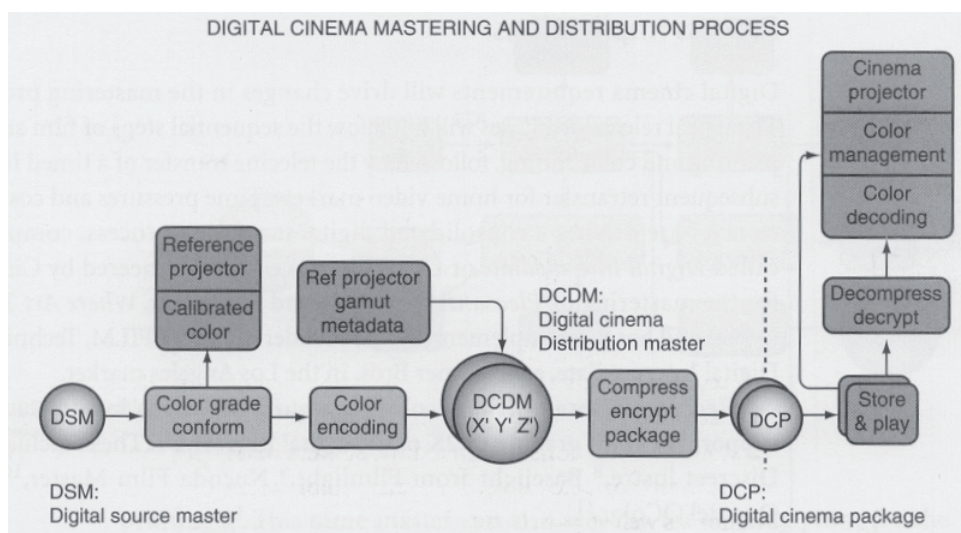


Abb. 10 Mastering- und Distributionsprozess des digitalen Kinos (Quelle [4], S.99)

⁷¹ Markierungen die während der Vorstellung auf dem Projektor oder Server generiert werden

⁷² ein **Look-Up-Table** (meist kurz LUT genannt) verbindet Index-Nummern mit Ausgabewerten. Eine bekannte LUT ist die so genannte *Colormap* oder Farbpalette. Mit ihr werden einer begrenzten Anzahl Farbindizes (üblicherweise 256) ausgewählte Farb- und Intensitätswerte aus einem größeren Farbraum zugeordnet (üblicherweise aus einem 24-bittigen RGB-Farbraum).

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Look-Up-Table>)

4.3 Auswirkungen des Digital Cinema auf den Mastering Prozess

Die Anforderungen des digitalen Kinos werden Änderungen im Mastering Prozess hervorrufen. „Release deadlines“, sprich Zeitdruck und der günstigere Kostenwirkungsgrad werden den Prozess, wie er bis heute besteht (vgl. Abb. 11), durch einen digitalen ersetzen, dessen Name: „Digital Intermediate“ (DI) ist.

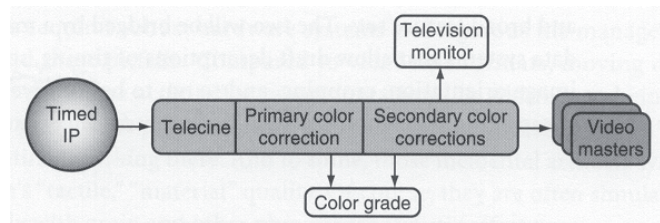


Abb. 11 Traditioneller Masteringprozess (Quelle: [4], S.98)

Erstmals eingesetzt wurde dieser Prozess von CineSite, deren „Kompetenzen dann auch maßgeblich zum Look von Produktionen wie „Pleasantville“ (1998), „Oh Brother Where Art Thou?“ (1999), „Traffic“, „S.W.A.T.“; [...] beigetragen haben“, meint der Geschäftsbereich Entertainment Imaging der Kodak GmbH Stuttgart. ([14], S.170)

An eine breitere Öffentlichkeit brachten diese Technik dann die Firmen **EFILM**, **Technicolor Digital Intermediate**, und **Warner Bros.**

Es wurden auch bereits auf Software basierende Farbkorrekturprogramme vorgestellt, welchen es möglich ist, Dateien mit einer Auflösung von 2K oder 4K für den DI Prozess farbkukorrigieren (*Discreet lustre*, *Baselight* von *FilmLight*, *Nucoda Film Master* und *Quantel QColor*).

4.3.1 Digital Intermediate (DI)

Unter Digital Intermediate (vgl. Abb. 12) wird die digitale Abtastung von einzelnen ausgewählten Takes oder des gesamten Originalnegativs verstanden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit digital erfasste oder computergenerierte Bilder zu laden und mit Filmbildern zu kombinieren.

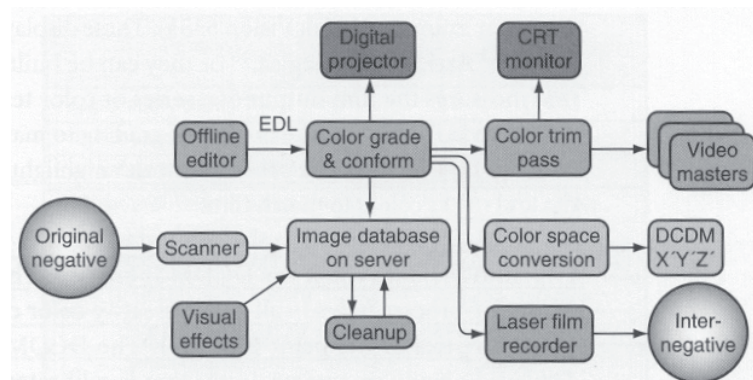


Abb. 12 Der Digital Intermediate-Prozess (Quelle: [4], S.101)

Führende Filmscanning Technologien, wie der **IMAGICA Imager XE**, der **ARRISCAN** (vgl. Abb. 13) und der **Thomson Spirit 4K DataCine** stellen eine sehr gute Möglichkeit dar, Filmbilder in digitale Daten umzuwandeln.

Hier wird das Original negativ hochauflösend gescannt, meist mit einer Auflösung von 2K⁷³ oder 4K, digital bearbeitet und anschließend auf einen Server gespeichert oder auf Film ausbelichtet.

Sind die Bilder einmal digital gespeichert, so werden sie an eine Edit Decision List (EDL), zur Verfügung gestellt vom Editor, angepasst, was das ursprüngliche Arbeiten am Schneidetisch hinfällig macht. Arbeitet man mit 4K, so ist es zudem notwendig, ein 2k oder 1k Pendant herzustellen, um ein interaktives Farbkorrigieren zu gewährleisten.

Ist die Farbkorrektur einmal abgeschlossen und wurde Szene für Szene eine Farbkorrekturliste erstellt, können in einem Background Prozess die Korrekturen auf das 4K Master gerendert werden. Das farbkorrigierte Master wird dann mit Audio und Subtitle Tracks verschmolzen, komprimiert, verschlüsselt und für die Vorstellung im digitalen Kino verpackt. (vgl. [4], S.100)

Weiters gibt es in diesem Prozess die Möglichkeit mittels **CELCO** (vgl. Abb. 13) oder **ARRI** Lasersystemen die Datei auf ein Film Internegativ oder Interpositiv auszubelichten, wobei die Farbkorrektur (Lichtbestimmung) erhalten bleibt, was die Herstellung weiterer Kopien im Kopierwerk sehr erleichtert. Von diesem digitalen Master werden dann in einem Kopierschritt alle Vorführkopien hergestellt.



Abb. 13 Der 16mm und 35mm Filmscanner ARRISCAN, welcher Filmbilder mit einer Auflösung von bis zu 6000 Linien (6K) in digitale Daten umwandelt (Quelle: [28]) und der CELCO FURY 4K Digital Film Recorder (Quelle: http://www.celco.com/images/fury_rgb.jpg), der Bilddaten mit einer Auflösung von bis zu 4K auf Film ausbelichtet

⁷³ Da man beim Film von einer Horizontalauflösung (Breite des Filmstreifens fest vorgegeben) in Bildpunkten pro Bildbreite ausgeht, ermittelt man daraus je nach Bildformat die Vertikalauflösung in Bildpunkten pro Bildhöhe. Für die Abtastung beim digitalen Film haben sich daher die Kurzbezeichnungen 1K, 2K, 4K und 8K eingebürgert, was bedeutet, dass man pro Bildbreite mit 1024, 2048, 4096 oder 8192 Abtastwerten (Bildpunkten) arbeitet. (vgl. [18], S.66)

Dasselbe Master kann ebenfalls für die Erstellung verschiedener Video-Master (SDTV, HDTV, DVD, etc.) dienen. Ausgehend von der digitalen Filmversion, kann der Colorist ohne größeren Aufwand Videomaster für weitere Verwertungskanäle produzieren, muss jedoch meist kleinere Korrekturen in der Farbgebung vornehmen (kleinere, hellere Displays in hellerer Umgebung).

Es kann sein, oder ist zusätzlich notwendig, das Bild auf Seitenverhältnisse von 1,33:1 oder 1,78:1 anzupassen.

Ein weiterer großer Vorteil an diesem Prozess liegt darin, dass das Bild digital gespeichert ist und somit auf durch Netzwerke verbundenen Workstations simultan bearbeitet werden kann.

Zuletzt meint McKernan zur derzeitigen Lage auf diesem Gebiet: „Ironically enough, however, advances in digital postproduction technology are enhancing film’s role as an acquisition medium, as opposed to threatening it. The reality is that motion-picture film is as much part of the digital cinema revolution as HD or SD video.“ ([17], S.93)

4.4 Zukünftige Entwicklungen des Mastering Prozesses

Im Bereich des Mastering Prozesses sind Fortschritte sowohl in technischer, als auch kreativer Hinsicht zu erwarten, die die Leistungsfähigkeit aller im Prozess vorkommenden Arbeitsschritte steigern wird („capture“, „manipulation“, „output“/„conversion“).

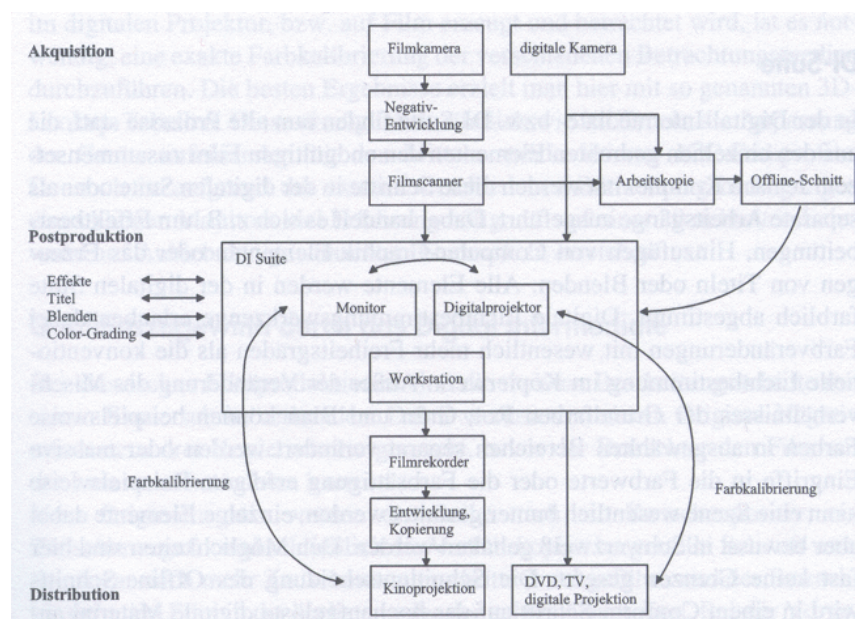


Abb. 14 Produktionskette zum DI (Quelle: [16], S.77)

Weiters wird das Verlangen nach „day and date“ Veröffentlichungen, gepaart mit dem Verkürzen der „downstream distribution windows“ (vgl. Abb. 15) (z.B.: Video/ DVD, Pay TV, Fersehauswertung, etc.) zu einem Umdenken im Workflow des Mastering-Prozesses führen, was dann letztlich auch dazu führen kann, dessen Platz in der Filmproduktionskette (vgl. Abb. 14) neu zu überdenken.

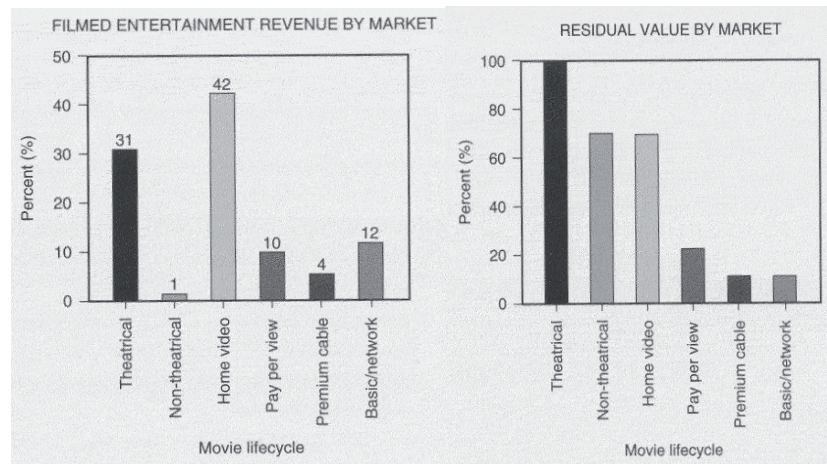


Abb. 15 Beteiligung der unterschiedlichen Verwertungskanäle an den Einnahmen (links) und der den Verwertungskanälen in zeitlicher Reihenfolge verbleibende Wert (Quelle: [20], S.156)

Es wird in Erwägung gezogen, in allen Verwertungskanälen zur selben Zeit, aber mit über die Zeit modulierten Kosten, zu releasen.

Auch wenn die Umsetzung des letztgenannten Szenarios eher unwahrscheinlich ist, so ist sicher, dass der Trend zu weltweiten „*day and date*“ Veröffentlichungen und schrumpfenden Zeitfenstern, in Kombination mit dem Aufkommen der digitalen Kinematografie, den Prozess des digitalen Mastering auch in die Produktion und Postproduktion eines Filmes zwingen wird, so die Autoren. (vgl. [4], S.116f)

Die nahe Zukunft wird wohl ein Nebeneinander zweier sich in ihrer Aufnahmetechnik unterscheidender Produktionswege, welche jedoch gleiche Verfahren und Technologien in der Nachbearbeitung einsetzen werden, mit sich bringen. Ein möglicher Ansatz wäre ein hybrider aus Film und DI. Dieses erschließt ja, durch den bis heute photochemischen und mit optischen Verlusten und Generationsverlusten in Zusammenhang stehenden Entwicklungsprozess und die analoge Kopierwerksnachbearbeitung, verborgen gebliebene Auflösungs- und Dynamikreserven und ermöglicht zudem, unter Beibehaltung der kreativen Verantwortung des Kameramannes, die Verringerung der Drehzeit und damit der Produktionskosten und bringt eine nie da gewesene Vielfalt in der Bildgestaltung mit sich.

Über in Zukunft den Masteringprozess betreffende Neuerungen, welche sowohl in technischer, als auch ökonomischer Hinsicht ihre Auswirkungen haben werden, konstatieren Chris Carey (The Walt Disney Studios), Bob Lambert (The Walt Disney Company), Bill Kinder (Pixar Animation Studios) und Glenn Kennel (Texas Instruments) (vgl. [4], S.117-119) folgende, mögliche Zukunftsszenarien:

4.4.1 Einspielen des Bildmaterials

Die Zukunft in diesem Abschnitt ist eine digitale, denn für zukünftige Filmproduktionen wird es aufgrund digitaler Bildakquisition nicht mehr erforderlich sein, Filmmaterial zur Nachbearbeitung einzuscannen. Zur Zeit wird mit 4 bis 6K Auflösung gescannt, von der Carey, Lambert, Kinder und Kennel

meinen, dass sie nicht weiterentwickelt zu werden braucht und „*color channel resolutions*“, die über jenen menschlicher Wahrnehmung liegen, jedoch mit einer Geschwindigkeit, an deren Verbesserung noch gearbeitet werden sollte.

4.4.2 Veränderungen im Bildbearbeitungsprozess

Viele Verbesserungen in diesem Bereich werden von Software-Tools herrühren, die es erlauben werden, schneller, präziser und effektiver zu arbeiten.

Eine weitere, sich aufdrängende oder durch eben Erwähntes suggerierte Erweiterung dieser Entwicklung, ist die Möglichkeit das Bild am Set zu mastern. Zudem könnten Portabilität und sich steigende Geschwindigkeiten und Speicherkapazitäten den Offline Schnitt unnötig machen und den Cutter und Director das Bildmaterial in Masterqualität begutachten lassen und somit das Transportieren kreativer Intentionen erleichtern und den daraus resultierenden Filmstil vielfältiger und differenzierter erscheinen lassen.

4.4.3 Bearbeitung des Tons

Wenn Kinos beginnen, die ansteigende Kanalzahl, die Lautsprecherplatzierungen und die Performance-Möglichkeiten des digitalen Kino-Systems zu nutzen, wird zudem die Wichtigkeit eines doppelten Entwicklungspfades, so Carey, Lambert, Kinder und Kennel, nicht abzuweisen sein. Es handelt sich hier um voneinander abweichende Soundtracks, die es ermöglichen sollen, die Performance in der jeweiligen Umgebung zu maximieren.

Andere Vorteile könnten sich aus dem Gebrauch von Metadaten ergeben, welche andere sensorische Sinneseindrücke an den Zuschauer weitergeben könnten. Daran angepasst, würde das für den Soundtrack eine gesteigerte Komplexität zu Lasten einer verminderten Flexibilität bedeuten.

4.4.4 Related Data

Ein erster Schritt zur Weiterentwicklung dieses Bereiches wäre ein Distributions- und Kinosystem, welches all diese Metadaten versteht. In Zukunft werden diese über Rechtemanagement, Untertitel und ähnliches hinausgehen und das Kinoerlebnis für den Besucher noch interessanter und besser gestalten.

4.4.5 Sonstiges

Auch hier wird es zu substanziellen Änderungen im Workflow-Prozess kommen. Dafür sorgen der Übergang von einem Video-zentralen zu einem Daten-zentralen Modell im Mastering Prozess und die wohl vollkommene Ablösung von SD-Video durch HDV-Formate.

Auch im Bereich der Archivierung wird es Veränderungen geben, doch bleibt der Vorteil abzuwägen, ist es doch unwahrscheinlich, dass sich ein Standard etablieren wird. Wohl eher ist es wahrscheinlich, dass ältere, digitale Formate von neueren abgelöst werden und dadurch eine andauernde Konvertierung der Daten die Folge sein wird.

5 Kompression

5.1 Begriffserklärung

„Compressing is one of the enabling technologies for Digital Cinema in that it makes storage and distribution of the cinema-ready product practical and economically feasible. Used appropriately, compression has little – ideally nothing – to do with the quality of the final cinematic experience; it is just one of the technologies used in taking the image to the projector.” ([25], S.121)

Kompression ist also die Bezeichnung für eine Anzahl von Techniken und Anwendungen, welche eine Datenreduktion gewährleisten sollen, um Dateien leichter und kostengünstiger speichern und archivieren zu können. Zudem sollte deren Übertragung mit verhältnismäßig geringer Bandbreite und Zeitaufwand vollziehbar sein.

Meist ist die Kompression, welche das Unmögliche Möglich machen soll (z.B.: „*realtime transmission*“), vor allem aus ökonomischen Gründen von Vorteil.

Wie schon erwähnt, wird bei der Kompression digitaler Daten redundante Information weggelassen, und das, so Peter Symes, von Thomson Broadcast & Media Solutions, aus zwei Gründen: zum einen weil das Weglassen der redundanten Information nicht bemerkt werden würde, zum anderen diese Redundanz aus einer ineffizienten Codierung entstanden ist, wobei es gilt, das Original, oder eine ausreichend gute Annäherung, mit Verwendung einer geringeren Bitzahl neu zu kodieren. (vgl. [25], S.122)

5.2 Wozu benötigt man Kompression?

Die Kompression ist die Lösung eines Problems, welches es zuerst zu umschreiben gilt:

Während bis jetzt 35mm Filmkopien („*release prints*“) mit Botendiensten an die Kinos geliefert wurden, und diese sowohl eine Sequenz von Bildern, als auch analoge, komprimierte oder digital codierte Soundtracks (je nach Audiosystem) enthielten, werden heute bei der digitalen Projektion digitale Dateiforen verwendet, welche entweder mit physischen Medien (z.B.: DVD) oder per Übertragung über Glasfaser- oder Satellitennetze angeliefert werden. Diese Dateien sollten Ton und Bild in höchster Qualität repräsentieren, um eine der konventionellen Filmprojektion identische (Auflösung) Projektion zu gewährleisten.

Hier seien nun einige Beispiele, die Datenmengen bei Ton und Bild betreffend, angeführt:

Beim digitalen Ton beispielsweise, welcher normalerweise mit 48 kHz und mindestens 16 bps codiert wird, verhält es sich so, gibt McKernan an, dass für einen Spielfilm von zwei Stunden Länge circa 700 MB pro Audiokanal einberechnet werden müssen. Für einen Film mit acht Soundkanälen würden die Audiodateien eine ganze double-layer DVD füllen. (vgl. [17], S.52)

Für das digitale Kino wurde für den PCM WAVE codierten Ton jedoch eine Sampling-Rate von 48 oder 96 kHz bei 24 Bit Tiefe und 16 Kanälen mit voller Bandbreite spezifiziert. (vgl. [37], S.15f)

Trotz alledem ist diese Datenmenge verglichen mit der für die Darstellung bewegter Bilder notwendigen Menge verschwindend gering.

Symes klärt auf: „*The Digital Cinema Initiatives (DCI) specification calls for a container with 4096 pixels horizontally. A movie with an aspect ratio of 1.85:1 is 3996*2160 pixels, for a total of 8,631,360 pixels per frame. Each pixel is represented in the Digital Cinema Distribution Master (DCDM) by three 12-bit values; this works out to 310,728,960 bits, or nearly 40 MB, per frame. A 2-hour movie is 172,800 frames (at 24 fps) for a total of nearly 7 terabytes. This is a phenomenal amount of data; the largest commonly available portable medium is the 2-layer DVD that can store 9.4 gigabytes, so the 2-hour movie would need over 700 DVDs in its uncompressed form. Transmission of a single movie over a satellite transponder, even if we assume a totally error-free circuit, would take more than two weeks.*” ([25], S.123)

Unter Zuhilfenahme heute existierender Speicher- und Übertragungstechnologien würde sich das digitale Kino als Distributionsform nicht durchsetzen können, ohne die zum Liefern eines Filmes nötige Datenmenge zu reduzieren. Wie schon erwähnt, ist die Kompression die Lösung dieses Problems.

5.3 Standards

Die bekanntesten Standards für statische und bewegte Bilder sind hier innerhalb des **Joint Technical Committee (JTC)** der **International Organization for Standardization (ISO)** und der **International Electrotechnical Commission (IEC)** entwickelt worden.

Die **Joint Photographic Experts Group (JPEG)** zum Beispiel, welche Standards für die Codierung von Standbildern entwickelt, und die **Moving Pictures Experts Group (MPEG)**, die sich auf die Codierung von Bild- und Tonsignalen (MPEG-2 kommt zum Beispiel bei der DVD zur Anwendung) spezialisiert hat, sind zwei parallel laufende Arbeitsgruppen im Rahmen von ISO/IEC.

Das digitale Kino ist mit Video zwar nur begrenzt zu vergleichen, doch da beide Formate auf Sequenzen von Bildern basieren, ist die Anwendung auf beide möglich.

Da aufgrund des Fehlens ausreichender Aufzeichnungsraten und Speicherkapazitäten kaum ein digitales Aufzeichnungsformat ohne Kompression verwendet werden kann, haben sich im Broadcast- und Consumerbereich unter anderem folgende Formate etabliert:

DV (digital video) und JPEG

Von der **International Standardization Organization ISO SC29 WG1** stammte eines der ersten Kompressionsverfahren für statische Bilder (Einzelbildkompressionsverfahren).

Dieses Verfahren führt nach einer Farbraumumrechnung (RGB→YUV), einer verlustbehafteten Tiefpassfilterung und Unterabtastung der Farbdifferenzsignale, einer diskreten Cosinus-Transformation (DCT) und einer Quantisierung, deren Ausmaß auch für Verluste, die Qualität betreffend, verantwortlich ist, eine Entropiekodierung der dadurch entstandenen Koeffizienten durch. Die Kompression erfolgt also durch das Anwenden mehrerer Verarbeitungsschritte, von denen nur zwei verlustbehaftet sind.

Zur Codierung von Bewegtbildern wurden Einzelbilder getrennt voneinander komprimiert und als so genanntes, bis heute nicht standardisiertes Motion-JPEG-Format abgespeichert.

Eine Weiterentwicklung dessen für Video und SD-Auflösung ist DV, welches ebenfalls intraframe-codiert wird.

MPEG-1 und MPEG-2

MPEG, eine Weiterentwicklung des eben abgehandelten JPEG-Formates, nutzt zusätzliche Redundanzen zwischen den Einzelbildern („*interframe-basierte Codierung*“), um die Effizienz zu steigern. Es kann aber auch zu Generationsverlusten kommen, da bei dieser Art der Kompression beim Schnitt oder bei Nachbearbeitungen anderer Art die GOPs („*Group of Pictures*“) zerlegt und wieder neu zusammengefügt werden müssen, was wiederum einen ständigen Wechsel von Kompression und Dekompression nach sich zieht. MPEG-1 ist hierbei ein progressives, aus mehreren Layern bestehendes Video-Format, das unter anderem bei Video-CDs zur Anwendung kommt, während MPEG-2 für bis zu 10 Bit pro Farbkanal und höchstens 100 MBit/s ausgelegt ist und der DVD und DVB-Technik zu Grunde liegt.

MPEG-4

In dieser Weiterentwicklung von MPEG-2 wird auf Grund einer modellbasierten Codierung, welche im Bild ermittelte Objekte getrennt vom Hintergrund und auch voneinander komprimiert (vgl. Blue/Green-Screen), die Kompression noch effizienter.

Ursprünglich war es das Ziel von MPEG-4, Systeme mit schmalen Bandbreiten (z.B.: Handy, etc.), bei relativ geringen Qualitätseinbußen zu unterstützen. Jedoch deckte der H.263 (MPEG-4/ASP) Standard der ITU diesen Bereich bereits sehr gut ab.

Viele neue Funktionen, wie die Low-Bitrate Codierung mit hoher Kompressionsrate, wurden in diese Version integriert (vgl. DivX als Open-Source Derivat, MPEG-4 SP für den Studioeinsatz).

Motion JPEG-2000

Der Motion JPEG-2000, basiert auf „*intraframe-basierter Codierung*“, welche im Vergleich zum Vorgänger JPEG eine erhöhte Effizienz und neue anwendungsorientierte Eigenschaften bietet.

Unter anderem ist es, laut Siegfried Föbel, welcher seit 2001 alle Projekte im Bereich „*Digitales Kino*“ am Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen IIS in Erlangen leitet und koordiniert und zudem, ebenfalls seit 2001, die Adhoc-Gruppe „*Digital Cinema*“ des **ISO SC29 WG1** (JPEG) Komitees leitet, „*nunmehr möglich, unterschiedliche Auflösungen und Qualitäten des Originalbildes aufbauend aufeinander in komprimierter Form abzulegen, die so genannten Layer. Bei einer Dekompression muss daher nicht immer der gesamte Datenstrom dekodiert werden, sondern nur der Teil, der zur Erreichung der gewünschten Qualität benötigt wird. Grundlage dafür ist die Verwendung einer Wavelet-Transformation statt einer diskreten Cosinustransformation (DCT) als Basistransformation.*“ ([7], S.147)

Auch kann verlustlose („*lossless*“) und verlustbehaftete („*lossy*“) Kompression, zwischen denen ein zwangloser Übergang gewährleistet ist, innerhalb des Standards durchgeführt werden. Mit einer besseren Komprimierungsrate bei gegebener Qualität und einer verfügbaren Bittiefe pro Farbkomponente von 32 Bit, genügt er zudem den Ansprüchen der menschlichen (visuellen) Wahrnehmung.

Er wurde auch als Einzelbildkompressionsverfahren für Bewegtbilder umstandardisiert, welches aufgrund seiner Flexibilität in der Wahl der Parameter besonders für die digitale Filmindustrie geeignet zu sein scheint, so auch die DCI. Zudem besteht die Möglichkeit, so genannte ROIs („*Region of Interest*“), also Bildregionen von erhöhtem Interesse, in einer im Vergleich zum restlichen Bildinhalt höheren Qualität zu komprimieren und zu dekomprimieren und es wird Raum für Metadaten gewährt, welche unter anderem das Verwalten von Informationen erleichtern können.

H.264 (MPEG-4/AVC)

Es ist ein mit MPEG vergleichbarer Videokompressionsstandard, der anfänglich von der ITU unter dem Namen H.26L (komprimiert mit einer höheren Codiereffizienz als H.263) entwickelt wurde und welcher vor allem im Bereich der Nachrichtenübertragung verwendet wird. Der in Bezug auf Bittiefe und Datenrate begrenzte Standard hat geringere Kompressions- und Dekompressions-Verzögerungszeiten und ist somit echtzeitfähig.

Quicktime, Windows Media Player, Real Player

Dies sind im Consumerbereich existierende, firmenproprietäre Kompressionsverfahren für Anwendungen mit geringen Datenraten (Videostreaming über das Internet), welche vor allem in der Informationstechnik eine wichtige Rolle spielen.

Unkomprimierte Datenformate

Da in der Filmtechnik eine hohe Qualität der Daten ausschlaggebend ist, werden in der Postproduktion meistens unkomprimierte Austauschformate verwendet. Im Fall von DPX und Cineon werden die digitalisierten Filme in Form von Einzelbildsequenzen gespeichert (RGB, 10 Bit). Vor allem Filmscanner nutzen diese Formate mit Bildgrößen von 2K (2048*1556 bei 16mm) oder 4K (4096*3112 Bildpunkte, meist bei Scans von 35mm Film).

In Zukunft wird unter Umständen sowohl die digitale Bildakquisition, als auch die Distribution unkomprimiert von staten gehen. Dies wird jedoch erst in Erwägung gezogen werden, wenn die Datenraten und Festplattenkapazitäten ausreichen.

5.4 Verlustlose und verlustbehaftete Kompressionssysteme

Während verlustlose Technologien einen dem Input identischen Output (Datenmenge) garantieren und somit für Bewegtbildapplikationen ungeeignet sind, führen verlustbehaftete Kompressionssysteme zu Beeinträchtigungen („*softness*“, „*smearing*“, „*pixilation*“ oder „*blockiness*“, „*banding*“ oder „*visual defects on sharp edges*“) auf Grund der Tatsache, dass sich hier der Input vom Output unterscheidet.

Die Auswahl des angewandten Kompressionssystems sollte dabei zu keinen signifikanten Beeinträchtigungen des Bildmaterials führen. Für niederbandbreitiges Videostreaming⁷⁴ zu PCs gilt hier anderes, als für Kabel- und Satellitendistribution von Broadcast⁷⁵-Video, welches ja eine dem konventionellen Fernsehen vergleichbare Qualität bereitstellen sollte.

Das digitale Kino wiederum ist auf Grund des Anspruches, das konventionelle Kino übertreffen zu müssen, eine sehr fordernde Anwendung. Nicht nur sollte es die superbe Bildqualität von Film übertreffen, welche nebenbei gesagt, in den wenigsten Kinos betrachtet werden kann, sondern auch frei von Artefakten sein, die der Zuschauer von 35mmFilm erwarten würde. Abgesehen davon, darf das digitale Kino keine neuen ihm typischen Schäden bzw. Beeinträchtigungen aufweisen, wie sie zum Beispiel durch Kompressionssysteme entstehen könnten. Aus diesem Anspruch heraus ist dann das Konzept der „*Visually Lossless Compression*“ entstanden (vgl. [17], S.53f), d.h. dass, obwohl nicht verlustlos komprimiert werden kann, der Output vom Input im Kino nicht unterscheidbar sein sollte.

⁷⁴ **Streaming Media** ist der Oberbegriff von Streaming Audio und Streaming Video und bezeichnet die aus einem Computernetzwerk empfangenen und gleichzeitig wiedergegebenen Audio- und Videodaten. Den Vorgang der Übertragung selbst nennt man Streaming. Es bildet damit das Internet-Äquivalent zu Broadcasting-Technologien wie Hörfunk (Internetradio) oder Fernsehen (Video on Demand). Gestreamte Programme werden als Livestream oder Direktstrom bezeichnet (http://de.wikipedia.org/wiki/Streaming_Media)

⁷⁵ **Digital Video Broadcasting** bezeichnet in technischer Hinsicht die standardisierten Verfahren zur Übertragung von digitalen Inhalten (Fernsehen, Radio, Mehrkanalton, Raumklang, interaktive Dienste wie MHP, EPG und Teletext und weitere Zusatzdienste) durch digitale Technik. Durch Datenkompression (MPEG-2 und für HDTV vor allem H.264) können im Vergleich zur analogen Fernsehübertragung mehr Programme pro Sendekanal (Frequenz) übertragen werden. Die Qualität ist dabei vielfältig anpassbar; je höher die Daten komprimiert werden, desto mehr Programme können gleichzeitig auf einem Transponder übertragen werden, im Gegenzug sinkt die Qualität oder steigt der Rechenaufwand. (http://de.wikipedia.org/wiki/Digital_Video_Broadcasting)

Bewerkstelligen lässt sich dies durch verlustlose und verlustbehaftete Kompressionssysteme, deren erstere, auf Grund der schon oben erwähnten Gleichheit des In- und Outputs, keine Bildverschlechterung mit sich bringen. Dadurch stellen sie aber auch keine ausreichende Kompression für großleinwandige Applikationen, wie das digitale Kino, bereit, können sie doch Bilddaten nur mit einem Faktor von 2:1 oder 3:1 komprimieren.

Trotz alledem kommt auch der verlustlosen Kompression, als eine dem verlustbehafteten Frontend folgende Sektion („*Entropy Coder*“⁷⁶), eine wichtige Rolle bei der weiteren Reduzierung von Bitraten zu, welche im **Kapitel 5.10** näher beschrieben werden wird.

Die verlustbehaftete Kompression verzichtet auf einige Informationen, die originalen Bilddaten betreffend, und ist somit für das digitale Kino geeignet. Natürlich ist es jedoch das Anliegen eines solchen Systems, eine höchstmögliche Kompression der Bilddaten bei einem akzeptabel niedrigen Level an Beeinträchtigung der Bilder, welche von einem Zuschauer unter angedachten Bedingungen rezipiert werden, zu gewährleisten.

Viele verlustbehaftete Systeme nutzen die Limitationen des HVS⁷⁷ („*human visual system*“), das aus den Augen, den optischen Nerven und den Bereichen im Gehirn besteht, die die Informationen interpretieren und die Bilder kreieren, welche wir dann wahrnehmen, um vom Menschen wahrgenommene Beeinträchtigungen, das Bild betreffend, zu minimieren (vgl. [25], S.124).

Eine solche Eingrenzung wäre zum Beispiel, dass obwohl das HVS einen enormen Kontrastumfang hat und feinste Details ausmachen kann, es sehr unempfindlich gegenüber Details („*high spatial frequency*“) im unteren Kontrastbereich ist (vgl. [17], S.55).

Ein verlustbehaftetes System würde also zuerst Informationen, welche vom HVS nicht wahrgenommen werden können, auslassen und sollte dies nicht zu einer zufrieden stellenden Kompression führen, in einem nächsten Schritt jene Informationen weglassen, welche gegenüber einer möglichst hohen Datenreduktion einen möglichst kleinen wahrnehmbaren Effekt mit sich bringen.

Ein Nachteil, der sich aus der „*lossy compression*“ ergibt, ist die Tatsache, dass das Bildmaterial darunter leiden könnte. Es können feine Details verloren gehen oder Quantisierungsstufen („*contouring*“, „*banding*“) sichtbar werden. Zudem kommt es zu Artefakten wie zum Beispiel dem „*blocking*“ oder „*mosquito noise*“. (vgl. [25], S.124f)

⁷⁶ Die **Entropiekodierung** ist eine Methode zur verlustfreien Datenkompression, die jedem einzelnen Zeichen eines Textes in eine unterschiedlich lange Folge von Bits zugeordnet. Im Gegensatz dazu stehen Stringersatzverfahren, die eine Folge von Zeichen des Originaltextes durch eine Folge von Zeichen eines anderen Alphabets ersetzen. Da eine bestimmte Mindestanzahl von Bits notwendig ist, um alle Zeichen voneinander zu unterscheiden, kann die Anzahl der Bits, die einem Zeichen zugeordnet werden, nicht unbegrenzt klein werden. Die optimale Anzahl von Bits, die einem Zeichen mit einer gegebenen Wahrscheinlichkeit zugeordnet werden sollte, wird durch die Entropie bestimmt. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Entropiekodierung>)

⁷⁷ **Visuelle Wahrnehmung** (Sehen) ist die Wahrnehmung von Objekten auf Grund der Reizung durch Lichtstrahlen, die von den Objekten ausgesandt, gebeugt oder reflektiert werden. Man unterscheidet verschiedene Qualitäten der visuellen Wahrnehmung: Sehschärfe (Visus), Gesichtsfeld, Farbsehen, Kontrastwahrnehmung, Dunkeladaptation (Adaption), räumliche Wahrnehmung (Stereopsis), Bewegungssehen. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Gesichtssinn>)

All das führt zu dem Wunsch nach einem Kompressionssystem, welches unter bestimmten Bedingungen beziehungsweise Voraussetzungen „visually losslessness“ zulässt, sich also der Entwicklung neuer Technologien nicht in den Weg stellt und eine für die Kinzuschauer zufrieden stellende Lösung bietet.

5.5 Abtastung u. Diskretisierung des Wertebereiches durch Quantisierung

„Digitalsignale werden aus analogen Signalen gewonnen, indem diesen in regelmäßigen Abständen Proben (Samples) entnommen und den Werten der Proben Zahlen aus einem endlichen Zahlbereich zugeordnet werden. Die Anzahl der Probenentnahmen pro Sekunde (Samplingfrequenz) muss so groß sein, dass auch bei den höchsten Frequenzen im Analogsignal genügend Details erfasst werden. Als untere Grenze für die korrekte Umsetzung gilt diesbezüglich das Abtasttheorem [Anm. Nyquist-Shannonsche Abtasttheorem], das besagt, dass eine fehlerfreie zeitliche Diskretisierung gewährleistet ist, wenn bei der höchsten Frequenz jede Halbwelle mindestens einmal abgetastet wird. Das heißt, dass die Abtastfrequenz mehr als das doppelte der höchsten Signalfrequenz betragen muss und keine Störkomponenten vorliegen dürfen, die noch höhere Frequenzen beinhalten.“ ([19], S.107)

Digitale Daten können aber auch direkt in dem elektronischen Sensor einer Kamera erstellt, also digital akquiriert, werden. Die Abtastung misst hier die Menge an Licht, die auf einen Pixel fällt. Diese Messung liefert analoge Werte, welche quantisiert und an eine Anzahl voreingestellter Werte (Bits) angepasst werden.

„Das nächste Stadium bei der Signaldiskretisierung ist die Quantisierung der Abtastwerte. Hier gibt es keine einfache Grenze für fehlerfreie Rekonstruktion, hier gilt: Je mehr Quantisierungsstufen zugelassen werden, desto besser ist die Signalqualität. Die sinnvolle Auflösung richtet sich nach den Qualitätsansprüchen, die durch die maximale Auflösungsfähigkeit der menschlichen Sinne bestimmt ist.“ ([19], S. 107)

Die **DCI** Spezifikation, zum Beispiel, verlangt nach einer „power-law“⁷⁸ Codierung, mit einem Gamma-wert von 2,6 und 12 Bit pro Farbe pro Sample (4096 mögliche Werte für x, y und z).

Durch hier zwangsläufig entstehende Abweichungen (unendlich viele Werte werden auf eine endliche Anzahl reduziert) kommt es zu einem Quantisierungsfehler, welcher bei genügend hoher Aussteuerung über den Frequenzbereich statistisch gleich verteilt ist (Quantisierungsrauschen). Es handelt sich hierbei also um aus der Differenz zwischen dem tatsächlichen Signalwert und dem quantisierten Wert entstandene Abtastfehler, welche es zu vermeiden gilt.

⁷⁸ Die **Potenzgesetze** (engl. *power law*) gehören zu den Skalengesetzen und beschreiben die Skaleninvarianz vieler natürlicher Phänomene als polynomielle Abhängigkeiten (vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Potenzgesetz_%28Statistik%29)

5.6 Umwandlung des Farbraumes

Da die Abtastung und die Quantisierung eines einzelnen Signals nur monochrome bzw. einfarbige Informationen ergeben, müssen Bildsensoren Signale für drei verschiedene Farbbereiche, nämlich die Grundfarben Rot, Grün und Blau, generieren.

Obwohl jeder einzelne Farbkanal separat komprimiert werden könnte, wäre es eher von Vorteil, wenn eine andere Darstellungsform gewählt würde. Helligkeitsunterschiede einer Szene zum Beispiel haben einen Einfluss auf alle drei Signale, in welchen sich folglich Information wiederholt.

So ist es möglich andere Darstellungen mit geringeren Redundanzen zu wählen. Die meist genutzte Alternative ist Y, R-Y, B-Y (in der Videotechnik als Y, Cb, Cr bezeichnet), die Luma- und Farbdifferenzsignale, welche in der Videotechnik zur Anwendung kommen.

Die DCI Spezifikation verlangt, wie schon erwähnt, eine Umwandlung von RGB in den XYZ-Farbraum und eine nachfolgende Kompression des X, Y und Z Signals unabhängig voneinander. (vgl. [17], S.56f)

5.7 Kompressionssysteme für bewegte Bilder

Film und Fernsehen beruhen auf dem Phänomen der so genannten „*persistence of vision*“ des menschlichen Wahrnehmungsapparates, welche dazu führt, dass eine ausreichend schnelle Sequenz von Einzelbildern von uns als Bewegung wahrgenommen wird.

So ist eine der Möglichkeiten, einen Film zu komprimieren, die Kompression eines jeden einzelnen auf Film ausbelichteten Frames unabhängig voneinander (24 in der Sekunde), als wären es unzusammenhängende, statische Bilder (**vgl. Abb. 16**), wobei jeder einzelne Frame dann auch für die Projektion dekodiert wird („*intra-frame compression*“).

Auf Grund der Funktionstüchtigkeit dieses Systems wird es als Standard für das digitale Kino gesehen.

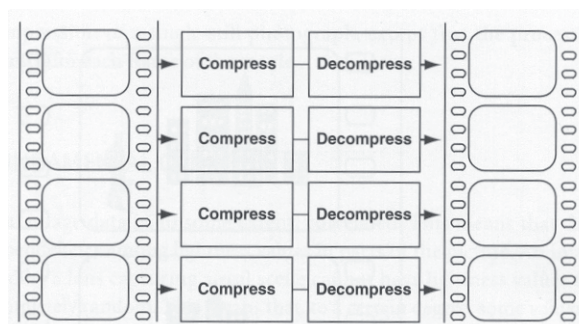


Abb. 16 Intra-frame compression (Quelle: [25], S.131)

Nichts desto trotz liegt es nahe, dass dieses Einzelbild-Kompressionsverfahren nicht all die Redundanz einer Bildersequenz ausnützen kann. Eine Möglichkeit, die Effizienz zu steigern, wären Techniken wie die „temporal compression“⁷⁹ oder die „inter-frame“ Kodierung (vgl. Abb. 17), weil ein Frame Informationen eines oder mehrerer vorhergehender Bilder nutzen kann.

Das impliziert aber nicht gleichzeitig, dass darunter die Qualität zu leiden hat, denn eine Inter-Frame Kompression kann durchaus dieselbe Qualität bei niedrigerer Bitrate als eine Intra-Frame-Kodierung erzeugen, oder sogar bessere Qualität bei gleicher Bitrate, meint Symes. (vgl. [25], S.130f).

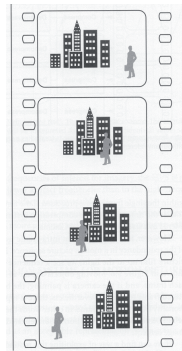


Abb. 17 Inter-frame compression (Quelle: [25], S.132)

5.8 Transformationen

Bezogen auf Bildkompressionssysteme sind dies Mechanismen, welche räumliche Daten in Ortsfrequenzen umwandeln.

Eine Transformation ist also eine Anzahl mathematischer Gleichungen, die es ermöglichen, einen Datensatz auf eine andere Art zu repräsentieren, also zum Beispiel Farbraumumwandlungen (RGB zu XYZ zu YUV) durchzuführen.

Wie bereits erwähnt, ist nämlich der menschliche Gesichtssinn unempfindlich gegenüber hochfrequenten und niederkontrastigen Daten, so dass solche Informationen verlustlos reduziert werden können. Zudem kann, wegen der leichten Täuschung des HVS, mit Datenreduktionsverfahren Irrelevanzreduktion vorgenommen werden, die das Auge kaum bemerkt.

Da aus dem Betrachten eines Arrays von Pixelhelligkeitswerten oder auch -farbwerten Frequenzinformationen schwer abzuleiten sind, konvertieren Transformationen, durch die Festlegung einer Reihe von Basisfunktionen zeitdiskrete Signale vom Orts- in den Frequenzbereich. Die Basisfunktionen selbst werden so gewählt, dass Kombinationen mehrerer solcher Funktionen jedes mögliche Pixelfeld repräsentieren können.

⁷⁹ Redundanz über die Zeit ([25], S.131)

5.8.1 DCT

„Die diskrete Cosinustransformation nutzt den Umstand, dass sich aus dem Frequenzspektrum andere Inhalte und Bearbeitungsmöglichkeiten erschließen als bei der Zeitdarstellung. Das Frequenzspektrum eines Videosignals kann dreidimensional dargestellt werden. Neben der Frequenz bezüglich der Zeit ergeben sich die Ortsfrequenzen bezüglich der Koordinaten der Bildfläche. Tiefe Ortsfrequenzen repräsentieren große Bildstrukturen und langsame Helligkeitsübergänge, hohe Frequenzen werden dagegen durch kleine Strukturen und abrupte Übergänge verursacht. Da in natürlichen Bildern grobe Strukturen weit häufiger vorkommen als feine, findet meist eine Konzentration auf niederfrequente Komponenten statt. Falls hochfrequente Komponenten zur Datenreduktion ungenau dargestellt oder ganz weggelassen werden, ist der Fehler irrelevant.“ ([19], S.116f)

Zur Bildung der DCT wird das Bild in meist quadratisch angeordnete Blöcke aufgeteilt. (vgl. Abb. 18) Die Transformation wird dann jeweils auf alle Pixel eines Blockes angewendet (64 Pixel), wodurch die Bildpunktwerte des Blocks in 64 Koeffizienten überführt werden, welche es dann zur weiteren Datenreduktion zu quantisieren gilt.

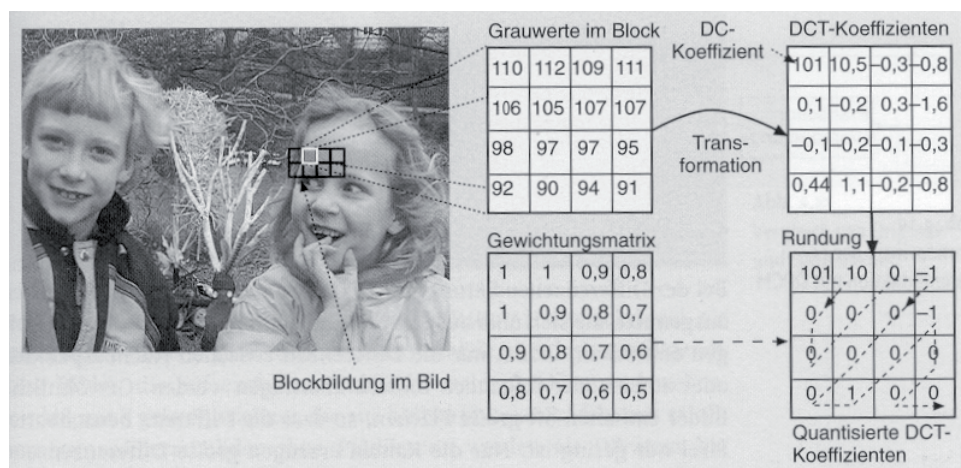


Abb. 18 Blockbildung und Transformation der Blockwerte (Quelle: [19], S.117)

„Um die Daten zu reduzieren, werden die Koeffizienten quantisiert und dabei unterschiedlich bewertet. Die hochfrequenten Signalanteile werden geringer bewertet als die niederfrequenten, oder sie werden ganz weggelassen. Nachdem die Werte auf ganze Zahlen gerundet wurden, sind nur noch sehr wenige Koeffizienten von null verschieden. Dieser Umstand wird besonders deutlich, wenn die Originalabtastwerte nur sehr wenige Grauwertabstufungen umfassen. Das Signal wird durch den Quantisierungsprozess verfälscht. Ein typischer Fehler, der bei der DCT auftritt, ist der Blocking-Effekt, d.h. dass die Blockgrenzen sichtbar werden. Es hängt von der Wahl der Bewertungsmatrizen ab, in welchem Maßen die Fehler in Erscheinung treten.“ ([19], S.117)

Die DCT wird in den meisten von der **Moving Picture Experts Group** standardisierten Kompressionssystemen (MPEG AVC, auch MPEG-4 PART 10, I-TUT Recommendation H.264 oder JVT [Joint Video Team]) verwendet.

5.8.2 Wavelet-Transformation

Im Gegensatz zur DCT benötigt die Wavelet-Transformation nur eine einzige Basisfunktion, obwohl sie gewöhnlich separat als horizontale und vertikale Funktionen implementiert wird.

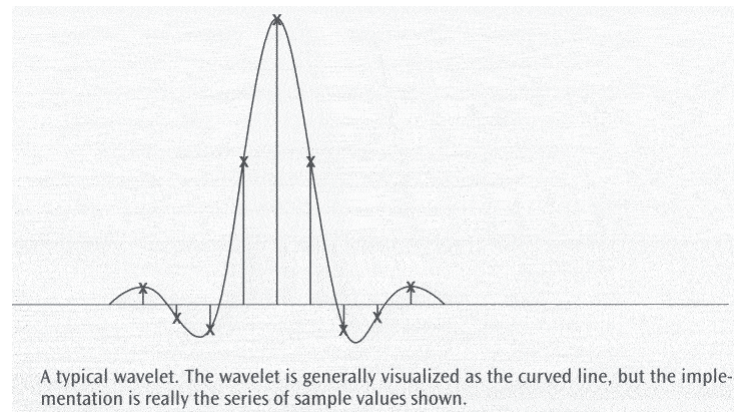


Abb. 19 Wavelet (Quelle: [25], S.139)

Bei der 2D-Wavelet-Transformation, welche genutzt werden kann, um bestimmte Frequenzbänder eines Bildes zu extrahieren, wird das Bild nicht in Blöcke unterteilt, sondern das Wavelet bewegt sich von Pixel zu Pixel, wobei es Koeffizienten produziert, deren Anzahl sich nach dem Pixelvorkommen richtet. Anschließend werden die Koeffizienten, da sich die Information auf einige wenige beschränkt, quantisiert und die quantisierten Werte entropie- und/oder laflängenkodiert.

Wellen können also genutzt werden, um das höchste Orts-Frequenzband vom Bild zu trennen, so dass weniger Bildpunkte benötigt werden, was wiederum durch Einhaltung des Nyquist⁸⁰-Theorems die nötige Bitrate senkt. Die Pixeldichte kann in jede Richtung halbiert werden, was ein Bild mit einem Viertel der zuvor vorhandenen Pixel ergibt.

Grundsätzlich reduziert jedoch keine der beiden Transformationen die das Bild repräsentierende Datenmenge, sondern sie steigern diese. Nun sind die Daten aber in eine Form gebracht, welche sich mehr als vorher zur Ausnützung der Begrenzungen des menschlichen Gesichtssinns eignet. (vgl. [17], S.58f)

Wavelets sind bereits in einer Anzahl von Systemen verwendet worden, obgleich die Technologie rechenintensiver als die der DCT ist. Die Wavelet-Transformation ist unter anderem die Kerntechnologie des von der DCI ausgewählten JPEG 2000 Bildkompressionsstandards für das digitale Kino.

⁸⁰ **Abtasttheorem:** Besagt, dass ein kontinuierliches, bandbegrenzttes Signal mit einer Minimalfrequenz von 0 Hz und einer Maximalfrequenz $f_{\max}$ mit einer Frequenz größer als $2 \cdot f_{\max}$ abgetastet werden muss, damit man aus dem so erhaltenen zeitdiskreten Signal das Ursprungssignal ohne Informationsverlust (aber mit unendlich großem Aufwand) rekonstruieren bzw. (mit endlichem Aufwand) beliebig genau approximieren kann. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Nyquist-Theorem>)

5.9 Quantisierung

Nachdem diese bereits bei der Digitalisierung durchgeführt wurde, wird nun der Wertebereich, nachdem die Daten in das Frequenzspektrum transformiert wurden, durch eine erneute Quantisierung diskretisiert.

Die folgenden, von McKernan (vgl. [17], S.60) angeführten drei Stufen, können von einem einzelnen Prozess bearbeitet werden, welcher Frequenzdaten requantisiert und eine sich in der Grobheit steigende Quantisierung für höhere Ortsfrequenzen vorsieht. Diese Tatsache forciert die Koeffizienten mit Werten nahe Null, gegen Null und repräsentiert höhere Ortsfrequenzen mit einer geringeren Bitzahl als tiefe:

- Wenn Bilddaten transformiert werden, entsteht eine enorme Anzahl von Koeffizienten, von denen die meisten jedoch entweder gleich Null, oder sehr nahe an Null sind. Setzt man letztere auch noch auf Null, so hat das keinen sichtbaren Effekt auf das Bild.
- Da der menschliche Gesichtssinn unempfindlich gegenüber feinen Details im unteren Kontrastbereich ist und die Daten sich nunmehr im Frequenzspektrum befinden, können alle hochfrequenten Koeffizienten mit niedriger Amplitude auch auf Null gesetzt werden.
- Zusätzlich kann der menschliche Gesichtssinn, auch wenn feine Details genug Kontrast aufweisen, das aktuelle Ausmaß nur sehr grob erfassen. So können Koeffizienten, die höhere Ortsfrequenzen repräsentieren, grob quantisiert werden, da das HVS nur eine Annäherung an die originale Amplitude verlangt. (vgl. auch [25], S.140)

Die Quantisierung ist die einzige verlustbehaftete Stufe im Prozess, bei welcher zudem das Ausmaß der Kompression durch Einstellung des Quantisierers kontrolliert werden kann. Das Ergebnis des Prozesses ist eine hohe Anzahl von Koeffizienten, wobei, wie bereits beschrieben, eine Vielzahl davon den Wert Null trägt und viele mehr durch eine geringe Bitanzahl beschrieben werden. Die Quantisierung an sich ist immer noch keine große Hilfe für die Übertragung der Daten an die Kinos, aber sie eignen sich nun für die verlustlose Kompression.

5.10 Verlustlose Kompression

Diese Kompressionssysteme versprechen, dass nach der Dekompression das Ergebnis identisch mit dem ursprünglichen Signal ist. Deswegen wird diese Technik nach der Transformation und der Quantisierung angewendet, ohne weitere, das Bildmaterial betreffende, Beeinträchtigungen mit sich zu bringen.

Verlustlose Kompressionssysteme reduzieren die Anzahl an Daten durch Zuhilfenahme effizienter Codierschemen oder auch geschicktester Algorithmen. Einige seien hier angeführt und kurz erklärt:

- **„run-length encoding“:** Wenn bei Daten Werte öfter vorkommen, dann ist es leicht, einen speziellen Code zu arrangieren, z.B. 64/23, d.h. der Wert 64 soll 23-mal interpretiert werden.

- **„variable-length coding“**: Nutzt die Tatsache, dass einige Werte oder Sequenzen von Werten öfter vorkommen als andere, um dann die öfter vorkommenden mit kurzen Zeichenketten und die seltener vorkommenden mit längeren Codes zu kodieren.
- **„arithmetic coding“**: Wurde von IBM für Faxmaschinen entwickelt und benutzt eine kontinuierliche Analyse der Bitstream Statistiken, um einen effizient kodierten Output zu generieren.

Moderne Kompressionssysteme nutzen diese Techniken und verbesserte Varianten, welche sich selbst an sich verändernde Charakteristiken des Bitstroms anpassen. Solche Systeme sind unter anderem **„content adaptive variable length coding“** (CAVLC) und **„content adaptive binary arithmetic coding“** (CABAC). (vgl. [17], S.61)

5.11 Zusammenfassung

Die Kompression ist ein wichtiger Teil des Digital Cinema. In absehbarer Zukunft wird das elektronische Ausliefern von „*high-quality movies*“ aber nicht zu bewerkstelligen sein.

Die DCI Spezifikation spricht sich klar für den JPEG 2000 Standard aus, der auch schon im **Kapitel 5.3** beschrieben wurde.

Die Kompression erfolgt hier in folgenden Stufen:

- Aufteilung des Bildes in Teilbilder
- Transformation des Farbraumes
- DCT der Teilbilder
- Quantisierung
- Entropiekodierung

6 Gewährleistung der Sicherheit im digitalen Kino

Sicherheit im digitalen Kino ist von größter Bedeutung, da jede einzelne der tausenden versandten Kinokopien den ganzen Wert (Entwicklungskosten, zukünftige Einnahmen) einer Filmproduktion in sich trägt. Der Content, der also an die oder mehr als 100 Millionen \$ (so folgt es laut Schumann zumindest aus einer die MPAA Mitglieder betreffenden Erhebung im Jahre 2003) repräsentiert, muss während des Transportes, während der Speicherung und der Vorführung im Kino vor unerlaubten Zugriffen geschützt werden, so Schumann. (vgl. [20], S.151)

Robert Schumann, der Präsident von Cinea Inc., einem Tochterunternehmen der Dolby Laboratories, beschreibt die Dringlichkeit einer Sicherung der Filmverwertungskette und die Piraterie, aus der diese hervorgeht, folgendermaßen:

„Remember that content piracy is all about economics. First, if distributors gave away their content for free, there would be no piracy. Second, piracy cannot take back the revenue that has already been earned by a distributor. Thus all anti-piracy efforts are related to protecting the future revenue stream generated by a piece of content.“ ([20], S.154)

Das Einkommen der Distributoren wird also durch Verstöße gegen das Immaterialgüterrecht, also das Urheberrecht, das Patentrecht und sonstige verringert, da es vorkommt, dass Menschen die normalerweise dafür zahlen würden den Film zu sehen, sich diesen auf andere Art besorgen könnten („bootleg“ DVDs oder CDs; Peer-to-Peer Tauschbörsen, etc.). Durch das Aufkommen neuer Technologien geschieht dies in gesteigertem Maße.

Die eingesetzten Techniken sollten also zum einen Diebe vom unautorisierten Zugriff abhalten, zum anderen sollten diese gefunden und zivilrechtlich verfolgt werden, sollten sie Erfolg gehabt haben, sich Zugriff zu verschaffen. Andere Bedrohungen, welchen durch solche Systeme widerstanden werden muss, wären zum Beispiel unerlaubte Wiedergabe, die Manipulation, also das Editieren von Inhalten und der nicht protokollierte Datengebrauch.

Bevor solche Systeme implementiert werden, gilt es jedoch, so Schumann, zu analysieren, welche Bedrohungen am wahrscheinlichsten vorkommen werden und wie auf sie zu reagieren ist.

Immer im Hinterkopf behalten sollte man jedoch, dass es möglich und sogar wahrscheinlich ist, dass Sicherheitssysteme früher oder später versagen werden und dass dann die Erneuerung eines implementierten Systems unabdingbar ist. (vgl. [20], S.150)

Um die Sicherung der Daten vor Diebstahl, der sich je nach Möglichkeiten in seiner Art des Zugriffs unterscheidet, zu gewährleisten, ist es das Ziel, Systeme zu entwerfen, welche sowohl den rechtmäßi-

gen Gebrauch des Contents, also zum Beispiel das Speichern und Verschieben der Daten, erlauben, als auch gleichzeitig einen Bereich, in dem der Zugriff auf die Daten unter Gewährleistung der nötigen Sicherheit möglich ist, bereitstellen.

6.1 Content Encryption

Befinden sich Daten außerhalb eines solchen gesicherten Bereiches (*“secure enclave”*), werden sie durch eine geeignete Verschlüsselung, einem Vorgang bei dem ein Klartext (*„cleartext“* oder *„plaintext“*) mit Hilfe eines Verfahrens (Algorithmus) in einen Geheimtext (*„ciphertext“*) umgewandelt wird, geschützt. Die Parameter des Verschlüsselungsverfahrens sind ein oder mehrere Schlüssel (engl. *„key“*), ohne deren Besitz es unmöglich ist, Daten zurückzukonvertieren. Diese Verschlüsselungsschemen werden oft auch als *„cipher“* bezeichnet.

Moderne Chiffren basieren meist auf mathematischen und/oder logischen Manipulationen des digitalen Inhalts und können in zwei Klassen eingeteilt werden: symmetrische und asymmetrische Verschlüsselung, darauf basierend, ob Sender und Empfänger die gleichen oder unterschiedliche Schlüssel benutzen und sich unterscheidend in der Vermittlung der kryptografischen Schlüssel an am Vorgang Beteiligte.

Symmetrische Chiffren nutzen kleinere Schlüsselgrößen und sind somit effizienter und schneller im Gebrauch als asymmetrische. Sie nutzen, und gerade dadurch grenzen sie sich von asymmetrischen Verschlüsselungssystemen ab, den gleichen Schlüssel zur Ver- und Entschlüsselung. Dadurch ist es aber für Angreifer, da diese Schlüssel meist über unsichere Kanäle übertragen werden, sollte ihnen der Schlüssel bekannt sein, ein leichtes an die Informationen zu kommen und zudem die Daten zu manipulieren beziehungsweise zu editieren und damit die Originalnachricht zu verfälschen. Aus diesem Grund werden hybride Verschlüsselungen (symmetrischer Schlüssel wird asymmetrisch verschlüsselt) angewendet um auch in diesen Fällen Sicherheit zu gewährleisten. Die meist genutzten modernen symmetrischen Chiffren sind **„Digital Encryption Standard“** (DES) und das neuere **„Advanced Encryption Standard“** (AES).

Bei asymmetrischen Chiffren, auch Public-Key Verfahren genannt, verhält es sich so, dass sie auf bestimmten mathematischen Eigenschaften beruhen, um ein Paar passende Schlüssel kreieren zu können. Diese jedoch sind nicht identisch, und einen zu kennen, befähigt noch nicht, den zweiten bestimmen zu können.

Bei asymmetrischen Chiffren wird also ein öffentlicher Schlüssel (*„public key“*) von den Anwendern genutzt, um an den Eigentümer eine verschlüsselte Nachricht zu versenden und ein anderer, der private Schlüssel (*„private key“*) des Eigentümers, um an ihn gesendeten Daten zu entschlüsseln.

Da der Private Key im Gegensatz zum Public Key immer geheim gehalten wird, können asymmetrische Chiffren nicht nur dazu genutzt werden, Content zu beschützen, sondern auch um seine Authentizität zu gewährleisten.

Ein Nachteil dieses Systems ist immer noch das durch Mittelsmann-Angriffe entstehende Schlüsselverteilungsproblem. Ein solcher Mittelsmann würde nämlich den „*public key*“ eines Kommunikationspartners vortäuschen, die Nachricht mit seinem privaten Schlüssel entschlüsseln, sie dann mit dem eigentlichen öffentlichen Schlüssel verschlüsseln und weitersenden. Somit ist die Frage nach der Authentizität des öffentlichen Schlüssels, welcher heute immer öfter durch Zertifizierungsstellen Klarheit verschafft werden soll, eine häufig gestellte.

Diese modernen Chiffren, die meist genutzte ist die RSA⁸¹ Chiffre, sind auf Grund langer Schlüssel und ihrer mathematischen Komplexität sehr rechenintensiv.

6.2 Die Verwaltung der Schlüssel und Zertifikate

Die stärksten Sicherheitssysteme aber hätten keinen Sinn, wenn die Schlüssel, die zur Verschlüsselung und Integritätskontrolle genutzt werden, nicht auch verschlüsselt würden.

Im digitalen Kino werden zur Verschlüsselung der Bild- und Tonspuren meist symmetrische, 128bit lange AES Schlüssel im CBC- („*Cipher Block Chaining*“) Modus verwendet, welche es durch ihre Eigenschaft, dass Sender und Empfänger denselben Schlüssel teilen, notwendig macht, den symmetrischen Schlüssel durch einen asymmetrischen, wie RSA (mit 2048 Bit Länge), zu verschlüsseln. Dieser ist zwar rechenintensiver als AES, jedoch wird mit der „Public Key Cipher“ zum einen nur der symmetrische Schlüssel und nicht das gesamte DCP entschlüsselt und zum anderen ist durch ihn gewährleistet, dass nur berechtigte Empfänger den Schlüssel erhalten.

Zudem gewährleisten Zertifikate wie der ITU-T x.509⁸² Standard die Authentizität des Empfängers.

Die aktuelle Version X.509 v3 wird auch im digitalen Kino genutzt, so zumindest in der DCI Spezifikation erläutert, um digitale Signaturen zu authentifizieren und die Funktion oder Rolle bestimmter Geräte (Media Decryptor, Forensic Marker, Projektor, etc.) zu verifizieren.

⁸¹ Entwickelt von Ronald Rivest, Adi Shamir und Leonard Adleman

⁸² **X.509** ist ein ITU-T-Standard für eine Public- Key-Infrastruktur (in der Kryptologie und Kryptografie ein System, welches es ermöglicht, digitale Zertifikate auszustellen, zu verteilen und zu prüfen. Die innerhalb einer PKI (**Public-Key-Infrastruktur**) ausgestellten Zertifikate sind meist auf Personen oder Maschinen festgelegt und werden zur Absicherung computergestützter Kommunikation verwendet) und der derzeit wichtigste Standard für digitale Zertifikate. Die aktuelle Version des Standards heißt X.509v3. (<http://de.wikipedia.org/wiki/X.509> ; <http://de.wikipedia.org/wiki/PKI>)

6.3 DRM (Digital Rights Management) im digitalen Kino

Im Bereich der „Content Security“ müssen vor allem zwei Komponenten adressiert werden, das ist zum einen die kryptographische Sicherung, wozu die Verschlüsselung, das Key Management und etwaige Zertifikate zählen und zum anderen die Festsetzung von Geschäftsregeln, die über die Entschlüsselung bestimmen. Hierzu werden DRM-Verfahren (vgl. Abb. 20) verwendet. Diese schützen zum einen Urheber- und Vermarktungsrechte an geistigem Eigentum jeglichen Ursprungs und bieten zudem neue Rechte- und Lizenzabrechnungsmöglichkeiten und eine gesteigerte Inhaltskontrolle für den Rechteinhaber.

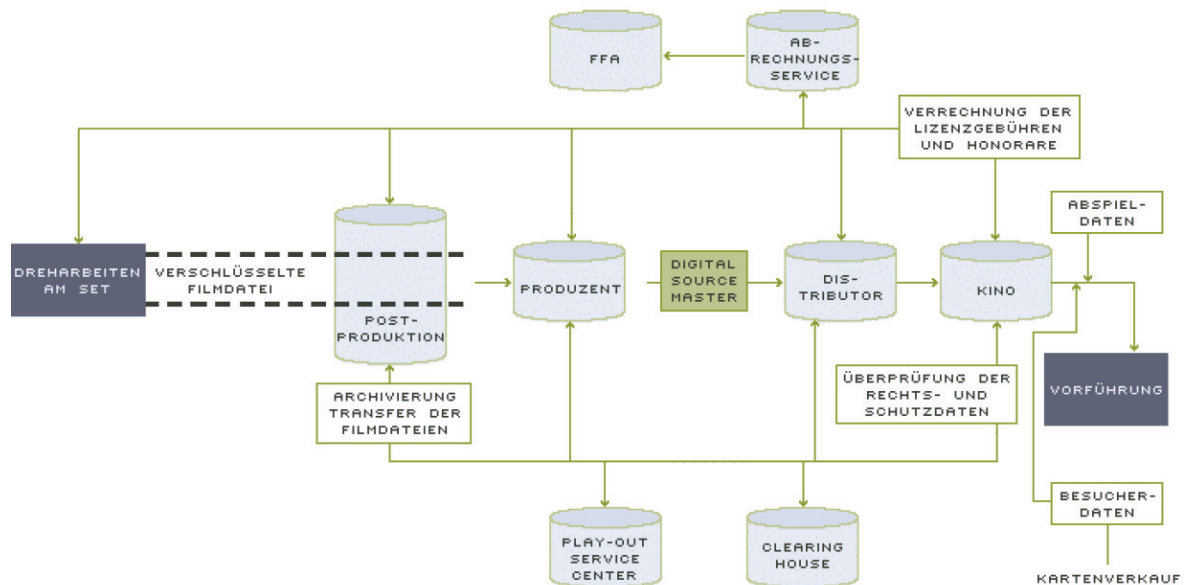


Abb. 20 Prozessübersicht DRM (Quelle: [60], S.30)

6.4 Logging/Auditing

Dieser letzte große Teilbereich des „Content Security“-Systems, das Protokollieren und Berichten, ist ein Mechanismus, der eine strenge Kontrolle der sicherheitsrelevanten Vorgänge (Verschlüsselung, Entschlüsselung, mögliche Sicherheitsbrüche, etc.) ermöglichen soll.

An dieses System gestellte und in der DCI vermerkte Anforderungen sind zum Beispiel:

- Schutz vor dem Löschen und Editieren des Inhalts
- Das Gerät, in dem das Protokollient ausgelöst wurde, muss zurückverfolgbar sein
- Die Aufzeichnungen unterliegen einer Filterung, somit können zum Beispiel Rechteinhaber nur ihnen rechtlich zugesicherte Informationen einsehen
- Jeder Rechteinhaber kann die Aufzeichnungen auf ihre Vollständigkeit überprüfen
- Kommt es zu einem Teilausfall des Protokollierungssystems, so wird augenblicklich die Wiedergabe gestoppt oder erst gar nicht möglich gemacht

Diese Systeme können aber durchaus auch zu geschäftlichen Zwecken, wie die Abrechnung und Transaktionsüberwachungen, genutzt werden.

6.5 Sicherheitssysteme der nächsten Generation

Als am 18.6.1999 als erster digital projizierter (**TI 1,3K DLP Cinema** Projektor) Mainstream-Film George Lucas' Star Wars Episode I in ausgewählten Kinos anlief und damals bereits als die Zukunft des Films angesehen wurde, war für die Kopien aufgrund der überschaubaren Anzahl der Kinos nur physischer Schutz gewährleistet worden. Mit der Umrüstung weiterer Kinos und in die Zukunft blickend stellte sich jedoch bald heraus, dass diese Verfahrensweise für größere, oder sogar weltweite Veröffentlichungen ungeeignet war. Firmen wie **Technicolor**, **QUALCOMM**, **Boeing** und **Cinea** trieben dann die Entwicklung in Richtung heute existierender Systeme voran.

Betrachtet man die Entwicklung der Digital Cinema Infrastrukturen genauer, so ist ein Trend in Richtung modularer und interoperabler Systeme zu erkennen, meint Robert Schumann, welcher seit 2000 Mitglied der SMPTE DC 28 Gruppe ist und ein Jahr davor sein Unternehmen Cinea gründete, von welchem später in dieser Arbeit wieder die Rede sein wird, welcher sowohl von Verleihern als auch Kinobetreibern im Glauben daran unterstützt wird, einen Markt für wettbewerbsfähige Produkte und Dienstleistungen zu schaffen. Die Schwierigkeit liegt hier in der Fertigung einer „*end to end*“ Sicherheits-Infrastruktur, welche gleichzeitig den Gebrauch von „*plug&play*“ Komponenten erleichtert. Auf **DCI/SMPTE** Normen basierende Sicherheitssysteme der nächsten Generation sollen dies bewerkstelligen. (vgl. [20], S.163)

Das **SMPTE DC28 Digital Cinema committee**, und später auch die **DCI**, haben sich mit diesem Problem auseinandergesetzt und ein System entwickelt, welches zwar aus sicherheitstechnischer Sicht nicht den Anspruch eines idealen Systems erheben kann, dafür aber einen vernünftigen Kompromiss aus absoluter Sicherheit, Austauschbarkeit von Komponenten, Erneuerung von Sicherungsalgorithmen und Flexibilität des Businessplans verspricht. Überlegungen hierzu wurden in den Bereichen Business, Technik und Systemarchitektur angestellt. (vgl. [20], S.163f)

In den Bereichen „*watermarking*⁸³“, ein von einem Studio vor der DCDM (vgl. **Kapitel 4.1**) Phase angefügter Stempel aus Zeit und Abspielort, und „*fingerprinting*“ werden in der DCI Spezifikation keine bestimmten forensischen Markierungssysteme spezifiziert, doch behält sie sich das Recht vor ein spezielles Verfahren verpflichtend einführen zu können.

⁸³ **Digitale Wasserzeichen** erlauben es, Authentizität (den Urheber und die Herkunft des Datenmaterials) oder Integrität (Unversehrtheit) nachzuweisen, indem Informationen direkt in das Datenmaterial eingefügt werden. Die eingebrachte Information ist dabei im Allgemeinen für das menschliche Auge nicht wahrnehmbar und so mit dem Datenmaterial verwoben, dass ein einfaches Entfernen unmöglich ist, ohne das Datenmaterial selbst zu beschädigen. (http://de.wikipedia.org/wiki/Digitales_Wasserzeichen)

6.5.1 Der Business-Bereich

Ansprüche in diesem Bereich beziehen sich vor allem auf folgendermaßen bezeichnete Gebiete: „*dark screens*“⁸⁴, das Protokollieren und Berichten (Logging/Auditing), die Instandhaltung des Systems und die Interoperabilität des zur Verwendung kommenden Equipments desselben, welche es erlauben soll, Limitationen, bestimmte Architekturimplementierungen⁸⁵ betreffend, zu vermeiden.

Die Systeminstandhaltung, einer der eben erwähnten Punkte, setzt ein Systemdesign voraus, welches die Installation oder den Austausch von „*content-playback*“ Equipment erlaubt, ohne „*dark screens*“ zu verursachen. Diese können jedoch ebenso auf Grund vertraglich festgelegter Endtermine, nicht kompatibler Endgeräte, oder illegaler beziehungsweise unerlaubter Zugriffe verursacht werden.

Der hier entstehende Nachteil für die Kinobetreiber ergibt sich aus den anspruchsvollen Zugriffskontrollen der Distributoren, welche es ihnen erlauben, gespielten Inhalt, den Vorführort, die Dauer des Kopienverleihs und die zur Anwendung kommenden Techniken zu bestimmen.

6.5.2 Der Technik-Bereich

6.5.2.1 Distribution

Der Schutz des Inhaltes während der Distribution ist eine der Hauptaufgaben des Systems. Da der Inhalt sowohl physisch (DVD, HDD), als auch elektronisch (Breitband-, Satellitenübertragung; Virtual Private Network [VPN]) über Play-Out-Service-Center verteilt werden können muss, besteht der Anspruch auf Verschlüsselungsalgorithmen, welche mögliche Piraterie während des Transports verhindern sollen.

Die DCI beschreibt den Sachverhalt folgendermaßen: *Any selected method is required to provide for a secure environment for the content as well as no corruption of the data.* ([37], S.41)

6.5.2.2 Schlüssel/DRM

Die KDM („*Key Delivery Message*“), mit der AES-Schlüssel, DRM Informationen und andere wichtige Daten versendet werden, und welche es dem Rechteinhaber erlaubt, einem Kinobetreiber das Abspielen bestimmter Inhalte in einem bestimmten Zeitrahmen zu ermöglichen, ist grundsätzlich nur von einem Empfänger, nämlich dem, der im Besitz des Private Keys ist, zu entschlüsseln. Zusätzlich kann der Rechteinhaber die Abspiellizenz auf bestimmte Kinosäle und auf einer TDL („*Trusted Device List*“) angeführte Geräte beschränken, letzteres vor allem dann, wenn in einem Gerät eine Sicherheitslücke

⁸⁴ wenn die Projektion stoppt

⁸⁵ d.h.: dass ob Betreiber nun mit einem einzigen Projektor und einem einzigen „*stand-alone content player*“, oder mit einem zentralisierten SAN (Storage Area Network) arbeiten, auf dem alle Filme gespeichert und von welchem sie in einen im Projektor eingebetten Media Block gestreamt werden, oder mit einem SAN mit mehreren Content Playern, stets Interoperabilität gewährleistet sein muss (vgl. [20], S.165f)

entdeckt worden ist. Auch wird das Abspielen verweigert, wenn Ort und Zeit nicht mit den mit dem Rechteinhaber vertraglich festgesetzten Werten übereinstimmen.

Diese Informationen müssen, um einen Missbrauch zu verhindern, ebenfalls geschützt werden. Bei DRM Informationen muss dies deshalb der Fall sein, um Manipulationen vorbeugen zu können. Lügen die Daten nämlich in einer nicht verschlüsselten und somit editierbaren Form vor, so wäre es möglich den verschlüsselten Film zu kopieren und mit veränderten Zeitfenstern und Zugriffsrechten, auch zum Beispiel in anderen Kinos, ohne rechtlichen Rückhalt erneut wiederzugeben.

Um dieses Szenario der Redistribution zu vermeiden, ist es von großer Bedeutung, dass Security Systeme diese sich auf DRM beziehenden Informationen bei Erhalt des Schlüssels authentifizieren, um solch einen Schwindel aufdecken zu können.

6.5.2.3 Speicherung im Kino

Während es noch sehr schwer war, Filmkopien in ihrer physischen Beschaffenheit zu kopieren, stellt dies bei digitalen Kopien kein Problem mehr dar. Die Tatsache, dass Kinos in der Zukunft, sowohl intern, als auch nach außen hin, vernetzt werden, könnte eine weitere Möglichkeit bieten, meint Schumann, den Inhalt über eben jenes Netzwerk zu kopieren, ohne eine Spur zu hinterlassen.

Aus diesem Grund sollte der Content, bis zum Zeitpunkt der Projektion, in noch verschlüsseltem Zustand abgespeichert werden. Im folgenden Punkt werden mögliche Systeme aufgelistet. (vgl. [20],S.167)

6.5.2.4 Projektion des Inhaltes

Im digitalen Kino wird eine Filmdatei auf einem lokalen Server gespeichert. Beim Playback muss der Inhalt zuerst entschlüsselt, also durch ein Trustcenter freigeschaltet und dann dekomprimiert werden. Während dieses Prozesses besteht jedoch an der Verbindung⁸⁶ zum Projektor, oder zwischen den Entschlüsselungs- und Dekompressions-Subsystemen, die Möglichkeit Daten aufzugreifen. Das Ziel liegt hier in der Schaffung einer „*security enclave*“, welche dies verhindern soll.

Um eine kopiergeschützte Wiedergabe im Kino gewährleisten zu können, werden heute im Wesentlichen zwei Systeme eingesetzt:

- Zum einen das Broadcast-Server-Modell (Push-Methode), bei welchem die Daten im Server dekomprimiert und entschlüsselt und anschließend als Echtzeitstrom an den Projektor gesendet und über ihn ausgestrahlt werden. Für die gesicherte Verbindung zwischen Server und Projektor wird Link Encryption (von SMPTE 292M entwickelter HDTV Übertragungsstandard) verwendet.
- Bei dem zweiten System, welches als Daten-Server-Modell (Pull-Methode) bezeichnet wird, wird die noch verschlüsselte und komprimierte Datei auf Anforderung des Projektors vom Server an ihn weitergegeben und dort entschlüsselt, dekomprimiert und projiziert. Die Systemarchitekturkosten fallen in diesem Modell natürlich geringer aus und der Link vom Server zum Projektor muss nicht extra geschützt werden.

⁸⁶ Verwendung von Link Encryption an der Verbindung zwischen dem Playback Server und dem Projektor, z.B.: über das Security Management System CineLink™ von Texas Instruments

6.6 Systemarchitektur

Nachdem nun über die Ziele der „*DCI/SMPTE security architecture*“ (vgl. Abb. 21) aufgeklärt wurde, widmen wir uns nun der Architektur selber.

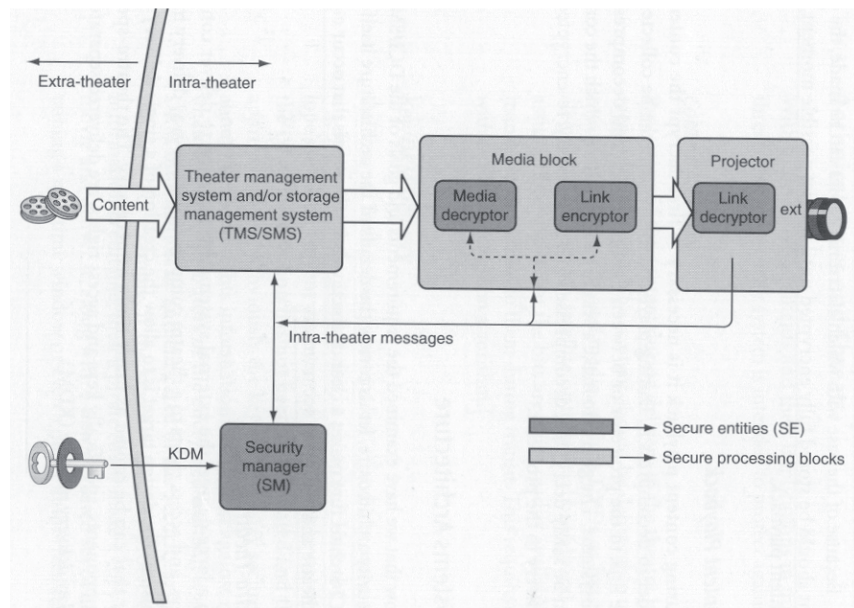


Abb. 21 Sicherheitsarchitektur beim digitalen Kino (Quelle: [20], S.168)

6.6.1 Außerhalb des Kinos

Diese externen Systeme werden dazu genutzt, mit Hilfe von meist unidirektionalen Distributionsmechanismen Inhalt, Schlüssel und Zugriffsrechte an das Kino zu liefern.

Ziel ist es, einen einzigen Distributionsmaster („*Content Master*“⁸⁷) zu schaffen, welcher dann beliebig oft kopiert werden kann.

Die kinospezifischen Daten, also Schlüssel und Zugriffsrechte, werden davon getrennt in der zertifizierten „*key delivery message*“ (KDM) übertragen.

6.6.2 Innerhalb des Kinos

Sind der Inhalt und die KDMs erst einmal an die Kinos geliefert worden, kommt der zweite Teil der „*DCI security specification*“ auf den Plan, welcher sich mit der Sicherung der Daten während der Speicherung und der Wiedergabe im Kino beschäftigt.

Hier wird die Architektur in so genannte „*security entities*“⁸⁸ und Komponenten, welche mit der Sicherung der Daten nichts zu tun haben (Kinomanagementsysteme, Speichersysteme), unterteilt. Dem, zu den SEs gehörenden, „*security manager*“ (SM) kommt hier, aufgrund seiner Fokussierung auf „*content*“

⁸⁷ Um ein standardisiertes DCP zu erhalten, verlangt die DCI nach einem Standard für verpackten Inhalt. Dieser ist in Rollen (mit 128-bit AES verschlüsselt) aufgeteilt, wobei jede aus einer Ansammlung von „*track files*“ zusammengestellt, von welchen wiederum jede MXF- Datei (Material Exchange Format) einen „*content data stream*“ („*essence stream*“) beinhaltet. Die Rollen werden anschließend mit einer Kompositionsliste in der richtigen Reihenfolge zusammengefügt (vgl. [20], S.167)

⁸⁸ SEs (MD, Link encryptor and decryptor, etc) sind für das Anwenden von Content Keys verantwortlich

security“ und seiner Verantwortung, Sicherheitsverfahrensweisen (z.B.: Einhaltung der Zeitfenster, Logdaten-Erstellung) mit Nachdruck geltend zu machen, eine tragende Rolle zu.

Nachdem zuerst vom Kino erhaltene DCPs auf einen Dateiserver zwischengespeichert worden sind, werden sie von, für meist jeden Kinosaal existierenden, Sicherheitsgerätschaften vor Angriffen geschützt. Das Sicherheitssystem beim digitalen Kino setzt sich aus dem „*Screen Management System*“ (SMS), welches zur Programmplanung und Systemsteuerung dient, einem Sicherheitsmanager, der sicherheitsrelevante Daten wie zum Beispiel Schlüssel kontrolliert und das digitale Rechtemanagement durchführt und aus einem oder mehreren „*Secure Processing Blocks*“ (SPB), die den ihnen innewohnenden Systemen (zum Beispiel SM) physikalischen Schutz gewährleisten, zusammen.

Wird das System gestartet, so werden zunächst zwischen den Sicherheitssystemen durch „*Transport Layer Security*“ (TLS) Standard gesicherte „*Intra-Theater (security) Messages*“ (ITM) übertragen, welche die Identität der jeweiligen zur Anwendung kommenden Geräte durch Private Schlüssel und Zertifikate (X.509) feststellen sollen (vom Theater Management System wird eine Liste der Geräte nebst einer Typ- und IP-Adressen-Angabe kommuniziert). Der SM bekommt nun zum Playback eine Komposition vom SMS, die den abzuspielenden Inhalt enthält, prüft dessen Integrität und lässt sich, meist vom Vertrieb, eine „*Key Delivery Message*“ für den ihm unterliegenden Kinosaal senden.

Hierauf wird die KDM mit Hilfe eines „*Private Keys*“ entschlüsselt und der SM überprüft ob vertraglich Geregeltes (Ort, Zeitraum, erforderliche Geräte auf der TDL, Protokolliersystem funktionstüchtig, etc.) eingehalten wird und alle für die Entschlüsselung des Inhalts erforderlichen AES-Schlüssel vorhanden sind. Ist dies der Fall und auch sonst alles in Ordnung – das Protokolliersystem ist das letzte zu überprüfende Kriterium – werden die symmetrischen Schlüssel an den „*Media Decryptor*“ (MD) weitergeleitet und der „*Forensische Markierer*“ (FM) wird aktiviert. (vgl. [50])

Im Security Manager, welcher auch als Schnittstelle zwischen dem Kinomanagementsystem und den Security-Komponenten fungiert, vereinen sich also fast alle sicherheitsrelevanten Funktionen (Authentifizierung, das Verstehen der „*Cinema Composition List*“, „*ingest processing*“ (vgl. Abb. 22), MD, FM etc.) in einer einzigen Komponente, was die Anforderungen an andere SEs sinken lässt und, sollte dies notwendig werden, einen Austausch des Systems nur auf die SM-Ebene beschränkt.

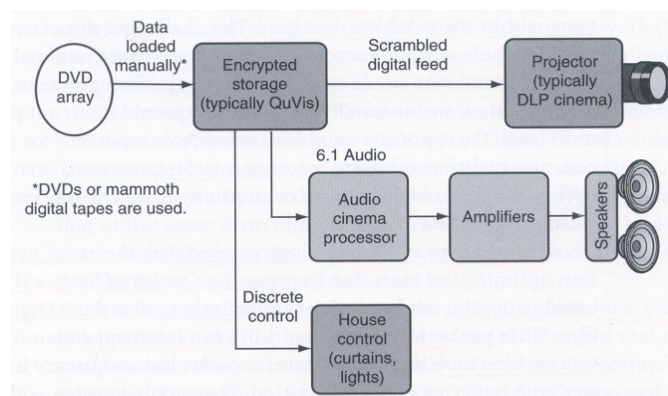


Abb. 22 Ingest Process (Quelle: [1], S.215)

6.7 Beispiele möglicher Implementierungen

Die möglichen Implementierungen von DCI Architekturen, Sicherheitssysteme betreffend, welche Robert Schumann (vgl. [20], S.174-178) anführt, seien hier kurz beschrieben und durch Grafiken ergänzt.

6.7.1 BSTS⁸⁹ with Embedded SM and Self-Managed Security

In diesem Modell, welches aus einem Projektor und einem Server besteht, sind alle Komponenten in diesen zwei Teilen enthalten (vgl. Abb. 23). Der Security Manager zum Beispiel, dessen Steuerung der Kinobesitzer übernimmt, befindet sich in dieser Implementierung im Server. Der Kinobesitzer empfängt weiters, meist via E-Mail, die notwendigen Schlüssel und Zusatzinformationen (KDMs), er ist für die Speicherung von Accesslogs des SM verantwortlich, er muss Authentifizierungsinformationen auf den SM laden und dessen Log-Infos nach Sicherheitsverletzungen überprüfen.

Der Kinobesitzer ist also selbst für das Managen der Sicherheitsoperationen verantwortlich.

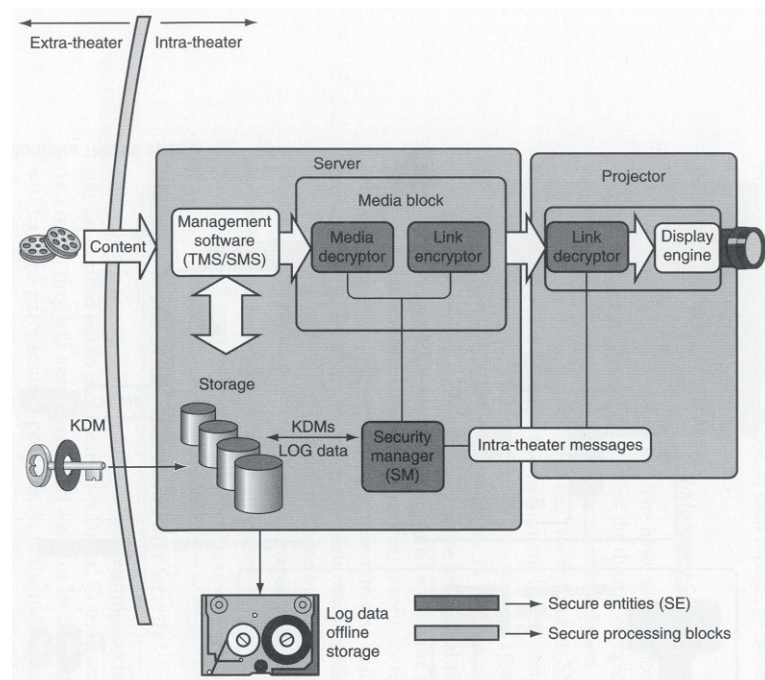


Abb. 23 Single Theatre System (Quelle: [20], S.175)

6.7.2 BSTS with Embedded SM and Third Party Security Operations

Dieses Model ist dem ersten ähnlich, mit dem Unterschied, dass hier eine dritte Partei vertraglich verpflichtet wird, sicherheitstechnisch Hilfestellung zu leisten. Die Sicherheitsoperationen werden also outsourced.

⁸⁹ Basic Single Theatre System

Dieses Security Service teilt dem SM im Kino Schlüssel, Zugriffsrechte und Informationen zur Authentifizierung mit und erhält SM Logs zur Analyse. Das System wird eher bei kleinen Kinoketten zu finden sein, eine Bereitstellung des SM durch die Outsourcing Partei wäre auch möglich.

6.7.3 Multiplex Theatre System with Self-Managed Security

Die Annahme hier ist, dass Kinoketten mit einer vom Distributor anerkannten SM Lösung arbeiten (vgl. Abb. 24). Zum Beispiel könnte ein Komplex zwei SMs besitzen, welche mit dem Rest des Equipments kommunizieren und Teil eines kinokettenweiten Security Management Systems sind, welches wiederum von einem zentralen Operationscenter aus operiert. Die zentrale Operationseinheit erhält von den Distributoren KDMs für jedes einzelne Kino der Kette, welche dann über ein internes Netzwerk vom Security Management System an die einzelnen SMs weitergeleitet werden. Das zentralisierte SMS übernimmt auch das Sammeln und Speichern der Protokollinformationen der Security Manager. Diese Informationen werden dann intern überprüft, oder wenn ausgehandelt, auch an Distributoren weitergegeben.

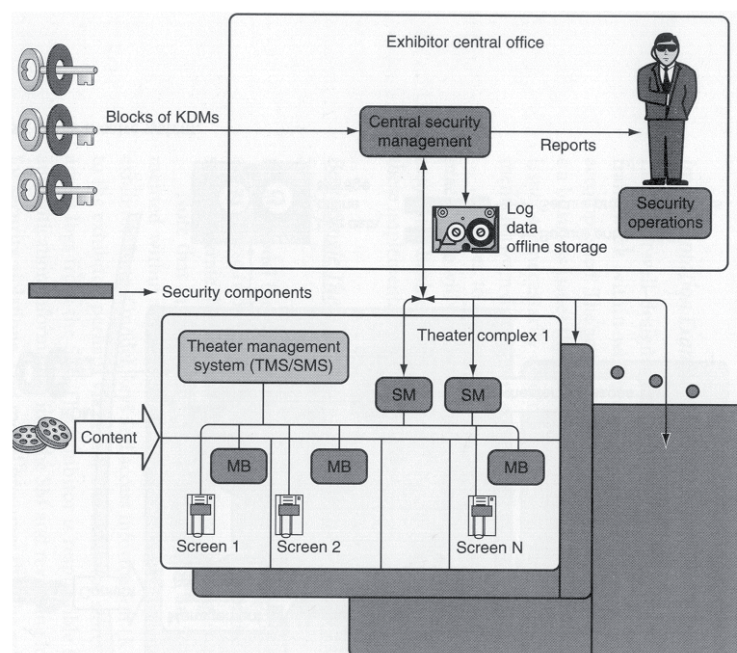


Abb. 24 Multiplex System (Quelle: [20], S.176)

6.7.4 Multiplex Theatre System with Third-Party Security

Der Unterschied zum vorigen Modell ist hier wieder die vertragliche Verpflichtung, entweder durch den Kinobetreiber selbst, oder den Distributor, eines Drittanbieters, welcher, gleich dem zweiten Modell, die SMs zur Verfügung stellen könnte (vgl. Abb. 25).

Dieser Plan sieht vor, dass das Security Service die KDMs für alle Kinos erhält und sie an diese weiterleitet. Weiters muss es Log Informationen sammeln, analysieren und darlegen und sich darum kümmern, dass das Equipment im Kino autorisiert ist.

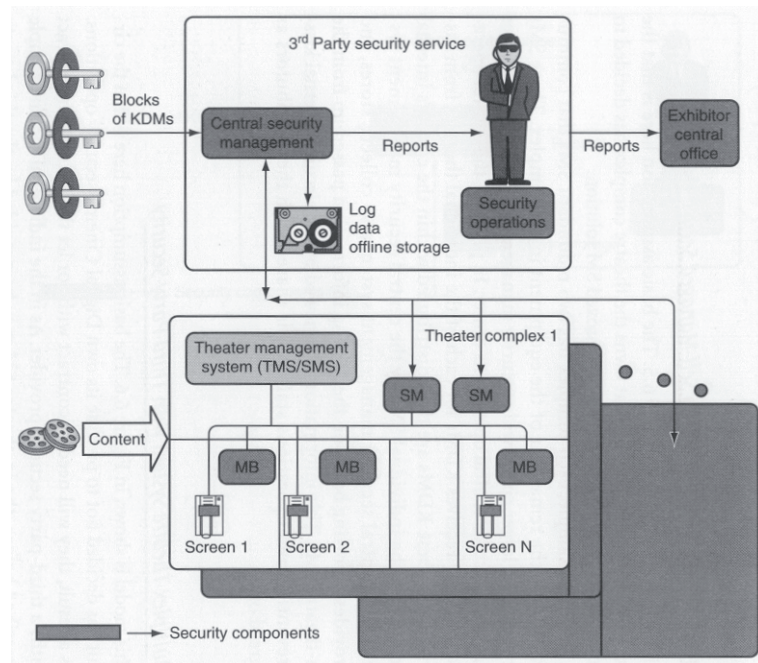


Abb. 25 Multiplex System mit Beteiligung Dritter (Quelle: [20], S.178)

6.8 Verpackung

Das Sammeln und Organisieren von Elementen, die alle zusammen später im „Distribution Package“ enthalten sein sollen, ist eine wichtige Aufgabe im „Digital Cinema Distribution Process“.

Chris Carey (Studio New Technology, The Walt Disney Studios) meint: „*The purpose of the packing process is to organize all the elements that comprise the distribution master, along with the related data that will provide information relevant to the unpacking, decryption, and ultimate playout of the material, and then to wrap these elements into a standardized file format or structure such that theatre systems can unwrap this distribution package in a predictable and standardized fashion.*“ ([3], S.179)

Dieses Standardisieren des Formates könnte aber angesichts der Tatsache, dass es zurzeit der Fall ist, dass die unterschiedlichen Digital Cinema Server, wie **QuVis**, **Avica**, **EVS**, **GDC** und **Technicolor** unterschiedliche Formate und Pakettypen verlangen, zum Problem werden.

Um aber die Interoperabilität zu steigern und zunächst überhaupt gewährleisten zu können, hat sich eine Gruppe mit dem Namen „**Interop Group**“ gebildet, welche bei den unterschiedlichen Servertypen zur Anwendung kommenden File Typen einander anpassen soll (Video: MPEG-2; Audio: PCM linear; Metadaten: MXF Files; Untertitel: PNG Dateien).

Nun wird also zunächst ein „*Digital Cinema Distribution Master*“ erstellt (vgl. Abb. 26), welches alle für die Produktion notwendigen Informationen wie Bilddaten, Ton, Untertitel und Projektions- und Metadaten enthält. Ein essenzieller Teil dieses Vorgangs ist auch die Komprimierung und Verschlüsselung mittels DRM-Systemen.

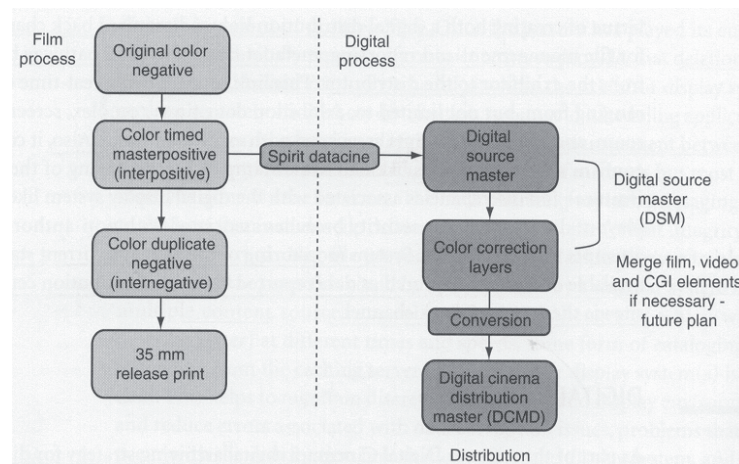


Abb. 26 Erstellung eines DCDM (Quelle: [1], S.214)

Das nun verschlüsselte und komprimierte DCDM wird hierauf als DCP („*Digital Cinema Package*“) an die Kinos gesendet. Dies kann mit Datenträgern (Exabyte Mammoth II, DLT Tapes, Festplatten und DVDs) oder per Breitband- oder Satellitenverbindung erfolgen. Ist das Distribution Master erst einmal auf einem dieser physischen Medien oder einem Distributionsserver gespeichert, kann der Transport erfolgen.

7 Die Distribution beim Digitalen Kino

Das digitale Kino bringt die Wandlung traditioneller Distributionsmethoden mit sich, welche schon seit Jahrzehnten in Verwendung sind.

Caporale, der Kinogeschichte schrieb, als er mit *“Tattered Angel”* den ersten mit einer Varicam aufgezeichneten Film erstellte, umschreibt diesen Umstand folgendermaßen: „*The digital cinema revolution still has to occur in distribution. What’s happened is that we’ve got an upside-down kind of marketplace with far too many sellers and not enough buyers. We have the ability to make movies but we don’t have the ability to get them shown. Studios own theatres and distribution, and they control what gets shown. But if we can distribute via satellite to independent theatres, then anything is possible.*” (zit. n. [17], S.143)

Während Innovationen, wie der Luft- und Bodentransport, erwähnenswerte Fortschritte für die Filmindustrie, im Bereich der Liefergeschwindigkeiten und weltweiten Distribution, bedeuteten, so hat sich am eigentlichen Prozess der Filmherstellung seither kaum etwas verändert (vgl. Abb. 27).

Zwar ist es möglich, und selbst das schneller als früher, Kinokopien zu übersetzen, mit Untertiteln zu versehen und dann weltweit zu vertreiben und sogar alternative Release Strategien, wie „*day&date*“⁹⁰ - Releases kommen zur Sprache, doch stellt das Aufkommen des Digital Cinema völlig neue Anforderungen an den Distributionsprozess.

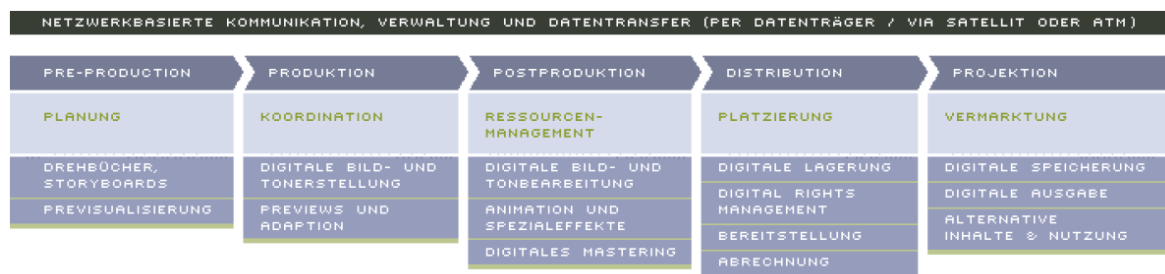


Abb. 27 Produktionsphasen (Quelle: [60], S.12)

Vorteile und Potentiale der digitalen Projektion ergeben sich auf sehr unterschiedlichen Ebenen, vor allem aber ist die digitale Kinokette aus ökonomischen Gründen vorzuziehen. Durch den Wegfall der Kinokopieerstellung und dem damit in Zusammenhang stehenden logistischen Aufwand, sinken die bei der Distribution anfallenden Kosten um bis zu 90%.

⁹⁰ Beschreibt das Release eines Feature-Films in Gebieten außerhalb Nordamerikas, wo Filme normalerweise früher in die Kinos kommen. Damit stehen logistische Herausforderungen im Zusammenhang, welche gleichzeitige Veröffentlichungen in anderen Gebieten gewährleisten sollen.

Patrick von Sychowski, früher Senior Analyst beim Londoner Medienforschungsunternehmen SCREEN DIGEST, sieht aber mehr als die bloßen ökonomischen Einsparungspotenziale: „*A full scale roll-out of digital Cinema installations will be primarily driven by changing release patterns and growing opportunity costs, resulting from more international day-and-date premieres, ultra-wide releases and pressure from piracy and DVD, rather than the [...] annual print cost of analogue film.*“ (zit. n. [10], S.75)

Weiters bietet das digitale Kino eine flexiblere und schnellere Verwertung und Vermarktung von Filmen, der Kinowerbung und alternativen Inhalten, wodurch sich neue Wertschöpfungsmodelle ergeben (alternative Content- und Nutzungsmodelle kommerzieller und non-kommerzieller Natur).

7.1 Hauptkomponenten des Distributionssystems

Content Preparation: Dieser Prozess beginnt entweder mit der Kompression und Verschlüsselung eines Filmes, in dem man das Interpositiv als Mastersource („*filmbased elements*“) verwendet, oder eines Digital Intermediate Master Source Files („*digital elements*“), auch DSM (Digital Source Master) genannt, welches durch die Abtastung und Bearbeitung ausgewählter Aufnahmen oder das Mastering digital akquirierten Filmmaterials entsteht.

In jedem Fall muss aufgrund noch nicht ausreichender Standards (**SMPTE/ISO**) für bestimmte Server- und Displaysysteme kodiert werden, doch auch das wird sich mit der Zeit ändern.

Transportmechanismus: Das DSM wird, durch einen Verleih beauftragt, von einem Kopierwerk oder Play-Out-Service-Center auf einem Server verwaltet und auf Anfrage auf Datenträgern versandt. Es besteht hier die Möglichkeit Kopien, um weitere Daten, wie zum Beispiel NutzungsCodes, zu individualisieren. Bei der Distribution physischer Medien werden, aufgrund der anfallenden Datenmengen, in erster Linie Festplatten und keine DVDs in Betracht gezogen. Trotzdem findet hier immer noch ein relativ aufwendiger Kopier- und Distributionsprozess statt, und alternativer Content, wie zum Beispiel Live-Veranstaltungen, ist nicht möglich.

Sollen die Daten via Satellit oder Kabel übertragen werden, wird die Filmdatei auf einem Distributionsserver zur Verfügung gestellt, welche der Kinobetreiber im so genannten Pull-Verfahren abrufen kann, oder per Push-Verfahren (Satelliten-Uplink) erhält. Auch diese Datei kann in den Sicherheits- und Lizenzierungsangaben variieren.

Manchmal sind zur Distribution auch Broadcasting- oder Streamingverfahren vorgesehen, das heißt dass die Filmdatei nicht auf einen lokalen Kinoserver heruntergeladen wird, sondern vom Distributionsserver gestreamt wird, was jedoch leistungsfähige und stabile Verbindungen voraussetzt. Aufgrund der Tatsache, dass das Digital Cinema also den Vorteil von „*just in time*“ Lieferoptionen nutzen kann, kann die Datenraten- und Bandbreitenverteilung angepasst werden, um das Beste aus einer Netzwerk-

konfiguration herauszuholen; denn während die physische Distribution Tage beanspruchte, kann die digitale Lieferung der Dringlichkeit angepasst werden.

Die Verwendung des Internet Protocol (IP) über MPEG- oder DVB-Transportmechanismen erlaubt es nämlich, meint Darcy Antonellis (Executive Vice President, Distribution and Technology Operations Warner Bros. Technical Operations Inc. und Senior Vice President, Worldwide Anti-Piracy Operations, Warner Bros. Entertainment Inc.), die bei Warner Bros. Entertainment für den Umstieg auf digitale Distribution verantwortlich war, Dateien zu unterteilen und in Paketform auf Streaming-, oder Broadcast-Basis, oder in opportunistischer Form, wobei die Datei in einem „Store and Forward“ Prozess gesendet werden, unter Berücksichtigung der gegebenen Bandbreite zu senden. Der Transfer ist erst abgeschlossen, wenn alle Pakete erhalten und per Checksumme überprüft sind. (vgl. [1], S.210f)

Die Distribution per Datenleitung, bei welcher der Kopierprozess des digitalen Masters entfallen würde und das Kino per Datenleitung mit einer Verteilerstation verbunden werden müsste (sicher vor dem Abhören durch Dritte) und per Satellitenverbindung (**vgl. Abb. 28**), bei welcher durch flächendeckende Ausstrahlung sowohl der Kopierprozess, als auch die Anbindung durch Standleitungen entfällt, können eine Vielzahl von Formen annehmen und auch untereinander kombiniert werden, um zum Beispiel hochbandbreitige Langstreckennetze mit dem hauseigenen Provider („Last Mile“) verbinden zu können.

Welche Technologie jedoch geeigneter zu sein scheint, bleibt jedem Kinobetreiber selbst überlassen, da die DCI in ihrer Spezifikation beiden Systemen ihre Berechtigung einräumt.

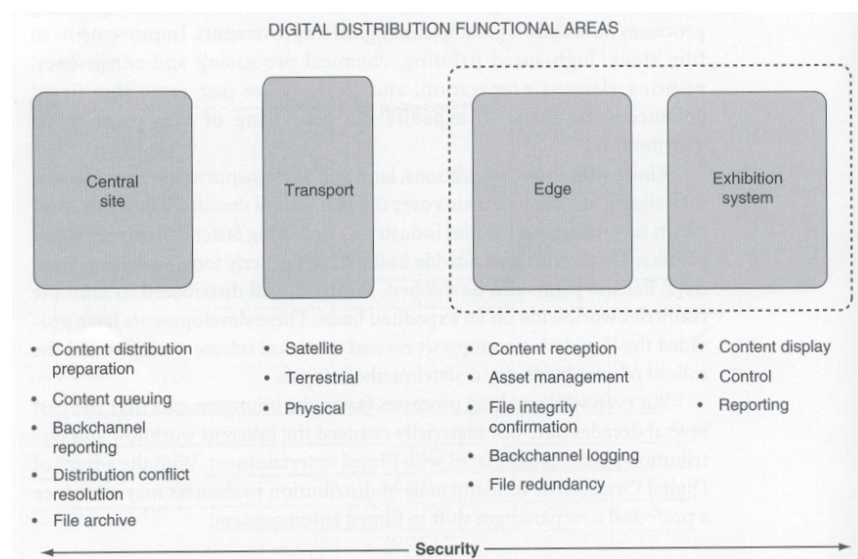


Abb. 28 Digitale Distribution (Quelle: [1], S.208)

Sicherheit: Die Security beim digitalen Kino, eine vielschichtige und multidimensionale Aktivität, bezieht sich auf die „*Content Security*“ zur Zeit des Transports und der Speicherung der Inhalte. Es gibt also drei Schichten, welche die Sicherung des Inhalts gewährleisten: Zum einen das „*Content Package*“ selber, zum anderen der Transportweg und die Authentifizierung der Empfangsgeräte.

Da diesem Bereich bereits ein ganzes Kapitel gewidmet wurde, soll hier nicht näher darauf eingegangen werden.

Digital Asset Management: Das DAM bezieht sich auf das Organisieren digitaler Inhalte (Bilder, Dokumente, Videos, etc.). Der Begriff „*Asset*“ wiederum indiziert den immanenten Wert solcher Dateien, der deren Ordnung lohnt.

Im Falle des digitalen Kinos ist das, aufgrund der großen Datenmengen, mit einer hohen Anzahl von Dateien verbunden. In Bezug auf Katalogisierung und Ordnung ist das Digital Asset Management eine der Schlüsselkomponenten des Distributionsprozesses, für dessen Verbesserung das Erarbeiten von standardisierten Metadaten unerlässlich ist.

Digitales Archiv: Als Teil der digitalen Kinobewegung muss eine Strategie zur Archivierung von digitalen Dateien berücksichtigt werden. Während es heute üblich ist, Originalaufnahmen⁹¹ und deren Intermediäre⁹² in physischer Form, in feuchtigkeits- und temperaturgeregelten Umgebungen zu lagern, wobei vor allem Risiken, welche die totale Zerstörung des Bildes durch Feuer und Wasser und den intrinsischen Verfall in Folge natürlicher Alterung des Mediums betreffen, minimal gehalten werden sollen, stellt das digitale Kino neue Ansprüche in Bezug auf die Langzeitarchivierung der Daten. Hier ist die Speicherung des DCDM unumgänglich, um fortfolgende Master für andere Verwertungskanäle (DVD, TV, etc.) erstellen zu können und im Gegensatz zur analogen Technik ist das Material durch das Fehlen mit dem analogen Kopierprozess einhergehender Generationsverluste und Qualitätseinbußen beliebig oft kopierbar.

Außerdem gibt es in der digitalen Domäne keinen kontinuierlichen Zerfall, denn digital aufgezeichnete Information kann entweder vollständig gelesen werden, oder es treten Fehler auf, die den ganzen Datensatz wertlos machen können. Da die Datenträger weiters ohne technische Hilfsmittel nicht gelesen werden können, kann es zusätzlich auf verschiedenen Ebenen (Metadaten, Datei- und Datenträgerformate, Lesegeräte und Datenträger) zu Informationsverlusten kommen, wodurch eine langfristige Migrationsstrategie aufgrund der Änderung der Technologie oder der Alterung der Medien unumgänglich ist.

⁹¹ 35mm Kameranegativ inkl. der Outtakes

⁹² chemisch erzeugte Interpositive, Internegative, Answer Prints und Check Prints

Des hohen Speicherbedarfs wegen stellt dies durchaus hohe Anforderungen⁹³ an die Technik, doch mit der Weiterentwicklung und Verbesserung von Kompressionsalgorithmen werden auch diese Zahlen kleiner werden.

7.2 Für die Distribution verantwortliche Bereiche

Die Benutzung von Breitband- und Satellitenverbindungen macht ein System, bestehend aus „*Central Site*“ und „*Edge Server*“, notwendig (vgl. Abb. 28), welches hier kurz beschrieben werden soll.

Die „*Central Site*“ kann als Distributionsknotenpunkt (Master Control) definiert werden. Ihre Aufgabe ist es, Dateien zu speichern und nach terminlicher Abstimmung an den „*Edge Server*“ zu senden, welcher sich auf Seiten des Kinobetreibers befindet.

Die Aufgabe des „*Edge Servers*“ ist es dann, die Daten zu empfangen, zu dekodieren und für die Verteilung an Displaysysteme auf lokalen Kinoservern oder RAID⁹⁴ Arrays (es ist möglich gleichzeitig auf mehrere Bildwände zu projizieren [SAN]) zu speichern. Via Rückkanal muss er dann der „*CS*“ den Empfang und die Vollständigkeit der Datei bestätigen. Für den Empfang über einen Satelliten benötigt der „*Edge Server*“ einen integrierten Receiver/ Decoder (IRD), um das Satellitensignal empfangen und den MPEG-Stream dekodieren zu können.

Empfängt der „*Edge Server*“ Daten über Breitbandverbindungen, sind neben einem Decoder eine TCP⁹⁵ Verbindung und „*high-speed switching appliances*“ notwendig. Ist die Datei einmal empfangen, bleibt sie in verschlüsselter Form bestehen, bis entweder durch Public oder Private Key Methodologie die Daten für das Payout auf einem Vorführsystem autorisiert werden. (vgl. [1], S.218f)

⁹³ „An uncompressed feature film of roughly 2 hours in length mastered at 4K resolution requires approximately 8 TB of storage. In compressed form for display, the file size drops down to between 90 GB and 300 GB for a 3-hour feature film.” ([1], S.213)

⁹⁴ **Redundant Array of Inexpensive Disks:** System dient zur Organisation zweier oder mehrerer physikalischer Festplatten eines Computers zu einem logischen Laufwerk, das eine größere Speicherkapazität und/oder einen größeren Datendurchsatz erlaubt als eine physikalische Platte. Während die meisten in Computer verwendeten Techniken und Anwendungen darauf abzielen Redundanzen (das Vorkommen doppelter Daten) zu vermeiden, werden bei RAID-Systemen redundante Informationen gezielt erzeugt, damit beim Ausfall einzelner Komponenten das RAID als ganzes seine Funktionalität behält. (<http://de.wikipedia.org/wiki/RAID>)

⁹⁵ **Transmission Control Protocol (TCP)** ist eine Vereinbarung (Protokoll) darüber, auf welche Art und Weise Daten zwischen Computern ausgetauscht werden sollen. Alle Betriebssysteme moderner Computer beherrschen TCP und nutzen es für den Datenaustausch mit anderen Rechnern. Das Protokoll ist ein zuverlässiges, verbindungsorientiertes Transportprotokoll in Computernetzwerken. (http://de.wikipedia.org/wiki/Transmission_Control_Protocol)

8 Projektion

8.1 Einführung

Während in den letzten 100 Jahren vor allem Fortschritte in den Bereichen Kamera- und Objektiventchnik und der Filmchemie zu verzeichnen waren und Breitwandformate („*widescreen*“), Mehrkanalton und Computeranimation erfunden wurden, blieb die Projektionstechnik seit Thomas Edisons Tagen weitgehend unverändert.

Slansky beschreibt die Technik folgendermaßen: „*Im Filmprojektor wird der Filmstreifen, meist über einen Malteserkreuzantrieb und seltener über einen Greiferantrieb, intermittierend, d.h. ruckweise am Filmfenster vorbeitransportiert und dort mit einem Objektiv auf die Kinoleinwand projiziert. Da während des Filmtransports das Bildfenster durch einen Verschluss, meist eine rotierende Flügelblende, abgedunkelt werden muss, flimmert das projizierte Bild. Die Flimmerverschmelzung des Auges führt aber dazu, dass eine Folge schnell aufeinander folgender Lichtreize als gleichmäßig wahrgenommen wird, wenn die Frequenz hoch genug ist. Die Verschmelzungsfrequenz [unterste Grenze bildet die Frequenz von 40 Hz] ist maßgeblich von der absoluten Helligkeit des Bildes [Hell-Dunkel-Verhältnis] abhängig.*“ ([24], S.271f)

Um die Darstellung von Bewegungsbildern realisieren zu können, nutzt die Filmproduktion Eigenschaften des menschlichen Auges beziehungsweise des Gehirns:

- den stroboskopischen Effekt, welcher es erlaubt, eine in 16 Reihenbilder pro Sekunde unterteilte Bewegung, bei schnell gezeigter Abfolge, als kontinuierliche Bewegung wahrzunehmen. Er führt jedoch zu unerwünschten Effekten wenn beim Abtasten eines Signals (Sampling) das Nyquist-Shannon-Abtasttheorem nicht eingehalten wurde und es zu einem „*undersampling*“ kommt,
- den Phi-Effekt, welcher auf der Nachbildwirkung, dem mangelnden zeitlichen Auflösungsvermögen des menschlichen Auges, basiert und das Nachwirken eines optischen Reizes bis zu seiner erneuten Überlagerung bezeichnet. Dadurch werden Objekte, die sich von Bild zu Bild auf unterschiedlichen Positionen befinden, als bewegt wahrgenommen,
- und die Flimmerverschmelzung, durch welche Helligkeitsschwankungen die einander in sehr kurzen Zeitintervallen folgen, in einem konstanten Helligkeitseindruck verschmelzen, wobei bei unvollständiger Verschmelzung Flimmern auftritt.

Während allgemein von bereits angeführten 16 Bildern pro Sekunde zur Darstellung von flüssigen Bewegungsabläufen ausgegangen wird, ist dies, je nach der Art des Motivs und der Intensität der Reize, und auch ankommend auf den Adaptionzustand der Netzhaut und dem Aktivationsniveau, also Erregungszustands des Betrachters, oft nicht ausreichend, weswegen man für die Kinoprojektion eine Bildfrequenz von 24 Bildern in der Sekunde ausgewählt hat. Oft reicht jedoch auch das nicht aus, man denke an sich scheinbar rückwärts drehende Räder eines Autos.

Hier seien zudem Eigenheiten des Bildes in der Filmprojektion aufgelistet:

- Das Filmbild wird als integrales Ganzes gezeigt
- Das Filmbild wechselt mit 24 Hz, flimmert aber mit 48 Hz
- Der Lichtwechsel geschieht durch die Flügelblende mit einer zwar schnellen, doch vorhandenen Aufblende bzw. Abblende
- Die Flügelblende hat zwei Flügel und dunkelt sowohl die Transportphase ab als auch das Filmbild in der Mitte des Projektionsintervalls
- Die Leinwandhelligkeit liegt im Bereich des Dämmerungssehens
- Das Bild selbst weist aufgrund des fotografischen Materials keinerlei Raster auf, sondern eine von Bild zu Bild wechselnde, statistisch verteilte Kornstruktur
- Die Farben entstehen durch Absorption des Projektionslichtes an den subtraktiven Farbstoffen Gelb, Magenta und Cyan der Farbfilmkopie und als Reflektion von der Leinwand

([24], S.275)

Die HD Projektion arbeitet, um die bei der analogen Filmprojektion entstehenden, gleichmäßigen Helligkeitsunterschiede, welche aus der Überschreitung der Flimmerfrequenz durch eine Umlaufblende resultieren, nachzuahmen, im Vollbildmodus mit progressiv segmentierten Halbbildern⁹⁶, durch die ebenso die Verdoppelung der Bildeindrücke in der Sekunde erzielt wird. Der Zuschauer sieht bei einer digitalen HD-Projektion also ein kontinuierliches, nicht von Schwarzphasen unterbrochenes Bild.

8.2 Projektionsverfahren im digitalen Kino

Es lassen sich folgende Verfahren zur elektronischen Projektion im Kino anführen:

- Röhren-Projektion
- Eidophor-Projektion
- LCD-Projektion
- D-ILA-Projektion
- DLP-Projektion
- Laser-Projektion

Diese lassen sich weiters nach ihrer Art der Lichterzeugung in zwei Gruppen einteilen: Zum einen in jene Verfahren mit weißer Lichtquelle (Eidophor, LCD, D-ILA und DLP), zum anderen jene mit Dreilichtquellen in den additiven Grundfarben Rot, Grün und Blau (Röhre, Laser).

Weiters könnten die Verfahren in die Art der Rastererzeugung, nämlich in jene mit fixem Pixelraster (LCD, D-ILA und DLP) und in jene mit Zeilenraster (Röhre, Eidophor, Laser) eingeteilt werden. ([24], S.278)

⁹⁶ d.h. dass sie zwar wie Halbbilder im Zeilensprungverfahren bei doppelter Frequenz ausgegeben werden, die beiden Halbbilder jedoch zum gleichen Zeitpunkt aufgezeichnet werden, so dass sie zusammen ein echtes Vollbild ergeben (vgl [10], Seite 21f)

Hier seien nur die für das digitale Kino geeigneten Verfahren beschrieben.

8.2.1 LCD-Projektoren

„*Liquid Crystal Displays*“ verwenden Flüssigkristalle, deren Moleküle eine lang gezogene Form haben, welche zu bestimmten optischen Eigenschaften in Bezug auf die Polarisierung des Lichtes führt. Die Polarisierungswirkung lässt sich dann durch das Anlegen eines elektrischen Feldes verändern. Da polarisiertes Licht aber nur in einer bestimmten Schwingungsrichtung schwingt, entscheidet die Winkelorientierung des Polarisators, auf den das Licht trifft, darüber, ob es durchgelassen wird oder nicht. Wird dieses Display, meist in Form dreier TFTs („*Thin Film Transistor*“/ „*Dünnschicht Transistor*“), die die Lichtstreuung übernehmen, verwendet, nutzt man eine Metaldampf- oder Gasentladungslampe und ein Strahlenteilerprisma zur Gewinnung der Grundfarben Rot, Grün und Blau aus dem, wie bereits erwähnten, weißen Projektionslicht.

Das Strahlenteilerprisma bildet mit den drei Displays einen kompakten Block, in dem die Strahlengänge wieder zusammen geführt werden, um über ein einzelnes Projektionsobjektiv projiziert werden zu können.

Durch die Technik entstehen Nachteile, wie schlechte Bildschwärzen. Bedingt durch die nicht optimale Polarisierungswirkung der Materialien, die auf Temperaturschwankungen reagierenden Flüssigkristalle und die bauartbedingte „*Pixel Visibility*“, wird das LCD-Prinzip wohl nicht für die digitale Kinoprojektion aufgegriffen werden.

Auch der geringe Preis, die geringe mögliche Baugröße und eine einfache Wartung, Lampenwechsel ausgeschlossen, können nicht über einen begrenzten optischen Wirkungsgrad und die begrenzte Rastergröße bzw. Pixelanzahl hinwegsehen lassen. Eine der Verbesserungen der Technik ist durch den Einsatz der LCoS- („*Liquid Crystal on Silicon*“) Technik eingetreten, was deren Einsatz in kleineren Vorführräumen durchaus interessant machen könnte. (vgl. [24], S.281f)

8.2.2 D-ILA-Projektoren

„*Liquid Crystal on Silicon*“ Displays gehören aufgrund ihrer kleinen Baugröße (halber Daumennagel) zu den Mikrodisplays, haben aber trotzdem mehr als 2 Millionen Pixel, ermöglichen also eine Auflösung über UXGA (1600 x 1200 Bildpunkte) und ein Kontrastverhältnis von 2000:1.

Auf LCoS basierende Techniken werden bei **JVC** unter dem Namen D-ILA vertrieben und bei **Sony** SXRD genannt.

„Bei [...] D-ILA erfolgt die Steuerung über Flüssigkristalle auf dem Chip selbst. Hinter die Flüssigkristalle wird ein CMOS-Baustein für die Adressierung der Pixel angebracht. Hinter der Flüssigkristall-Schicht folgt ein lichtempfindlicher Widerstand, der auf einfallendes Licht mit Spannungserhöhung reagiert. Dieser erhöhte Spannungsabfall am Photowiderstand sorgt für eine Änderung des elektrischen Feldes zwischen den Elektroden vor und hinter der Kristallschicht. Der Flüssigkristall dreht seine Polari-

sationsrichtung entsprechend der Größe des elektrischen Feldes. Bei der lichtempfindlichen Komponente und der Flüssigkristall-Komponente handelt es sich um eine über das ganze Bild durchgängige Schicht. Dadurch tritt keine Pixel Visibility auf. Die drei Bildwandler bilden mit dem Strahlenteilerprisma einen festen mechanischen Block.

Die Helligkeitsmodulation geschieht wie beim LCD durch Drehen der Polarisationsrichtung, jedoch nicht in Abhängigkeit von einer von außen angelegten Adressspannung, sondern durch den Spannungsabfall am Photowiderstand.“ ([24], S.282f)

Die FFA (Filmförderungsanstalt) beschreibt in einem mit „Häufig gestellten Fragen und Antworten“ titulierten Teil ihrer Studie das digitale Kino im Jahr 2006 betreffend, die D-ILA Projektoren folgendermaßen: „Direct Drive Image Light Amplifier-Projektoren arbeiten, ähnlich wie DLPs, haben aber keine Spiegel, die das Licht reflektieren, sondern ein LCD wird durchleuchtet. [...] Die Schwarz-Qualität entspricht der eines DLP Projektors, die Lichtbeute ist jedoch deutlich höher“ ([57], S.13), was darauf beruht, dass D-ILA Chips keine Stege zwischen den einzelnen Pixeln benötigen, im Gegensatz zu den DMD Chips eines DLP.

Die Eigenschaften lassen dieses Prinzip für die Kinoprojektion also durchaus spannend erscheinen.

8.2.3 4K SXRD-Projektor

Diese von Sony adaptierte, auf der Liquid Crystal on Silicon (LCoS) basierende Technik, scheint ob ihrer Erwähnung in der FFA-Studie „Digitales Kino 2006“ eine weitere zukunftsweisende Form der Projektion im digitalen Kino zu sein.

Auch Dr. Kurt Kaufmann, Geschäftsführer des **Fachverbandes Lichtspieltheater und Audiovisionsveranstalter der Wirtschaftskammer Österreich**, legte aufgrund einer Informationsanfrage zu einer Anfang Mai stattgefundenen Fachtagung der **WKO**, das digitale Kino in Österreich betreffend, eine Broschüre der neuen „SXRD 4K Ultra High Resolution Projectors“ SRX-R105CE und SRX-R110CE⁹⁷ bei.

Die Funktionsweise des SXRD Displays wird von **Sony** folgendermaßen beschrieben:

„A color accurate lamp beams its light into a color splitter which separates the light into Red, Green, and Blue beams. These beams are reflected off the SXRD panels, which have a very thin (2 micrometers) Liquid Crystal layer sitting on a reflective surface.

Each beam passes through the Liquid Crystal layer, reflects off the mirrored backing and reflects back out through the Liquid Crystal, which passes or blocks light according to the needs of the color it is controlling. The 3 beams are then recombined and sent to the projection lens array.



Abb. 29 SXRD Aufbau (Quelle: [61])

SXRD Optical Engines maximize picture quality by maintaining equal red/green/blue illumination paths, which minimizes color shading and maximizes color uniformity“. ([61])

⁹⁷ www.sonybiz.net/4K

Sonys Projektoren SRX-R110CE und SRX-R105CE (vgl. **Abb. 30**), welche sich in ihrer maximal erreichbaren Lichtleistung von 10.000 beziehungsweise 5.000 Lumen⁹⁸ unterscheiden, nutzen drei „Silicon X-tal Reflective Display“ (SXRD) Panels mit einer nativen Auflösung von rund 8,85 Millionen Pixel (4096 x 2160 Pixel) und erreichen somit die von der **DCI** angeregte Auflösung von 4K in dem typisch amerikanischen Bildseitenverhältnis von 1,85:1.

Die Projektoren ermöglichen weiters ein Kontrastverhältnis von 1800:1 und das Verwenden zweier Xenonlampen, wodurch sich, kombiniert mit einer Gammakurve von 2,6 (von der DCI als Standard empfohlen), in dunklen wie in hellen Bereichen eine gute Durchzeichnung ergibt (kein „Verschlucken“ in dunklen Bereichen; kein „Clipping“ in hellen). In perfekt abgedunkelten Räumen sorgt eine Gamma-kurve mit einer solchen Steilheit für ein plastischeres Bildempfinden, sollte sie nicht durch Streulicht (Notausgangsbeleuchtung, Sitzbeleuchtung, ...) überstrahlt werden.

Zuletzt meint Cine4home: „Digital-Artefakte sind dem Projektor absolut fremd, wodurch er seinem Verwendungszweck, dem zukünftigen Ersatz von Zelluloid-Projektoren, gerecht wird. Dies unterstreicht er ferner mit seinem Kino-ähnlichen großen Farbraum und seinem hohen Kontrast. Mit dem SRX-R110 ist eine Bildqualität möglich, die derzeit von so gut wie keinem öffentlichen Kino mit den oft nur mäßigen Filmkopien geboten wird. Sollte er einmal tatsächlich die analoge Projektion ersetzen, so wird es keinem Kino-Gänger auffallen, höchstens positiv. Trotz dieser hervorragenden Leistungen bleibt es allerdings fraglich, ob sich der Projektor in absehbarer Zeit im Profi-Bereich durchsetzen wird. Dies hat vor allem Gründe in der aufwändigen Installation. Da das Gerät mit seiner hohen nativen Auflösung derzeit seiner Zeit sehr weit voraus ist, hinken vor allem die Zuspieldmöglichkeiten hinterher. Ein hochauflösendes 4K-Bild ist derzeit nur durch Einspeisung vier separater HD-2K Signale möglich. Neben den teuren Input-Boards macht dies ein ganzes System aus Zuspield-Peripherie notwendig, die im Preis leicht den Projektor (immerhin rund € 120.000) überholt, von vorhandenem 4K-Bildmaterial ganz zu schweigen. So stellt sich die Frage, welcher kommerziell orientierte Interessent aus Enthusiasmus und Qualitätsbewusstsein heraus zu so einer Investition bereit ist, schließlich muss sich ein Profi-Gerät [...] auch rentieren.“ ([58])

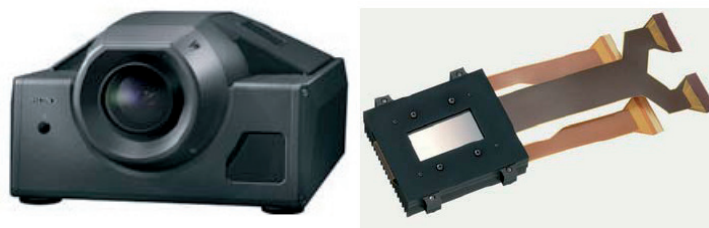


Abb. 30 Sonys SRX-R110-Projektor (links) und SXRD-Matrix von Sony mit einer Auflösung von 4096 x 2160 Pixeln (rechts, Quelle: [48], S. 16 und S.23)

⁹⁸ **Lumen** (lat.: *Licht, Leuchte*) ist die photometrische SI-Einheit des Lichtstroms. Der Lichtstrom ist ein Maß für die gesamte von einer Strahlungsquelle ausgesandte sichtbare Strahlung (http://de.wikipedia.org/wiki/Lumen_%28Einheit%29)

8.2.4 DLP-Projektor

Das in den 80er Jahren von Texas Instruments entwickelte DMD Prinzip wird zurzeit nur an die Projektorenhersteller **NEC**, **Christie** und **Barco** ausgeliefert.

„Digital Light Processing Projektoren verwenden sogenannte DMDs (Dynamic Mirror Devices). Sie kennzeichnen das einzige wirklich digitale Projektionsverfahren, bei dem das Projektionslicht tatsächlich quantisiert wird. Das Display setzt sich aus einem Raster von feinen quadratischen Spiegelflächen (= Pixel) zusammen. Jede Spiegelfläche kann über einen kleinen Piezokristall⁹⁹ in sehr schnellen Zeittakten zwischen zwei Winkelstellungen ($+ 10^\circ$ oder $- 10^\circ$) hin und her gekippt werden. (vgl. Abb. 31) Ein auftreffender Lichtstrahl kann damit entweder in eine bestimmte Richtung oder an dieser vorbei reflektiert werden.“ ([24], S.283)

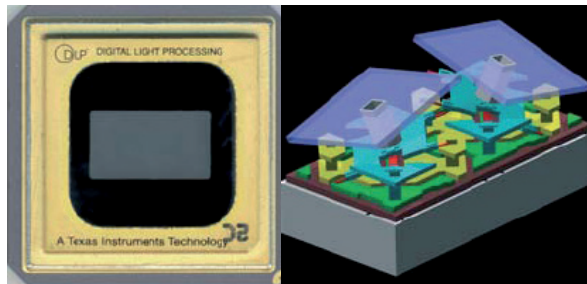


Abb. 31 DMD-Matrix (links) und matrixförmige Spiegel des DMD-Chips (rechts, Quelle: [48], S.13)

Durch einen Prozess namens „*pulse-width modulation*“, welcher nichts anderes beschreibt, als eine die Geschwindigkeit der beschriebenen, aufeinander folgenden On- und Off-Phasen modulierende Operation, wodurch die Anzeigedauer der Pixel verändert wird, ist es möglich, die menschliche Netzhaut-trägheit („*persistence of vision*“) zu nutzen und den Augen durch sehr schnelle elektronische On-Off Zyklen Graustufenbilder zu suggerieren (1024 unterschiedliche Helligkeitsstufen/Graunuanzen).

In einem Projektor mit drei Chips (vgl. Abb. 32) wird das Licht der Lampe mit Farbfiltern in die drei Grundfarben zerlegt und auf die DMDs verteilt. Sich ergebende Teilreflexionen einzelner DMDs werden in einem Prisma zum kompletten Farbbild addiert.

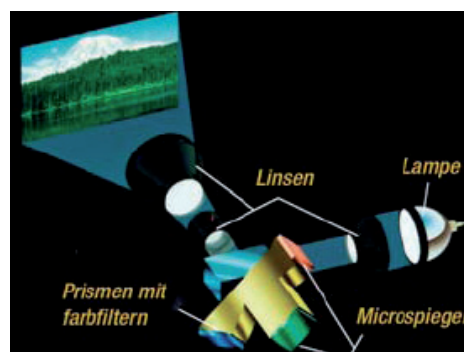


Abb. 32 Grundschemata der Projektoren tri_DMD von Texas Instruments (Quelle: [48], S.15)

⁹⁹ Ein **Piezokristall** ist ein polarisierter Kristall (meist Blei-Zirkonat-Titanat (PZT)) der bei Anlegen einer Spannung eine Längenänderung vollzieht (bei konstantem Volumen). Dieser Prozess ist reversibel und auch unter dem Namen Piezoeffekt bekannt. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Piezokristall>)

Wie auch bei den bereits erwähnten Betriebsarten LCD und D-ILA bilden auch hier die drei Bildwandler¹⁰⁰ mit dem Strahlenteiler einen mechanischen Block.

Die dieser Technik immanenten Nachteile ergeben sich unter Umständen aus Ermüdungsbrüchen eines Mikrospiegelgelenks (ein permanent leuchtender Bildpunkt könnte der Fall sein) und aus der schon bei der LCD Technik erwähnten Pixel Visibility.

Die sich zum Beispiel aus seiner Digitalität ergebenden Vorteile, wie die Unempfindlichkeit Hitze gegenüber, eine daraus resultierende stabile und sich gleichförmig über die Projektionsfläche verteilende Farbwiedergabe und Farbreinheit, sowie eine hohe erreichbare Helligkeit und höherer Kontrast (durch Mikrospiegel) und die aufgrund fehlender Polarisierung und des direkteren Lichtweges im Vergleich zur LCD Technik höhere Ausgangsleistung und der aus dem Wirkungsprinzip resultierende recht dunkle Schwarzwert, lassen über die Nachteile hinwegsehen.

Sowohl durch die eben erwähnten Helligkeits- und Kontrastwerte, als auch die herkömmliche, dem Filmprojektor ähnliche, Bauweise (erleichtert die Installation des Projektors), eignen sich DLP Projektoren sehr für die Kinoprojektion und werden zur Zeit auch weitestgehend eingesetzt.

8.2.5 Laser-Projektoren

„Bei Laserprojektoren wird das für die Bilddarstellung erforderliche Licht von drei Festkörperlasern erzeugt. Jeweils ein Laserstrahl pro Grundfarbe wird entsprechend der Helligkeit des Bildpunktes gesteuert und über Ablenkspiegel zeilenweise auf die Bildwand projiziert. Laser erzeugen streng monochromatisches¹⁰¹ Licht, d.h. Licht einer einzigen Wellenlänge. Typische Werte sind 446 nm für Blau, 532 nm für Grün und 628 nm für Rot. Dies ergibt einen maximalen Farbraum für die additive Farbmischung. Der erreichbare Kontrast liegt bei über 1.000.000:1 und ist damit praktisch nur noch vom Streulicht im Projektionssaal abhängig. Durch die quasiparallele Aussendung des Lichts treten keine Verluste durch Vignettierung¹⁰² auf. Der lichterzeugende Teil mit den Lasern kann vom Projektionskopf über einen Lichtwellenleiter bis zu 30 m abgesetzt werden. Die Projektion des Lasers muss nicht scharf gestellt werden, da der Laserstrahl in jeder Entfernung einen konstanten Durchmesser hat. Es können also auch gewölbte Leinwände bei voller Schärfe eingesetzt werden.“ ([24], S.285)

Der Laserstrahl der von der deutschen Firma **Jenoptik** erzeugten Projektoren kann auf unterschiedliche Arten, in seiner Helligkeit moduliert werden:

- bei der elektrooptischen Modulation, durch Anlegen einer Spannung an den Kristall, der wiederum die Polarisationssebene beeinflusst,

¹⁰⁰ Allg. ein Apparat, der eine **Bildwandlung** durchführt, also beispielsweise bildgebende Verfahren, aber auch die Analog-Digital-Wandlung in der Digitalfotografie oder ggf. auch die Digital-Analog-Wandlung bei der Ausbelichtung (<http://de.wikipedia.org/wiki/Bildwandler>)

¹⁰¹ (von griechisch: **mono-chromos**, soviel wie eine Farbe) Licht ist Licht einer bestimmten Wellenlänge. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von Monochromatischen Wellen. Die Farbe monochromatischen Lichts bezeichnet man auch als Spektralfarbe. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Monochromatisch>)

¹⁰² In der Fototechnik wird eine unbeabsichtigte Abschattung zum Bildrand hin als **Vignettierung** bezeichnet. Vignettierung kann durch verschiedene Faktoren verursacht werden. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Vignettierung>)

- beim akustooptischen Prinzip durch das Senden hochfrequenter Schallwellen senkrecht zum Laserstrahl. Die vom akustooptischen Modulator¹⁰³ gesendeten Wellen erzeugen dort durch Schwankungen der Dichte desselben ein Beugungsgitter.

Es müssen hier Vorkehrungen gegen Flimmern getroffen werden, das aufgrund des Nicht-Nachleuchtens der Bildwand entsteht, welches für die Leuchtschicht einer Bildröhre aber typisch wäre. Realisiert wird dies durch eine Zeilenablenkung, deren Frequenz bei 48 Kilohertz liegt.

Im Bezug auf Kontrast, Farbwiedergabe und Schärfe ist der Projektor den DLP- und D-ILA Projektoren überlegen. Zudem werden keine Optiken benötigt und die Projektoren können auch auf konkaven oder konvexen Leinwänden gestochen scharfe Bilder liefern. Aufgrund des variablen Abtastrasters ist es zudem möglich, unterschiedliche Bildformate in voller Auflösung zu projizieren und den Projektor in variabler Auflösung zu betreiben.

Aus dieser Technik ergeben sich jedoch auch Nachteile, wie hohe Kosten (Austausch der Laser mit begrenzter Lebensdauer) und ein sehr hohes Eigengewicht von mehr als 300 kg. Deswegen werden sie bis jetzt nur in Planetarien und Eventkinos eingesetzt. Dem Gewicht steht jedoch eine Leistungsaufnahme von vergleichsweise niedrigen 3 kW gegenüber.

Außerdem muss der „*Speckle*“¹⁰⁴ mit Diffusern beseitigt werden, wodurch der optische Wirkungsgrad reduziert wird.

Eine mögliche Weiterentwicklung, die den Kineinsatz der Lasertechnik vorantreiben könnte, ist die GLV Technologie („*Grating Light Valve*“: Gitterlichtventil).

GLV ist der Markenname von **Silicon Light Machines** für das MEMS Device, welches zur gezielten Ablenkung von Licht dient. Die GLV Technik steht in Konkurrenz zur DMD Technik von Texas Instruments und der LCD Technik.

Diese Technologie basiert auf einer Lichtbeugung an einem optischen Gitter. Um dies zu bewerkstelligen können winzige Metallstreifen durch Elektrostatik auf und ab bewegt werden, wodurch jeder Bildpunkt zwischen der Gitterfunktion und dem reflektierenden Spiegel hin und her geschaltet werden kann. Das Lichtbündel kann hierauf je nach Belieben in Richtung des Objektivs oder zu einem Punkt außerhalb der Objektivachse zurückgeworfen werden („*Lichtfalle*“).

¹⁰³ **akusto-optischer Modulator (AOM)** ist ein optisches Bauelement, mit dem Lichtstrahlen (meist Laserstrahlen) manipuliert werden können. In einfachster Anwendung kann ein AOM als Schalter eingesetzt werden, der sehr schnell (< 10 ns) zwischen Blockieren und Durchlassen schalten kann, also um mehrere Größenordnungen schneller, als ein mechanischer Schalter. Weiterhin ist eine schnelle Modulation der Lichtintensität möglich, eine Verstimmung der Wellenlänge bei monochromatischem Licht über einen geringen Bereich sowie die Selektion von Wellenlängen bei polychromatischem Licht. (<http://de.wikipedia.org/wiki/AOM>)

¹⁰⁴ eine von kohärentem Licht auf rauen Oberflächen erzeugte Struktur, welche durch die Interferenz, der an Unebenheiten der Bildwand gebeugten Strahlen, entsteht ([24], S.285f)

Wie McKernan, Mitbegründer der Digital Cinema Society, in seinem Buch „*Digital Cinema*“ beschreibt, hat **Sony** eine Vereinbarung mit **Cypress Semiconductor**, dem Mitentwickler der GLV Technologie, getroffen, eine für den Einsatz im digitalen Kino geeignete Weiterentwicklung zu schaffen, für dessen Erstellen drei verschiedene Laser und dazugehörige GLVs notwendig sind. (vgl. [17], S.168)

Die den Fertigungsprozess betreffenden Herausforderungen umschreibt McKernan folgendermaßen:

„The tricky part is coming up with a blue laser bright enough to make the system practical, and also reducing the size and weight of the associated power supplies for each laser. For that reason, GLV is not expected to be a practical digital cinema projection platform for several years.” ([17], S.169)

8.3 Die Kinoprojektion betreffende Kriterien

Um die Leistungsfähigkeit heutiger oder zukünftiger elektronischer Projektoren untereinander und verglichen mit der Filmprojektion beurteilen zu können, sind folgende für den Betrachter relevante Kriterien anzuführen:

- **Kontrast und Helligkeit:** Slansky beschreibt diese am treffendsten: *“Der Kontrast ist ein dimensionsloses Verhältnis, das eine Helligkeitsänderung beschreibt. Er stellt somit ein Maß für Helligkeitsunterschiede innerhalb des Bildes dar. Helligkeit meint hier wieder die Leuchtdichte, die in Candela pro Quadratmeter (cd/m^2) angegeben wird. Im Kino ist die Leuchtdichte die Helligkeit, die von der Leinwand zum Betrachter zurückgestrahlt wird. Sie steht somit im Gegensatz etwa zum Lichtstrom, der die Helligkeit des gesamten von einer Lichtquelle in einem gewissen Lichtkegel ausgehenden Lichtes beschreibt. Die Leuchtdichte im Kino ist abhängig vom Lichtstrom des Projektors, von der Größe und dem Abstand der Leinwand und vom Remissionsvermögen der Leinwand. Der maximale Kontrast einer Projektion besteht aus dem Verhältnis der maximalen Leinwandleuchtdichte im Bildweiß zur minimalen Leuchtdichte im Bildschwarz.” ([24], S.275f)*

Weitere Faktoren von denen das Kontrastverhältnis mindernd beeinflusst werden kann, sind Streulicht (Notbeleuchtung) und unsaubere optische Flächen an Projektionsobjektiven, -fenstern oder Spiegeln im Projektionsstrahlengang.

Bei elektronischen Projektionssystemen sind die Kriterien des Kontrastes und der Helligkeit vom Funktionsprinzip abhängig. DLP Cinema-Projektoren sind zum Beispiel so konzipiert, dass externe Lichtquellen den Lichtkegel des Projektors nicht störend beeinflussen, also dunkle Zonen auf der Leinwand grau erscheinen lassen.

- **Bildwiederholfrequenz:** Sie beschreibt im Gegensatz zur Bildwechselfrequenz¹⁰⁵ wie oft in der Sekunde ein Bild projiziert wird. Sie ist dabei meist ein ganzzahliges Vielfaches der Bildwechselfrequenz (im Falle einer Filmprojektion wäre das bei der Verwendung einer Zweiflügelblende ein Verhältnis von 2:1).
- **Auflösung:** Sie beschreibt die Trennung zweier feiner Einzelheiten auf der Kinoleinwand. Sind zum Beispiel zwei schwarze Linien von einer weißen getrennt und ist das noch erkennbar und kontrastreich, so gelten sie als aufgelöst.

Der Verlauf des Detailkontrastes wird über die Feinheit der projizierten Struktur mit Hilfe der so genannten MTF¹⁰⁶ Kurve (Kontrastübertragungsfunktion) angegeben.

¹⁰⁵ pro Sekunde projizierte Bewegungsphasen

¹⁰⁶ Als **Modulationsübertragungsfunktion** oder **Modulationstransferfunktion** (MTF, englisch *Modulation Transfer Function*), manchmal auch *Kontrastübertragungsfunktion* wird ein Parameter bezeichnet, die die Qualität der Abbildung eines bildgebenden Systems (z.B.: Objektiv) beschreibt. Auflösung, Kontrast und Rauschen sind die einfachsten Parameter, um die Abbildungsqualität (Informationsgehalt einer Abbildung) zu beschreiben (<http://de.wikipedia.org/wiki/Modulations%C3%BCbertragungsfunktion>)

Da an eine Projektion im Kino nicht der Anspruch erhoben wird detailreicher als das Grenzauflösungsvermögen des menschlichen Auges sein zu müssen, schwanken Angaben, welche sich auf die Wahrnehmung feiner Details in der Netzhautgrube beziehen zwischen 1' und 1,5' (1 Bogenminute = 1/60 Grad).

Will man also, dass der Bildpunktraster vom Betrachter nicht als solcher erkannt wird, sind gemessen an der Größe der Leinwand und dem Betrachtungsabstand folgende Anforderungen zu stellen:

„Legt man einen relativen Betrachtungsabstand von der 2-fachen Bildhöhe und 1' Grenzauflösungsvermögen zugrunde, so kommt man auf 1720 Bildpunkte in der Bildhöhe. Bei einem Breitwandformat von 1,85:1 bedeutet dies 3180 Bildpunkte in der Bildbreite. In diesem Fall ergäbe sich also rein rechnerisch ein erforderliches Pixelraster von 1720 x 3180 Pixel; das sind 5,5 Mio. Pixel.“ ([24], S.277)

In diesem Fall ist auch die Abgrenzung der Rasterpunkte voneinander wichtig und die Tatsache ob, immer abhängig vom verwendeten Verfahren, dunkle Stege zwischen den Pixeln erkennbar werden (Pixel Visibility).

Grundsätzlich ist es schwierig, die Auflösung eines digitalen Bildes mit der eines Silberbildes zu vergleichen. Zwar ist die Auflösung eines 35mm Filmnegatives gleich hoch oder höher als die eines digitalen Bildes, jedoch führen sowohl die mit der Kinokopiererstellung verbundenen Generationsverluste und die Zunahme der Korngröße, als auch die für die konventionelle Projektion typischen mechanischen Varianzen zu einem abnehmenden subjektiven Schärfeneindruck.

- **Farbraum:** Der Farbraum, welcher die Grenzen der auf der Leinwand darstellbaren Farbpalette beschreibt, ist von der Genauigkeit der digitalen Bildbearbeitung in der Postproduktion abhängig.

Das Verwenden einer additiven Farbmischung der Farben Rot, Grün und Blau ist den elektronischen Projektionssystemen gleich, doch unterscheiden sie sich nach der Art der Lichtquelle beziehungsweise Farberzeugung. Der Farbraum ergibt sich bei diesen Systemen aus der Farbreinheit der Grundfarben und dem weißen Streulichtanteil, welcher folglich die Farbreinheit im Projektionsstrahl vermindert.

Durch diese Art der Farbmischung, bei welcher nicht mehr die chemischen Zusammensetzung der Filmrolle über die Farbwiedergabe entscheidet, verfügen heutige Digitalprojektoren über einen den 35mm-Film übertreffenden Farbraum, welcher jedoch immer noch nicht das vom menschlichen Auge sichtbare Farbspektrum abdeckt (**vgl. Abb. 33**).

Matt Cowan und Loren Nielsen von Entertainment Technology Consultants führen in Swartzs Buch an, dass der Farbraum mit der Erfindung neuerer, alternativer Leuchtmittel, wie zum Beispiel des Lasers, erweitert werden könnte. (vgl. [5], S.241)

Um gewährleisten zu können, dass auch die beabsichtigte Farbe mit entsprechender Farbreinheit an die Leinwand projiziert wird, ist es wichtig, das Projektionssystem (Projektor, Projektionsfenster, Leinwand) zu kalibrieren (Referenzprojektor in der Postproduktion), da sich bei den Systemen, auch aus ihrer Herstellungsart resultierende Farbunterschiede ergeben.

- **Leuchtstärke:** Während 35mm-Projektoren 7.000 Watt-Lampen verwenden und eine ebenso große Lichtmenge auf die Leinwand treffen sollte, wird die effektive Leuchtkraft von digitalen Projektoren auf der Leinwand in Lumen gemessen. Kinoprojektoren müssen, um eine für das Kino nötige Leuchtstärke zu erreichen, mindestens 10.000 Lumen erreichen.

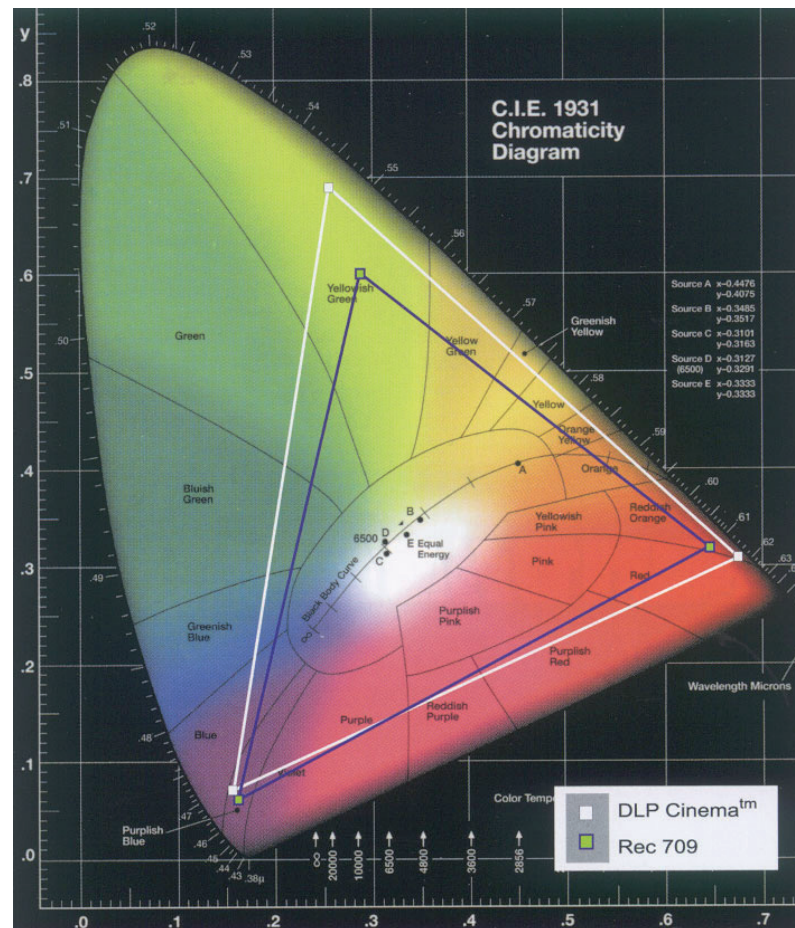


Abb. 33 CIE-Diagramm mit dem für das menschliche Auge sichtbaren Farbspektrum. Die Dreiecke symbolisieren die Farbräume des digitalen Kinos (DLP Cinema) und von HDTV (Rec. 709) (Quelle: Swartz, Farbschnitt [CIE chart courtesy of photoresearch Inc. © Photoresearch Inc.]

8.4 Zusammenfassung

Abschließend lässt sich sagen, dass sich unter den konkurrierenden Projektionstechniken kein klarer Sieger abzeichnet, wobei jedoch die DLP-Technologie die zurzeit am häufigsten eingesetzte ist. Während DLP, D-ILA und SXRD-Technologien als für die digitale Projektion geeignet angesehen werden, sind LCD und LCoS Projektoren in erster Linie für kleinere Kinosäle geeignet und Laserprojektoren überhaupt nur Nischenprodukte.

Die Kostenentwicklung ist hier einer der Faktoren, welcher die Geschwindigkeit und den Zeitpunkt der Umstellung auf digitale Kinotechnik bestimmen werden, da letztendlich nicht Komitees darüber bestimmen können, wann es angebracht ist umzusteigen, sondern der Markt. Dies deswegen, weil die Betreiber neben den elektronischen Projektoren auch die Computertechnik (Server, Operation System etc.) mitfinanzieren müssen.

Einen Blick in die Zukunft werfend, sieht Slansky die mögliche Entwicklung von großen, flachen und selbstleuchtenden Kinoleinwänden, wie sie heute im Fernsbereich schon existieren. (vgl. [24], S.286)

9 Mögliche Kinosysteme

9.1 Die Branche

Um einige solcher Systeme auflisten zu können, ist es zunächst einmal von Vorteil, die verschiedenen Branchen, zu deren Zusammenspiel es durch die Entwicklung des digitalen Kinos kommt, zu kennen. Im Allgemeinen nehmen drei Branchen an dieser Entwicklung teil, die hier kurz erwähnt werden sollen (vgl. [12], S.247):

- die aus Produktionsfirmen, Filmverleihfirmen, Kinobetreibern, Filmlaboren, Kopierwerken, Kurierdiensten und Filmlagern und -archiven bestehende **Medienbranche**
- die **IT-Branche**: Die Zusammenarbeit der Soft- und Hardwarehersteller mit der Medienbranche hat sich über die Produkt- und Supportschiene etabliert. Über den Einsatz von lokalen Netzwerken (LANs) kam es vermehrt zum Einsatz von Systemintegratoren, was in Zukunft auch auf die Kinos zukommen wird. Der Entwicklung des digitalen Kinos wegen kommt es in diesem Bereich zu neuen Dienstleistungsprofilen, wie dem „*Play-Out-Service-Center*“.
- die **Telekommunikationsbranche**: Durch die Umstellung der Produktions- und Wertschöpfungskette bieten sich sowohl Telekomunternehmen und Internetprovider, als auch die Kabel- und Satellitenbetreiber für den Datentransport an.

Nicht zu vergessen sind jedoch Verbände und Organisationen, die innerhalb der Branchen und ferner branchenübergreifend das Thema „*Digitales Kino*“ behandeln.

Hier eine kurze Übersicht der sich intensiv mit dem Thema beschäftigenden Verbände und Organisationen:

CNE	(CinemaNet Europe/ DocuZone/ EDZ)
DCI	(Digital Cinema Initiatives)
EC	(Europa Cinemas)
EDCF	(European Digital Cinema Forum)
ISO	(International Organization for Standardization)
SMPTE	(Society of Motion Picture and Television Engineers)
MPAA	(Motion Picture Association of America)
NATO	(National Association of Theatre Owners)

Der Markt im Bereich des digitalen Kinos ist in Bewegung, und Firmen kämpfen um entscheidende Anteile. Es entstehen neue Allianzen, im Filmbereich etablierte Firmen stoßen in neue Expertisengebiete vor und großen Zusammenschlüssen (Kodak mit JVC und IBM) stehen starke Einzelanbieter gegenüber (**Boeing, QuVis, Avica, Digital Projection**).

9.2 Anspruch auf Interoperabilität

Interoperabilität an sich ist überall dort erforderlich, wo Geschäftsbedürfnisse nach dem wettbewerbsfähigen Koexistieren von Produkten in einer „Plug and Play“ Umgebung verlangen.

„In fact, the process of rolling out Digital Cinema is expected to make many years. The challenge is therefore to create a digital projection infrastructure within the complex in year one such that systems with possibly different specifications purchased in year 5, or even year 10, can “plug in” without major impact.” ([13], S.259)

Ohne eine Interoperabilität auf Systemlevel (vgl. Abb. 34) gewährleisten zu können, wird es nämlich schwierig, das Vertrauen des Marktes, die Technik betreffend, zu gewinnen, welche eine Beschleunigung des Roll-Out mit sich bringen würde.

Im Speziellen bezieht sich dieser Wunsch nach Interoperabilität auf folgende Bereiche:

Delivery System: Ist für die Auslieferung des DCP auf physischem oder elektronischem Weg (Satelliten-, Multicast- und Glasfasernetzwerke, WANs (Wide Area Network) und LANs (Local Area Network)) in 2K oder später auch 4K Qualität und der Bestätigung dessen Erhalts verantwortlich

Security System: Entschlüsselt die zusätzlich zum DCP gesandte KDM und liefert Keys, so dass zum Beispiel das „Presentation System“ den gewünschten Content entschlüsseln kann.

Eine mögliche Art der Implementierung wäre die Nutzung eines SM, welche als Bank für „Security Keys“ genutzt wird und Kopien davon, auf Anfrage, an das „Presentation System“ sendet, meint Michael Karagosian, von Karagosian McCalla Partners. (vgl. [13], S.260)

Back-Office System: Ermöglicht es dem Betreiber automatisch Zeitpläne und „show play lists“ zu generieren. Zweiteres ist eine Liste von verschiedenen Filmelementen in ihrer zeitlichen Abfolge. Das System sammelt zudem Informationen zum abgespielten Inhalt, ausgetauschten Schlüsseln und dem Zustand des Equipments.

Presentation System: Inkludiert den Projektor und den Media Block, welcher oft in den Projektor integriert wird und somit „Link Encryption“ unnötig macht.

Storage System: Das Speichersystem ist abhängig von der jeweiligen Media Block Architektur.

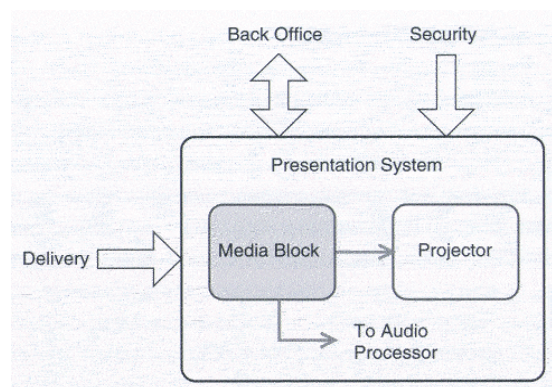


Abb. 34 Interoperabilität auf Systemlevel (Quelle: [13], S.260)

9.3 Media Block Architekturen

Karagosian führt hier drei Architekturen, welche für digitale Kinosysteme vorgeschlagen oder in diesen implementiert wurden, an. (vgl. [13], S.264-270)

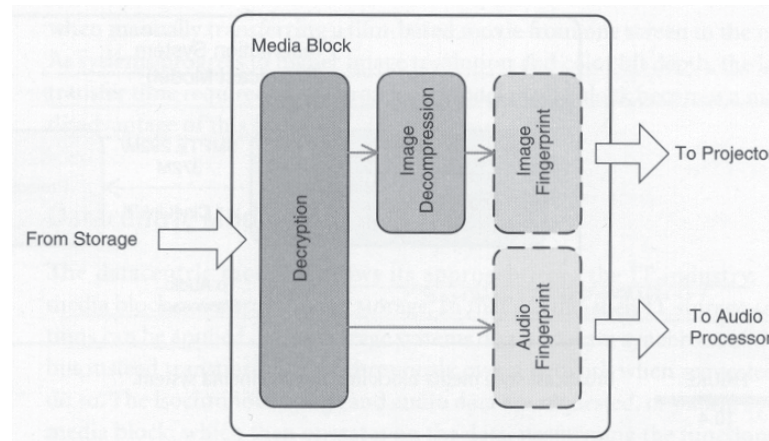


Abb. 35 Media-Block Funktionsdiagramm (Quelle: [13], S.265)

9.3.1 Broadcast Model

Dieses Modell (vgl. Abb. 36), welches seinen Namen durch den Einsatz der Servertechnik der Broadcast Industrie erhalten hat, speichert Inhalt, dekomprimiert die Bild- und Audiodateien und pusht einen synchronen Audio-Stream zum „Cinema Audio processor“ und einen synchronen Bild-Stream zum Projektor. Der Server oder Media block ist hier also einem „image-rendering device“ gleichzusetzen, in dem Bild- und Audiodaten synchronisiert werden.

Die Bilddaten werden hierauf entweder durch „single-link SMPTE 292M“ oder durch „dual-link SMPTE 372M“ Interfaces, auch bekannt als single- oder dual-link HD-SDI¹⁰⁷ („high-definition serial data interface“) Schnittstellen, an den Projektor übertragen.

2001 führte **Texas Instruments**, Entwickler und Erzeuger von „DLP Cinema™“, die sogenannte „CineLink™ link encryption“ für SMPTE 292M ein, welche einen Protection Layer zur Verfügung stellt.

Das wohl charakteristischste Merkmal dieser Produkte, zum Beispiel von **Avica**, **EVS**, **GDC** und **Qu-Vis**, ist ihre „self-contained storage (in sich geschlossene Speicherung)“, was allerdings nicht unbedingt als Vorteil anzusehen ist. Will man nämlich die Vorführung von einem Projektor zu einem anderen transferieren, so müssen alle die Vorführung betreffenden Dateien mitgeschickt werden.

Würde man 4K 4:4:4 Daten mit 12 Bit pro Farbe und 24 Bildern in der Sekunde mit einer Kompressionsrate von 10:1 in Echtzeit übertragen wollen, würde das eine Netzwerkbandbreite von 200 Mb/s erfordern.

¹⁰⁷ Der **SDI**-Standard beschreibt die Übertragung eines digitalen seriellen Videodatenstroms über Koaxialkabel. Er kommt hauptsächlich in Fernsehstudios zum Einsatz. Die HDTV-Übertragung über SDI wurde 1998 in SMPTE 292M standardisiert und wird HD-SDI genannt. Hier beträgt die Datenrate 1,485 Gbit/s. (http://de.wikipedia.org/wiki/Serial_Digital_Interface)

Die dem „*broadcast model media block*“ immanenten langen Übertragungszeiten werden also mit zunehmender Bildauflösung und Farbtiefe immer mehr zum Nachteil.

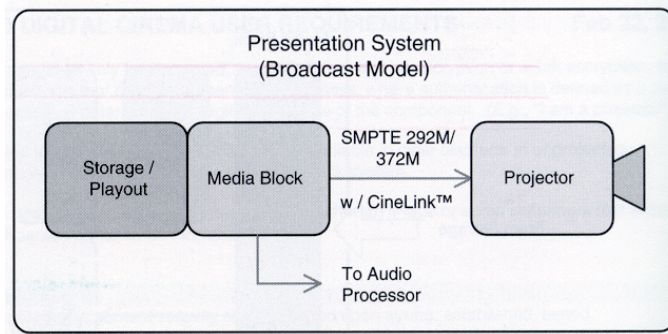


Abb. 36 Broadcast Model (Quelle: [13], S.266)

9.3.2 Datacentric Model

Beim datenzentrischen Modell (vgl. **Abb. 37**) ist der Media Block vom Speicher getrennt, was das Anwenden serienmäßig produzierter Speicherlösungen der IT-Branche möglich macht. Die Speichersysteme übertragen Daten isochron¹⁰⁸ über ein Netzwerk, wenn sie vom Media Block gepullt werden. Der Media Block, dessen Eingangssignal isochron ist, übernimmt dann die Entschlüsselung der Daten, die Bildkompression und das „*fingerprinting*“, um anschließend über eine HD-SDI Verbindung die nun synchronen Daten an den Projektor weiterzuleiten.

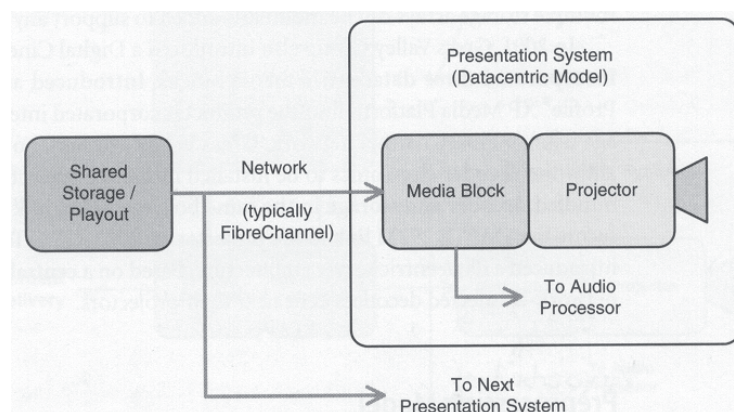


Abb. 37 Datacentric Model (Quelle: [13], S.267)

Ein primärer Vorteil dieses Modells liegt darin, dass serienmäßig produzierte „*redundant storage arrays*“ (RAID), mit schnellen Datenübertragungsraten mehrere Screen Systeme gleichzeitig versorgen können. Durch diese Technik bleiben die zum Media Block gesendeten Daten in komprimiertem und verschlüsseltem Zustand, was die Bandbreitenanforderung an den Link senkt und, sollte der Media Block

¹⁰⁸ **Isosynchronen** (v. griech.: *iso* = gleich + *chronos* = Zeit) sind *gleich lange dauernde* Zeiträume. Sie werden in der Technik für periodische Vorgänge gleicher Dauer, d.h. mit einer konstanten Periodendauer, eingesetzt (<http://de.wikipedia.org/wiki/Isosynchron>)

in das Projektorhaus integriert werden, Link Encryption aufgrund der Tatsache, dass die Entschlüsselung im Projektor vorgenommen wird, unnötig machen.

Die Nutzung von SANs („*storage area network*“) erlaubt es, Filme und andere Elemente „*on the fly*“ umzuorganisieren. Weil die Dateien in dem „*central storage array*“ verbleiben, müssen nur die Netzwerkdatenströme elektronisch zum gewünschten Media Block und Projektor geschaltet werden, sollte die Vorführung an einem anderen Vorführsystem stattfinden. Sollte ein Multiplex jedoch über eine hohe Anzahl von Bildwänden verfügen, so wird es eine der Aufgaben dieses Modells sein, ein SAN mit einer sehr hohen Bandbreite zu errichten.

9.3.3 Preprocessing Model

Im Vergleich zum konventionellen Film, welcher seit ca. 100 Jahren existiert und sich seitdem kaum verändert hat, was das heutige Abspielen aufbewahrter Inhalte ermöglicht, bleibt es abzuwarten bzw. ist es zu bezweifeln, dass dies auch für das digitale Kino zutreffen wird.

Dies und einige andere Probleme zum Anlass nehmend, legte Mike Tinker von den *Sarnoff Laboratories* (2002) ein Modell nahe, welches der Veralterung der Technologie und der damit in Zusammenhang stehenden hohen Kosten der Signalverarbeitung, durch die Einführung einer „*preprocessing stage*“ in die Signalverarbeitungskette des Kinos, entgegenwirken soll (vgl. Abb. 38).

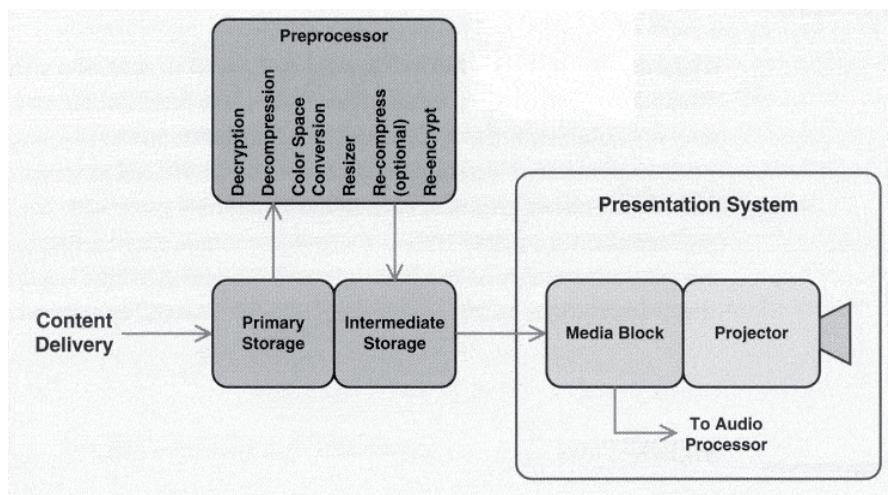


Abb. 38 Preprocessing Model (Quelle: [13], S.269)

Der Inhalt würde, laut Konzept, in jedem Format, in jeder Auflösung, mit jeglichen darauf angewandten Verschlüsselungs- und Kompressionsalgorithmen entschlüsselt und dekodiert werden können. Zudem sollte es möglich sein, den Farbraum zu transformieren und für den Projektor in der Größe anzupassen.

Der Vorteil des Systems ist, dass es sich der sich stetig ändernden, besser werdenden Computertechnologien bedient und auf Software, nicht auf Hardware, basiert, wodurch es dem Benutzer erlaubt ist, Signalverarbeitungsalgorithmen, falls notwendig, zu erneuern.

Da in der Vorverarbeitungsstufe keine Echtzeit-Verarbeitung nötig ist, werden serienmäßig produzierte CPUs verwendet, welche auf schon erwähnter Software basierend, ein unkomprimiertes oder leicht komprimiertes „*intermediate file*“, dessen Auflösung und Farbraum an den Zielprojektor angepasst werden, speichern, welches später vom Media Block an den Projektor gesendet wird.

Schwachpunkte sind die Entschlüsselung des originalen Inhalts in der Vorverarbeitungsstufe, die erneute Verschlüsselung bei der Speicherung des „*intermediate files*“, welche eine Möglichkeit einer Attacke in der Sicherungskette zur Folge haben kann und die hohen Transferraten des „*intermediate*“ Speichersystems, welche wiederum zu teuren Speicherlösungen führen können. Die höheren Dateigrößen wiederum belasten, beziehungsweise begrenzen, die Bewegungsfähigkeit des Inhalts im Falle eines Broadcast Server Models oder führen zu einer Reduzierung der von einem SAN belieferten Anzahl an Bildwänden bei einem IT Modell.

Vom Standpunkt der Erneuerbarkeit, ist diese auf Software basierende Signalverarbeitung sehr von Vorteil und wird mit der Entwicklung stärkerer CPUs sicher den Weg in digitale Kinosysteme finden.

9.4 Zusammenfassung

Welches der Modelle eingesetzt wird und welche Berechtigungen jedes an sich hat, bleibt abzuwarten. Doch ist das Lösen technischer Herausforderungen alleine nicht genug, die digitale Umrüstung auszulösen. Während nämlich Studios von den Einsparungen aufgrund elektronischer Distribution und Hersteller vom Verkauf neuen Equipments profitieren, bleibt den Kinobetreibern nur, die Risiken des Wettbewerbs und der Instandhaltung auf sich zu nehmen, ohne jedoch durch die Umrüstung auf neue Einkommensquellen, den anderen Geschäftsfeldern entsprechenden Ausmaßes, zurückgreifen zu können. Die wichtigste Herausforderung, das digitale Kino betreffend, wird es also sein, die Interessen der Distributoren und Kinobetreiber und gegebenenfalls externer Anbieter aufeinander abzustimmen. Ein wichtiger Schritt in diese Richtung ist unter anderem durch das Bereitstellen von Finanzierungsmodellen getan, welche es ermöglichen sollen die Erstfinanzierungskosten möglichst gering zu halten.

10 Die Gegenwart und Zukunft des digitalen Kinos

Während es nicht mit Gewissheit vorhersagbar ist, wann die digitale Projektion zum weltweiten Kino-standard wird, so ist man sich branchenintern durchaus einig, dass es, aus ökonomischen Gründen wie auch auf technischen und ästhetischen Vorteilen basierend, innerhalb der nächsten 10 Jahre stattfinden könnte.

„Obgleich die Motivationen der beteiligten Akteure eher ökonomischer Natur sind, kann ein solcher Wandel auch tief greifende Veränderung für die ästhetisch-stilistische Entwicklung des Films nach sich ziehen, denn die fallenden Kosten begünstigen eine Dynamisierung und Diversifizierung filmischen Schaffens. Die HD-Technologie eröffnet dabei nicht nur neue kreative Möglichkeiten, sondern bewirkt auch eine qualitative Konvergenz zwischen Produktionssystemen, von der gerade No- und Low-Budget-Filme profitieren werden.“ ([10], S.98f)

Nach Jahren des Stillstands, nach der ersten kommerziellen Vorführung digitalen Kinos (Star Wars 1999), welche von Diskussionen über das Thema und technologischem Wandel geprägt waren, scheint es nun so, als schreite die Digitalisierung voran.

In einer Presseaussendung, anlässlich einer aktuellen **Screendigest** Studie mit Namen *„Digital Cinema: Rollout, Business Modells and Forecasts“*, vom 12.05.2006 ist unter dem Titel *„Digital Systems finally ready to replace 35mm film“* zu lesen, dass im Laufe der zweiten Hälfte des vergangenen Jahres ein enormes Wachstum an digital ausgestatteten Kinos zu verzeichnen war und der Trend wohl auch 2006 anhalten wird. Die Studie berichtet, wie bereits in der Einleitung erwähnt, von 849 digitalen Kinos weltweit gegen Ende des Jahres 2005, einem Zuwachs gegenüber dem Vorjahr um 150%. Für 2010 werden 17.000 digital projizierte Bildwände weltweit vorhergesagt, der größte Anteil davon in den USA.

Die von den Hollywood Majors gepushte Entwicklung, so Screendigest, macht es nicht nur ihnen selbst möglich, ihre Marktvorherrschaft auszubauen, sondern bietet auch für die Independent-Filmszene Vorteile und erschließt neue Geschäftsfelder und Einnahmequellen für Kinobetreiber. (vgl. [59])

Durch alternative Einnahmequellen wiederum zeichnen sich für Kinobetreiber und deren Mitarbeiter neue Herausforderungen ab, welche nach einer Expertise in Location- und Event-Management, Zielpublikumsanalysen, Programmeinkauf und -zusammenstellung, lokales Marketing, Werbeplatzverkauf sowie Zielkundenfindung außerhalb etablierter Konsumentenkreise verlangen, so eine Studie der FFA (Filmförderungsanstalt), mit dem Namen *„Digitales Kino 2006“*. (vgl. [57], S.7)

Auch die Erschließung neuer Geschäftsfelder wird die digitale Technologie ermöglichen, da Lichtspieltheater sich immer mehr zu multifunktionalen Veranstaltungsstätten wandeln könnten, somit auch alternative Nutzung (z.B. Vorträge, LAN-Partys, etc.) der Kinosäle und alternative Inhalte (z.B. Sportereignisse, Konzerte in HD, etc.) ihre Berechtigung erhalten würden.

10.1 Wozu brauchen wir digitales Kino?

Der Autor des Buches „*Digital Cinema – The Revolution in cinematography, postproduction and distribution*“, Brian McKernan, schreibt dazu, in einem Kapitel („*Why Fix What Isn't Broken?*“) seines Buches, folgendes: „*The fact that film-projection technology has remained relatively unchanged for many years is based on a simple fact: It works. Film is a mature, effective, and relatively simple technology. Modifications have been developed over the years as needed: large film platters to eliminate reel changes, interfaces with house-automation systems, digital sound formats, etc. But – as noted previously – there hasn't otherwise been a great need to fundamentally change the theatrical film-projection paradigm. And in the opinion of many – although not all – exhibitors, this still holds true, digital cinema or not.*“ ([17], S.188f)

Es stellt sich also die Frage, ob der über die Jahre perfektionierte 35mm Filmstandard, durch eine vergleichsweise in den Kinderschuhen steckende Technik, die digitale, ersetzt werden sollte, deren Projektoren an die 120.000 Dollar kosten und deren Server durch das Moore'sche Gesetz (**vgl. Fußnote 60**) jederzeit veraltet sein können.

Trotzdem scheinen Kinobesitzer, in einer eher schleichenden Bewegung, zu großen Teilen von neuen Marktteilnehmern, der Werbeindustrie und mitunter sogar von staatlichen oder non-kommerziellen Initiativen getragen, auf digitale Technik umzurüsten.

Womöglich aufgrund folgender Vorteile und Möglichkeiten könnte die teilweise Umrüstung stattgefunden haben:

- Durch ein digitales Master können für die weiteren Verwertungskanäle Master extrahiert werden, ohne größere Veränderungen vornehmen zu müssen. Zudem ist digitales Material kopierbar, ohne eine Verschlechterung zu bewirken.
- Das digitale Kino, brächte einen Wegfall der Kinokopienerstellung mit sich, der zusammen mit der damit verbundenen Logistik die Filmdistributionskosten um bis zu 90% senken würde.
- Das digitale Kino bietet flexiblere und effizientere Möglichkeiten der Verwertung und Vermarktung von Film, Werbung und alternativen Kinoinhalten, wodurch sich wiederum neue Wertschöpfungsmodelle, wie alternative Content- und Nutzungskonzepte (Firmenpräsentationen, interaktive Filme, Clubveranstaltungen, LAN-Partys) ergeben.
- Die digitale Technik bietet mehr Flexibilität in der Postproduktion. Vorteile „*ergeben sich vor allem durch kürzere Postproduktionsketten (z.B. kein Kopierwerksprozess) und eine leichtere Verfügbarkeit, Transportierbarkeit und Manipulierbarkeit* [Lichtbestimmung, Keying, aber auch Restaurierung und Compositing von Film und CGI Inhalten] *des Bildmaterials.*“ ([10], S.53)
- Die digitale Technik ermöglicht es uns weiters, digitale Dateien zu verschlüsseln, welche dann erst im Kino von überprüften Benutzern, welche im Besitz der richtigen Schlüssel sind, wieder entschlüsselt werden können, um der Piraterie vorzubeugen.
- Die Produktionsqualität steigt; das Audiosignal ist, bei einem größeren Kanalumfang, unkomprimiert.

- **Die Technik bringt Nutzen und Vorteile für den Rezipienten** (*ein einzigartiges Kino-Erlebnis bei jeder Show; mehr Inhaltsvielfalt; unvergleichliche Qualität und bester Klang; dank der Reinheit des Bildes kann jeder die ursprüngliche Vision des Regisseurs erleben; kein Staub, keine Kratzer, Beschädigung oder Abnutzung; konstante Lichtlevels; perfekte Farbwiedergabe; gleich bleibende Qualität: Tag für Tag, Show für Show*), **den Director, Producer und das Creative Team** (*verbesserte Präsentation und die Gewissheit, dass ihr kreativer Input auch vom Rezipienten gesehen werden kann*), **für die Distributoren** (*30% bis 50% niedrigere Herstellungskosten im Vergleich zu 35mm-Kopien; durchschnittlich 80% niedrigere Herstellungskosten im Vergleich zu 35mm-Trailern; 40% bis 60% niedrigere Kosten für Untertitelung im Vergleich zu Untertitelung analoger Kopien; Planungs- und Filmverleihflexibilität [Produktion von zusätzlichen Kopien, Verfügbarkeit von synchronisierten und untertitelten Versionen]; Schutz des Inhalts gegen Verletzung von Urheberrechten; Steigerung der Bild- und Klangqualität; unmittelbare Verfügbarkeit von digitalen Medien für die Übertragung; reduzierte Transportkosten für Kopie*) **und zuletzt für den Kinobetreiber** (*Flexibilität und Erweiterung der Programmierung [Verfügbarkeit von synchronisierten Versionen und Versionen mit Untertiteln, Inhaltsvielfalt]; Steigerung der Werbeeinnahmen [Reduzierung der Technikkosten, genauere Fokussierung auf die Zielgruppen des Kinopublikums]; Steigerung der Bild- und Klangqualität; reduzierter Arbeitsaufwand; reduzierte Transportkosten für Kopien [kleine & leichte digitale Kopien, einfach in der Handhabung]; vielseitiger Einsatz der Projektoren*). ([67], S.4,5,10))

10.2 Mögliche Zukunftsszenarien

- **Alles bleibt vorerst wie es ist**
Dieses erste Szenario kommt einem Konservieren des Status quo der Marktbeteiligten gleich. Es geht von der Erhaltung der bisherigen Vertriebs- und Verwertungssysteme des Filmvertriebs, der Ablehnung hoher Investitionskosten durch die Kinobetreiber (Kontrollverlust durch Investitionen/Beteiligungen Dritter), und des Nicht-Bereit-Seins des Kinobesuchers für Digitalprojektion höhere Eintrittspreise und längere Werbeblöcke zu akzeptieren, aus.
- **Technische und qualitative Verbesserung des analogen Films**
Mit diesem Szenario geht eine Revitalisierung der analogen Aufnahme- und Projektionstechnik mit sich, was zwar dem Zeittrend entgegenlaufen würde, dennoch aus ökonomischen Gründen rationaler wäre, als in die kaum standardisierte digitale Technik zu investieren.
- **Etablierung „hybrider Kinos“**
Hier werden zwei weitestgehend inkompatible Techniken, die analoge und die digitale, parallel betrieben, was den Filmvertrieb dazu anhalten würde, auch weiterhin analoge Kopien anzubieten. Eine vollständige Transformation findet in diesem Szenario nicht statt.
Eine mögliche Form, eine mittelfristige Ablösung, ist der Einsatz digitaler Projektionstechnik nur zu Werbezwecken, auf E-Cinema Niveau.

- **Vollständige Transformation zum digitalen Kino**

Dieses Modell geht von einer raschen Penetration durch die Digitaltechnik aus, was jedoch aufgrund hoher Investitionskosten eine massive Beteiligung der von digitaler Distributions- und Projektionstechnik profitierenden Filmvertriebe und der Werbewirtschaft notwendig machen würde.

Ein vorstellbares, wenn auch unpräzidiertes und kartellrechtlich bedenkliches Szenario wäre der durch Hollywood Majors erzwungene „Roll-out“.

(vgl. [46])

In naher Zukunft wird sich dieses das letztgenannte Modell wohl aufgrund des geringen Grades technischer Standardisierung, der Angst vor Piraterie seitens der Rechteinhaber sowie unklarer Refinanzierungsmodelle, aber auch aufgrund der noch teuren Technik und seiner unbeständigen, unausgereiften und komplexen Natur wohl nicht etablieren können. Bis 2010 jedoch rechnet man, wie bereits erwähnt, bei Screendigest mit 17000 Bildwänden weltweit.

Die 1992 gegründete Vereinigung **Europa Cinemas**, durch das **MEDIA Programme** der europäischen Union und des **Centre National de la Cinématographie** finanziell unterstützt, ist das erste Kinonetzwerk mit hauptsächlich europäischem Programm. Es unterstützt sich beteiligende Kinos (müssen eine bestimmte Anzahl von europäischen „non-domestic“ Filmen zeigen und den europäischen Film jungen Zuschauern näher bringen) finanziell und fördert die digitale Projektion.

Laut dem von ihnen herausgegebenen „*Digital Guide*“ sind vor allem die letzten beiden Szenarien die wahrscheinlichsten, von denen der hybride Ansatz im Moment zur Anwendung kommt und hier näher beschrieben werden soll.

„Das erste [Szenario] stellt die Hypothese eines stetig zunehmenden Einsatzes der Digitaltechnik auf, einhergehend mit einer steigenden Anzahl digital ausgerüsteter Kinos und gleichzeitig einer Ausweitung der industriellen und staatlichen Förderprogramme – wie das Beispiel des Digital Screen Network des UK Film Council zeigt. Nach diesem Szenario bleibt die parallele Projektion vom 35mm- und Digital-filmen noch mehrere Jahre bestehen.“ ([48])

Aber auch die rasche Penetration durch die Hollywood Majors wird, ungeachtet der Tatsache, dass ein solches Vorgehen sehr unwahrscheinlich ist, im digitalen Leitfaden umschrieben:

Das zweite Szenario für die Ablösung der analogen durch die digitale Technik „geht von einem schnelleren Übergang aus, vorangetrieben von den Hollywood-Majors, die die Digitaltechnik zum internationalen Standard erheben wollen. So sollen die Verleihe und Kinobetreiber so schnell wie möglich die wegfallenden Herstellungskosten für die Kopien in den enormen Umrüstungsbedarf der Kinosäle investieren.“ ([48])

10.3 Die zur Anwendung kommende Technik

Das Umrüsten auf das digitale Kino (**vgl. Abb. 39**), wird zur Zeit durch eine schleichende, aber kostenbewusstere Migration vollzogen, welche auf dem hybriden Kinoansatz, also dem Parallelbetrieb von analoger und digitaler Technik, basiert.

Projektoren in der HD-Cinema-Norm genügen durchaus den Ansprüchen von 2K Content, niedrigauflösendere Projektoren (1K; 1,3K) müssen jedoch unter Umständen nachgerüstet oder ausgetauscht werden, um oben genannten Content wiedergeben zu können. Ist dies nicht der Fall, wird eine Sonderlösung, wie die Projektion auf kleinere Leinwände, bei der die geringere Auflösung durch hellere Lichtleistung ausgeglichen wird, angestrebt. (vgl. [57], S.11)

Nicht zu vergessen ist jedoch auch der von der **DCI** geforderte 4K Content, welcher aufgrund der noch nicht verfügbaren JPEG2000-Server und hohen für den Projektor anfallenden Kosten in Europa noch nicht realisiert ist.

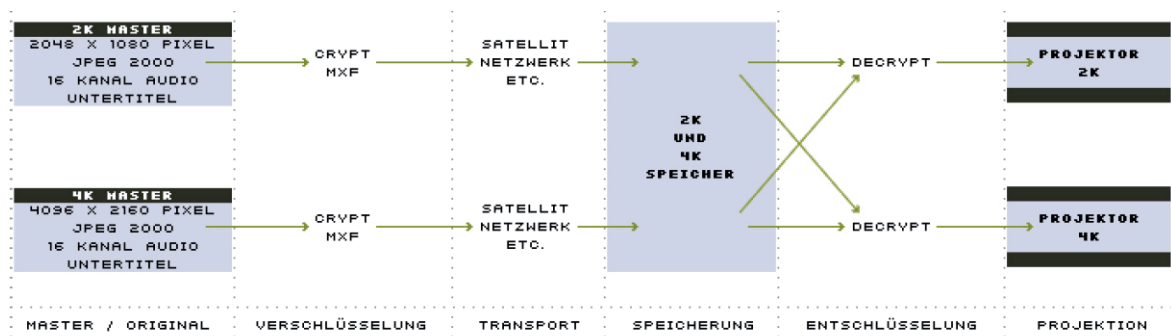


Abb. 39 Prinzip D-Cinema nach DCI (Quelle: [57], S.5)

10.4 Praxis

„Das zentrale Kinomanagement „SMS“ – ein Computerarbeitsplatz – erhält jeweils über eine Firewall die relevanten Informationen zum Film, der separat über Satellit, Netzwerk oder per Kurier als DVD auf den Bild- und Tonspeicher (= Server) übertragen wird. Im Verbund zwischen SMS und der Kinoautomation wird der Film zur vorgegebenen Zeit vom Server abgerufen, anschließend entschlüsselt und auf den Projektor (2K oder 4K) übertragen. (vgl. Abb. 40) Parallel liefert der Server Audiodaten, die über den Prozessor auf die Lautsprecher gegeben werden.“ ([57], S.11)

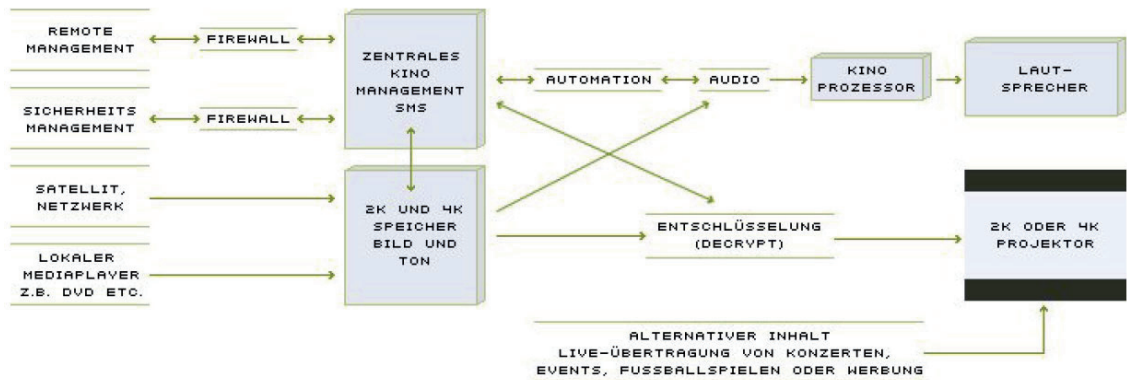


Abb. 40 Ablauf nach DCI (Quelle: [57], S.11)

Erkennbar ist auch der durch die **DCI** spezifizierte Einspielweg für alternativen Inhalt (ein Zusatzeingang am Projektor), welcher auch mit auf den Bild- und Tonspeicher platziert werden kann, sollte eine Zwischenspeicherung notwendig sein. Dies macht zur Zeit jedoch noch einen zweiten Server zur Speicherung notwendig (vgl. Abb. 41).

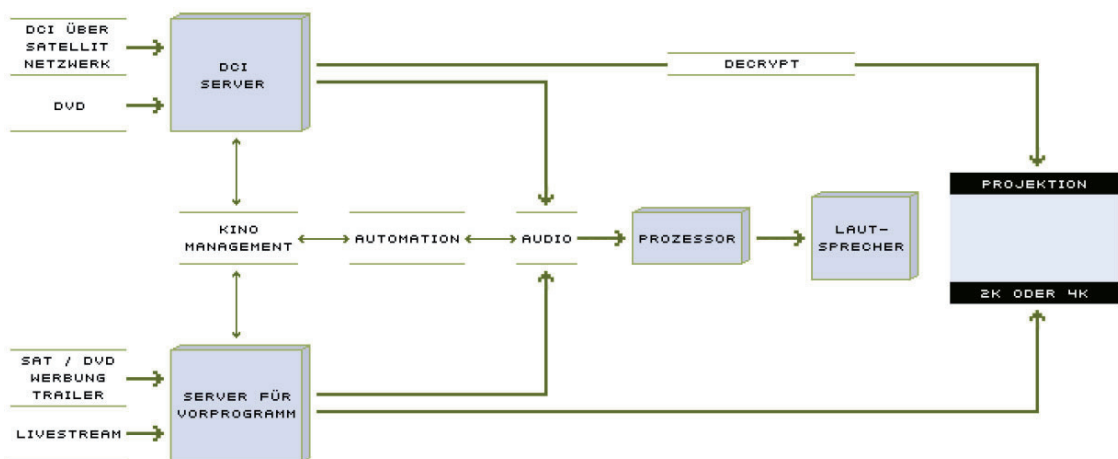


Abb. 41 2-Server-Betrieb (Quelle: [57], S.12)

Werbung und Trailer werden dann am Rechner zusammengestellt und vom Server an den Projektor übertragen. Die Projektion des Hauptfilms übernimmt in den meisten dieser Hybrid-Kinos der 35mm-Projektor.

10.4.1 Projektortechnik

An einen digitalen Kinoprojektor werden bezüglich der 4 Bildparameter Leuchtstärke, Farbraum, Auflösung und Kontrast sehr hohe Anforderungen gestellt. Aber auch teure Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten sollen vermieden und eine lange Lebensdauer garantiert werden.

Während die Vorteile des 35mm Films unbestritten sind, hat auch er seine technischen Grenzen, denn trotz durch Filmrollenhersteller erzielte Fortschritte ist die Korngröße der Silberbeschichtung nicht mehr zu unterbieten, die Schärfe des Silberbilds nähert sich also dem Optimum. Weiters lässt sich die Leuchtkraft der Projektoren nicht ins Unermessliche steigern, da schon ab circa 10.000 Watt der Film schmelzen könnte. Zudem ziehen die meist in kurzer Zeit und in großer Zahl gezogenen Kopien Staub an und schränken, durch ihre mechanische Abnutzung, die Qualität der Projektoren ein. (vgl. [48], S.12)

Digitale Projektoren jedoch, bei welchen das Bild frei von Staub und Kratzern ist, ermöglichen es, das Bild in teils besserer Auflösung und mit besserem Kontrastumfang auf über 15 Meter breite Bildwände zu projizieren. Außerdem ist die Lichtintensität perfekt verteilt und die Bildstabilität, aufgrund des Fehlens mechanischer Bewegung, unübertroffen. (vgl. [48], S.12)

Im Grunde werden laut **FFA** drei Typen von digitalen Projektoren unterschieden, auf deren Merkmale bereits im Kapitel Projektion eingegangen wurde: DLP-, D-ILA und Laser-Projektoren. In Zukunft sollte neben der 2K- auch eine 4K-Projektion möglich sein, eine erste Variante ist der 4K SXRD-Projektor von Sony.

Ab 2007 soll, so die Zeitschrift SFT, zudem auch das „Dreidimensionale“ die Kinos erobern. SFT schreibt hierzu: „Das klingt erst einmal wenig spektakulär, da es die Technologie der räumlichen Bilder schon seit Anfang der 50er-Jahre im Kino gibt. Der Film wird hierfür zeitgleich mit zwei Kameras aufgenommen, die – wie unsere Augen einige Zenitmeter voneinander entfernt – das gleiche Bild aus einer jeweils etwas anderen Perspektive aufnehmen. Mit Hilfe einer polarisierten 3D-Brille werden die beiden Bilder dann zu einem räumlichen 3D-Erlebnis für den Betrachter zusammengefügt. Neu ist dabei die Hochwertigkeit der gestochen scharfen Bilder. Es ist noch nicht klar, ob sich die aktive oder die passive Stereoprojektion (SP) durchsetzen wird. Hintergrund: Bei der passiven SP sind immer zwei Projektoren (passiv) und eine spezielle Leinwand notwendig. Das bedeutet unangenehme Mehrkosten für die Kinobetreiber. Die 3D-Brille liegt bei 2 Euro pro Stück. Der Vorteil der aktiven SP liegt in der Kompatibilität. Da keine Spezialleinwand erforderlich ist und das Bild aus einem einzigen Projektor kommt, könnte nahezu jedes Kino relativ leicht umgestellt werden. Einziger Nachteil: Die so genannte „elektronische Shutterbrille“, die über Infrarot mit dem Server gekoppelt ist und so jeweils abwechselnd das Bild für das rechte und das linke Auge freigibt, kostet derzeit 300 Euro. Das wären bei 300 Besuchern 90.000 Euro!“ ([27], S.33)

Vorab kommt dieses System zum größten Teil in der Autoindustrie zur Anwendung, doch kann man sich auch in dem mit einer passiven SP ausgestatteten Münchner Kino „*Cinema*“ von der digitalen 3D-Technik überzeugen.

Filmmacher wie George Lucas, James Cameron, Robert Zemeckis und Robert Rodriguez unterstützen das digitale 3D-Kino und produzieren dafür. Das extra Drehen neuer Filme dafür ist jedoch interessanterweise nicht notwendig, da durch computergestützte Verfahren zweidimensionale Filme dreidimensional werden. Das ist möglich, indem der Computer zusätzlich zum originalen Filmbild (dem linken Auge zugeführt) einen Versatz ausrechnet (dem rechten Auge zugeleitet).

Im Winter 2005 starteten die **Disney Studios** ihren ersten CG-animierten Film „*Himmel und Huhn*“, welcher in ausgewählten Lichtspielhäusern durch den „*Disney Digital 3D Prozess*“, unter Zuhilfenahme der jüngsten technischen Innovationen und Erfahrungen von Pionieren der Branche, wie **Industrial Light & Magic** (ILM) und **Dolby Laboratories** in die Dreidimensionalität erhoben präsentiert wurde.

Zudem haben **Kodak** Techniker im Rahmen des Kinostarts von „*Monster House*“ im Vorfeld alle Installationen, den Service und den Digitalisierungsprozess von in den US-Staaten und in Kanada komplett vernetzten 3D-Digital-Systemen für 27 Leinwände (8 Kinobetreiber) durchgeführt.

Das von **Kodak** bereitgestellte System umfasst die **Barco** „*D-Cine*“ Projektorenreihe und das **REAL D** Cinema System und ist vernetzt durch das **Kodak** Digital Cinema Operating System.

Auch **Dolby**, die sich nun mit der **Infitec GmbH**, einem durch die **DaimlerChrysler AG** lizenzierten deutschen Unternehmen, welches sich mit Stereodisplaytechnik, in weitestem Sinne also Virtual Reality Applikationen auseinandersetzt, zusammenschließen, planen ein eigenes 3D Projektionssystem, welches die Anschaffungskosten minimieren und somit im Frühjahr 2007 einen, im Vergleich zur IMAX-Technologie, weiter verbreiteten Einsatz ermöglichen soll.

Sollten sich jedoch auch diese Verfahren eines Tages am Fernseher und PC rezipieren lassen, könnten sich Kinobetreiber über alternative Techniken, wie Riech- und Tastkinos, Gedanken machen.

10.4.2 Audio

Da bekanntlich „*sound is half the picture*“ gilt, kommt neben dem Bild auch dem Ton im digitalen Kino eine tragende Rolle zu. Die **DCI** spezifiziert hier 16, über ein „*Channel Mapping*“ in den üblichen 5.1 und 7.1 Konfiguration wiedergebbare Tonkanäle und PCM codierte Broadcast Wave (.wav) Dateien. Durch die unkomprimierte Speicherung des Tones werden Systeme wie **Dolby** Digital oder dts, zumindest im digitalen Bereich, nicht mehr obligatorisch sein.

Was in diesem Bereich die Zukunft bringen wird, vermag die Zeitschrift SFT näher zu bringen: „**Am Fraunhofer-Institut [für Digitale Medientechnologie] IDMT** in Illmenau hat Professor Karleheinz Brandenburg, Erfinder des MP3-Codec, ein gänzlich neuartiges Soundsystem (IOSONO) [bestehend aus Lautsprecherpanels, der Rendereinheit und der Wiedergabesoftware] entwickelt, dass es ermöglicht, an jedem Punkt im Kinosaal ein optimales Klangerlebnis zu erhalten. Die Grundlage bildet das Huygens'sche Prinzip, das aus der Wellentheorie bekannt ist. Es ist den Technikern gelungen, dieses Prinzip auf die Audiowiedergabe zu übertragen. Dabei platziert man Lautsprecher virtuell außerhalb des realen Wiedergaberaumes. Diese Positionen entsprechen dann den für das jeweilige Format definierten Normpositionen. Dadurch vergrößert sich der Bereich des optimalen Hörens. Das Ergebnis: ein synthetisiertes, homogenes Schallfeld – oder, vereinfacht ausgedrückt: echter 3D-Klang auch auf den „billigen Plätzen“. Wer Lust hat, kann sich in den „Linden Lichtspielen“ in Illmenau (Thüringen) von dem Klangwunder selbst überzeugen.“ ([27], S.33)

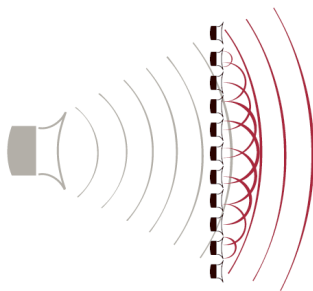


Abb. 42 Virtuelle Schallquelle (Quelle: [56])

Durch das WFS (Wellenfeldsynthese-System) soll also Nachteilen bisheriger Audiosysteme, wie zum Beispiel den Problemen bei der 5.1 Konfiguration, entgegengewirkt werden: die Bestimmung der optimalen Position des Hörers durch die Art der Abmischung und das Leiden des Klangeindrucks, wenn Lautsprecher nicht optimal ausgerichtet werden. Weitere Schwächen liegen in der natürlichen Schallwiedergabe von natürlichen und virtuellen Umgebungen. „Der WFS-Algorithmus berechnet die Signale für die Lautsprecherpanels. Durch die Überlagerung der Schallwellen entsteht die Wellenfront einer virtuellen Schallquelle (dargestellt durch den großen Lautsprecher)“. ([56])

Der Einsatz des IOSONO Systems soll es, im Gegensatz dazu, erstmals ermöglichen „einen perfekten natürlichen Raumklang sowie eine stärkere Einbüllung“ des Hörers (vgl. Abb. 43) zu gewährleisten.



Abb. 43 Kinosaal (Quelle: [56])

10.4.3 Server

Der **DCI** kompatible Server, neben dem Projektor die wichtigste Einheit im digitalen Kino, speichert Filme und zusätzliche Informationen in komprimierter Form und gibt diese wieder.

Da die digitalen Daten (inkl. Verschlüsselung, Metadaten) in unkomprimierter Form einen enormen Speicherplatz beanspruchen würden, werden sie mit Hilfe eines „*Codec*¹⁰⁹“-Verfahrens (Compressor/Decompressor) paketierte und komprimiert, um auf diese Art besser übertragen und gespeichert werden zu können.

Die **DCI** hat sich in dieser Hinsicht für den Motion JPEG 2000-Standard ausgesprochen, da er dem heute schon in digitalen Kinos eingesetzten MPEG-2-Standard einiges voraus hat: es ist möglich, unterschiedliche Auflösungen und Qualitäten des Originalbildes aufbauend aufeinander in komprimierter Form abzulegen und frei zu skalieren, zudem hat der Standard eine Farbtiefe von 32 Bit pro Kanal und ist als Einzelbildkompressionsverfahren (engl.: intra-frame) konzipiert.

Durchaus positive Erfahrungswerte lassen sich bei bereits 2K-digitalisierten Kinos mit dem MPEG-2 Standard als CODEC auf dem Server verzeichnen, so die **FFA** Studie:

*„Bei Betrachtung der beispielsweise unter den Namen „**XDC**“ und „**GDC**“ eingesetzten Server [die Cineplexx Kette, zum Beispiel, verwendet **XDC** Server] lässt sich festhalten, dass die Bewältigung von 2K-Datenströmen unter MPEG-2 problemlos funktioniert.“ ([57], S.14)*

Es wird jedoch bereits an neuen Algorithmen zur verlustfreien Komprimierung gearbeitet, von welchen der JPEG-2000-Standard als der aussichtsreichste und in der Entwicklung am weitesten fortgeschrittene erscheint, bis zu dessen Einführung einige Server-Fabrikanten mit proprietären Komprimierungssystemen arbeiten werden.

***XDC** sieht das folgendermaßen: „Sobald die Empfehlungen der **DCI** von der **Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE)** in Standards umgesetzt worden sind und entsprechende Zertifikationen möglich sind, wird **XDC** eine neue Server-Generation anbieten. Der CineStore Solo G3 Hybrid Server wird dann einerseits das von der **DCI** empfohlene JPEG2000 MXF Format abspielen können und gleichzeitig weiterhin das MPEG-2 MXF Kompressionsformat lesen können. Weitere Features werden den Solo G3 zu einem High-End Gerät für die Digitalisierung von Kinos machen. Der Solo G3 wird Anfang 2007 erhältlich sein. Bis dahin bietet **XDC** auch eine JPEG 2000 Übergangslösung an, damit Kinobetreiber alle von den Verleihfirmen angebotenen Formate abspielen können.“ ([66])*

¹⁰⁹ Als **Codec** (Wortkreuzung aus den englischen Begriffen *coder* und *decoder*) bezeichnet man ein Verfahren bzw. Programm, das Daten oder Signale digital codiert und decodiert. Beim direkten Umwandeln von einem Format in ein anderes (bspw. MPEG-2 zu MPEG-4 oder MP3 zu WMA) spricht man auch vom Transcodieren. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Codec>)

Während die meisten Server das MPEG-2-Format unterstützen (**AVICA, DOLBY, KODAK, QuVis; XDC-EVS Gruppe**), basiert der „*HD/2K-Server V1-HD*“ von **Doremi** (vgl. Abb. 44) erstmals auf JPEG-2000.



Abb. 44 V1-HD mit Jpeg2000-Format (Quelle: [48], S.25)

Für den Kauf solcher Hochleistungsserver sollte man sich auf 15.000 bis 20.000 Euro Kaufpreis einstellen. Es werden auch Mietvarianten angeboten, die eine schnellere Umstellung ermöglichen.

10.4.4 Sicherheit

Da dem unautorisierten Kopieren und Manipulieren von Filmen ein sehr hohes Risiko für die Filmbranche zugesprochen wird, widmet sich die **DCI** diesem Bereich in besonderem Ausmaß. Die Verschlüsselung selbst erfolgt mittels eines als **AES (Advanced Encryption Standard)** bezeichneten symmetrischen Prozesses mit 128 Bit langen Zeichenketten bzw. Keys.

Der Vorgang der Ver- und Entschlüsselung wurde bereits im Kapitel Sicherheit bearbeitet, doch soll hier noch auf visionäre Konzepte und Technologien eingegangen werden.

Es werden vor allem drei Kategorien von Schutzverfahren diskutiert:

- **DRM (Digital Rights Management)**

Das DRM ist für den Schutz digitaler Mediendateien und die Verwaltung ihrer Verbindlichkeiten verantwortlich. Der Rechteinhaber hat dadurch die Möglichkeit, die Art der Nutzung seines Eigentums auf Basis zuvor getroffener Nutzungsvereinbarungen technisch zu erzwingen und so den Content vor unwissentlich oder absichtlich begangenen Missbrauch zu schützen.

Laut Inga von Staden und Beate Hundsdörfer, den Verfassern der **FFA**-Studie mit dem Titel „*Majors planen digitales Rollout*“ aus dem Jahr 2003, sind „*die zu verwaltenden Verbindlichkeiten [...] das Vervielfältigungsrecht, das Verbreitungsrecht, das Recht auf Wiedergabe durch Bild- und Tonträger, das Veröffentlichungsrecht, das Recht auf Anerkennung der Urheberschaft, das Recht, Entstellungen des Werkes zu verhindern, das Zugangsrecht und das Änderungsverbot, vor allem aber die einfachen Nutzungsrechte, Lizenzen*“¹¹⁰ genannt.“ ([12], S.240)

¹¹⁰ Zeitraum, Fenster, Abspielqualität, Anzahl der Wiederholungen, Verpflichtung ganzen Inhalt zu zeigen (inkl. Abspann), Technik, Sicherheitsstandards, Verpflichtung zur Angabe der Abspieldaten, Kosten, etc. ([12], S.243f)

- **Abfilmschutzverfahren wie „CamJam“ von Cinea und Trakstars „PirateEye“**

Trakstar hat ein „*In-Theatre Anti-Piracy-System*“ entwickelt, welches sich aus einem System, das das Wasserzeichen in Audiosignale einbindet, sowie dem „*PirateEye*“ zusammensetzt.

Letzteres scannt den gesamten Kinosaal dreimal auf aktive Videoaufzeichnungsgeräte wie Camcorder oder Videohandys ab. Erkannt werden diese Geräte durch sehr kurze und somit für das menschliche Auge nicht registrierbare Lichtblitze während der Vorstellung.

Das System, welches angeblich ursprünglich für militärische Zwecke entwickelte Komponenten von **Apogen Technologies** verwendet, soll Infrarot-Aufnahmen vom Umfeld des aufgespürten Camcorders anfertigen, um so den Täter nach Ende der Vorstellung dafür zur Verantwortung ziehen zu können.

Das „*CamJam*“ Verfahren von **Cinea**, seit 2003 ein Tochterunternehmen der **Dolby Labs**, will wiederum auf einem anderen Weg das Abfilmen in den Kinos und die darauf folgende illegale weltweite Distribution der Inhalte verhindern.

Das laut **Cinea** sich noch in der Entwicklung befindende System will anhand zweier Schlüsselfaktoren Camcorderkopien zerstören: Zum einen machen sie sich den Unterschied zwischen menschlicher und elektronischer Wahrnehmung von Strukturen zunutze (ein Kinogänger würde einen auf der Bildwand erzeugten phosphorisierenden Punkt als einen konstant hellen Punkt wahrnehmen, während Camcorder diesen als Lichtblitz mit abnehmender Intensität erkennen), zum anderen bedienen sie sich der DMD Technik der momentan marktführenden DLP-Projektoren von **Texas Instruments**.

Cinea selbst beschreibt den Prozess folgendermaßen:

„CamJam leverages the DMD architecture to project both the original content and a disruption pattern. It applies unique content-specific disruption technology that embeds and moves flickers across parts of the frame in a way that maximizes the disruption the camcorder picks up without impacting the audience.“ ([34])

Es werden also die CCD-Chips des Camcorders durch die Steuerung der Lichtmodulation überfordert und überbelichtete Bilder oder Rauschmuster werden aufgenommen.

- **Digitale Wasserzeichen (Watermarking)**

Da Filmdateien zu groß sind, um von nicht Berechtigten kopiert zu werden, ist die beliebteste Art der illegalen Kopie das Abfilmen mittels Digitalkameras von der Bildwand, welches zwar Dateien niedriger audiovisueller Qualität mit sich bringt, jedoch via Verbreitung durch Tauschhandel in Online-Communities Umsatzeinbußen für die Filmindustrie verheißt.

Um diese Aktivitäten zukünftig rechtlich oder wenigstens statistisch verfolgen zu können, sollen digitale Wasserzeichen („*watermarking*“) oder Fingerabdrücke („*fingerprinting*“) in die Filmdatei integriert werden, sei es auf Distributionsseite oder im Kinosever/-projektor. Es wird hier ein individueller Code eingefügt, der Aufschluss über Ort und Zeit der Vorstellung gibt. Diese Informationen können, obwohl vom Rezipienten visuell nicht und datentechnisch kaum erkennbar, aus einer abgefilmten Datei ausgelesen werden. Wird zudem der Kartenverkauf über Kreditkarte oder, laut Staden und Hundsdoerfer, in Zukunft über Mobilfunk abgewickelt, würden sich sogar die Schuldigen ermitteln lassen. (vgl. [12], S.245f)

Eine neue Entwicklung von **Thomson** mit der Bezeichnung „*NexGuard*“, welcher in **Doremi** (Server die diese Technologie unterstützen kommen bereits in den Verkauf), **GDC**, **QuVis** und **Tamedia** Servern zum Einsatz kommen soll, ist ein möglicher Ansatz. **Thomsons** NexGuard Lösung bettet während der Projektion Datum, Uhrzeit und den Ort der Vorführung in das Bild und den Ton des Filmes ein und lässt somit ein Zurückverfolgen der Sicherheitslücke zu. Zusätzlich geht sie, die speicherbaren Informationen und das noch mögliche Verwenden der Daten nach einer starken Kompression betreffend, über die **DCI** Spezifikationen hinaus.

10.4.5 Produktion

Während die einzelnen Phasen der Filmproduktion bisher voneinander abgegrenzt waren und der 35mm Film selber als verbindendes Glied zwischen Aufnahme, Schnitt, Farbkorrektur und Produktion anzusehen war, verwischt die Digitaltechnik die Grenzen zwischen den verschiedenen Arbeitsschritten durch einen Wandel von der Chemie zur Informatik.

Die Herstellung basierte bisher auf einem fotochemischen Prozess¹¹¹ (vgl. Abb. 45). Bei der mechanisch-optischen Projektion der Kinokopie, deren Erstellung durch das Generieren von Duplikaten und Inversionen mit Generationsverlusten verbunden ist, bei der diese ungefähr eine Million mal vergrößert wird und mehrere Bilder konstant abgespielt werden, wird dem Rezipienten Bewegung, also ein Abbild der Realität, suggeriert.

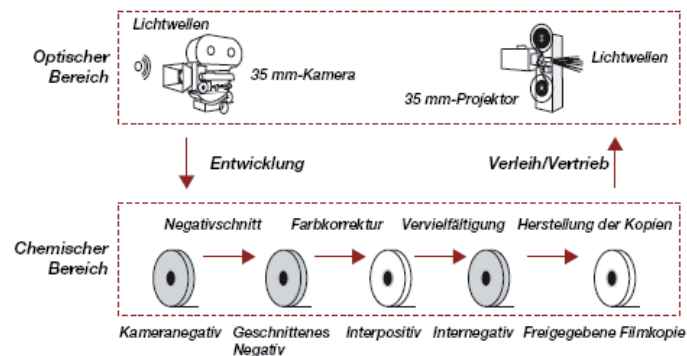


Abb. 45 Analoge 35mm-Produktionskette (Quelle: [48], S.7)

Im Postproduktionsbereich können Bildsequenzen seit Erfindung des nonlinearen Schnitts digital bearbeitet werden. Statt des manuellen Schneidens am Schnitttisch können also zukünftig mit speziellen Softwarelösungen (z.B. „*Avid Film Composer*“, etc.) Bildsequenzen in digitalisierter Form mit niedriger Auflösung per Mausklick verschoben werden (Offline).

Der Postproduktionsprozess wird in eine Online¹¹²- und eine Offline¹¹³-Phase getrennt, wobei der kreative Gestaltungsprozess, aufgrund der hohen Rechenzeiten des Online Schnitts, im Offline in Standarddefinition, also mit hohen Datenreduktionen, durchgeführt werden sollte („*XPress DV*“, „*Final Cut Pro HD*“). Die SD-Daten des Offline müssen dann in das gewünschte Format für den Online angepasst werden. Dadurch bleibt Regisseur und Cutter genug Zeit, sich kreativen Belangen zu widmen.

¹¹¹ Aufnahme und Projektion auf lichtempfindlichen 35 mm-Film

¹¹² Schnittbearbeitung mit hochqualitativen Bildern, die es ermöglichen, direkt die Endqualität zu produzieren. ([19], S.187)

¹¹³ Hier geht es dagegen nur um die Festlegung der Sequenzen anhand von Bilddaten, die stark reduziert sein dürfen, so dass sie einfach zu verarbeiten sind und wenig Speicherplatz belegen. In diesem Sinne erfolgt auch der klassische Filmschnitt im Offline-Betrieb mit Hilfe einer einfachen Schnittkopie, von der eine Schnittliste (EDL) erzeugt wird, die dazu dient, schließlich das hochwertige Material zu montieren. ([19], S.187)

Im noch nicht digitalisierten Bereich wird dann anhand einer EDL („*edit decision list*“) das Negativ manuell im Labor geschnitten. Doch haben sich dank Verwendung neuer Geräte zur Digitalisierung von und erneuter Ausbelichtung auf 35mmFilm neue Möglichkeiten und Perspektiven ergeben.

Erstmals erfolgt die Farbkorrektur (vgl. Abb. 46), welche dem Kameramann und dem Regisseur schier unbegrenzte ästhetische und künstlerische Kontrolle verleiht, digital. Nach dem digitalen Schnitt und der digitalen Farbkorrektur wird heute anschließend ein hochauflösendes digitales Master (DI) hergestellt, von welchem Kopien für den digitalen Kinobetrieb hergestellt werden. Da jedoch Filme zum Großteil noch konventionell projiziert werden, wird zur Herstellung der 35mmFilmkopie der Master auch auf Negative ausbelichtet. (vgl. [48], S.7)

Die Frage nach dem möglichen Qualitätsgewinn durch eine Digitalisierung, wird sich mit ansteigender Rechenleistung der Komponenten und der Speicherkapazität von Festplatten, welche jedoch ihren Preis haben werden, selbst beantworten. Die Aufgabe dabei wird es sein, den besten Kompromiss zwischen gewünschter Qualität und aus der Produktion entstehenden, wirtschaftlichen Zwängen zu finden.

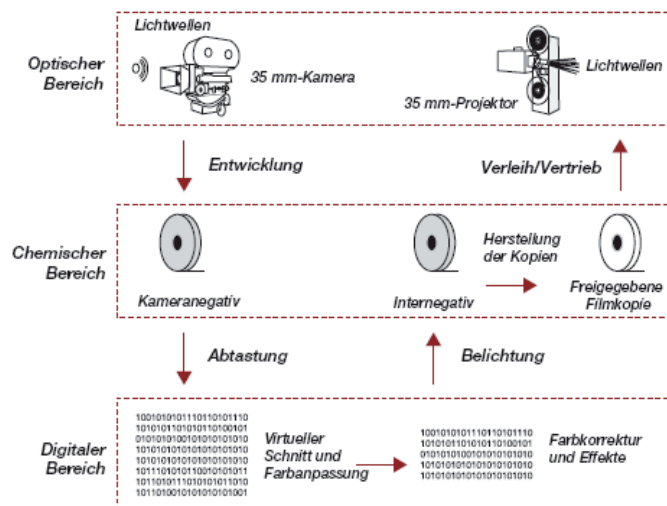


Abb. 46 Analoge 35mm-Produktionskette mit digitaler Farbkorrektur (Quelle: [48], S.8)

Federführend in Deutschland ist das „*Bewegte Bilder Digital Cinema*“, ein Zweig der **Bewegte Bilder Medien AG**, welcher unter Auswahl der DMS-2000-Masteringstation von **Doremi Cinema** den ersten JPEG 2000 D-Cinema Mastering Betrieb aufgebaut hat, so eine im News Archiv der deutschen **FKTG** gepostete Pressemeldung vom 01.07.2006.

„*Bewegte Bilder bietet Transfer und Farbkorrektur von „Digital Intermediates“ und das Encoding/Mastering von DCI-kompatiblen JPEG 2000-Dateien in 2K- und 4K-Auflösung. Außerdem bietet man MPEG-2/MXF-Interop-Encoding an*“, so der Autor. ([41])

In Zukunft wird jedoch die Workflow-Kette eine vollkommen digitale sein, also ein schon erwähnter Paradigmenwechsel von der Chemie zur Informatik die Folge sein (vgl. Abb. 47).

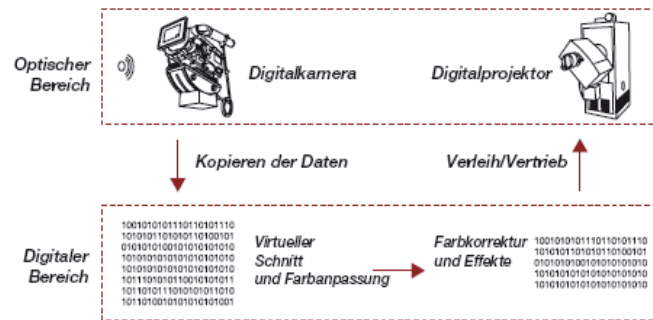


Abb. 47 Vollständig digitaler Workflow (Quelle: [48], S.9)

„So hat **Panavision** mit **Sony** eine neue Kamera mit dem Namen „Genesis“ entwickelt, welche die Bilder auf Bandkassetten mit dem Standard HD Cam SR aufnehmen. **Panasonic** hat eine hochauflösende Kamera entwickelt, die ebenfalls auf Bänder im DVC Pro HD-Format aufnimmt. Diese Kamera, die „Varicam“, ermöglicht es, mit variabler Geschwindigkeit bis zu 60 Bilder pro Sekunde zu drehen. **Thomson** hat ebenfalls eine Kamera entwickelt, die „Viper“, die an einen Videorekorder, eine Festplatte oder direkt an Speicherkarten angeschlossen werden kann. *Collateral* von Michael Mann ist der erste Spielfilm, der mit dieser Kamera gedreht wurde. Auch die deutsche Firma **Arri** bietet eine Digitalkamera an, die „Arri D20“. Zwar werden Kinofilme heute immer noch überwiegend im 35 mm-Format gedreht, jedoch längst bei der Postproduktion digital nachbearbeitet. Die Negative der Kameraaufnahmen werden dabei direkt abgetastet und anschließend in digitale Information umgewandelt.“ ([48], S.8)

Solange jedoch digitale Kameras nicht den typischen Filmlook erzeugen (Auflösung, Tiefenschärfe, etc.) werden Produzenten, auch angesichts einer rein betriebswirtschaftlichen Betrachtung, sich eher verhalten an das digitale Kino annähern. Der Kostendruck könnte jedoch und wird höchstwahrscheinlich mittel- oder langfristig zu einer Migration führen. Durchsetzen werden sich im Endeffekt Verfahren und Werkzeuge mit ökonomischem Potenzial, welche das Umsetzen von Ideen erleichtern und beschleunigen und welche überhaupt von Kreativen verstanden und angewendet werden können. Eine Möglichkeit wären hybride Systeme aus bewährter und fortlaufend verbesserter Technik (z.B. IT).

Doch zuletzt sollte sich ein Kameramann nicht über eine verwendete Kamera, sondern seine Berufung definieren, mittels zur Verfügung stehender Mittel adäquate Bilder zu einer erdachten Geschichte zu finden.

Eine von Michael Gööck, einem gelernten Kameramann und Lichtdesigner, angeführte Anekdote, Henri Cartier-Bresson betreffend, führt diesen Sachverhalt noch etwas näher vor Augen: Anlässlich einer Bilderausstellung soll er nämlich von einer bekannten Autorin gefragt worden sein: „*Das sind wunderbare Bilder; mit welcher Kamera haben sie diese Fotos gemacht?*“ Cartier-Bresson soll erwidert haben: „*Ihr letztes Buch hat mir ausnehmend gut gefallen! Auf welcher Schreibmaschine haben sie es denn geschrieben?!*“ (vgl. [8], S.48)

10.4.6 Distribution

Während digitaler Content in Europa weitestgehend physisch und in diesem Fall in Form von Festplatten an die Kinos geliefert wird, gibt es andere Möglichkeiten der Übertragung, welche neben den Einsparungen die Kinokopien betreffend auch die Logistikkosten minimieren würden, wie zum Beispiel Breitband- und Satellitenübertragung. Um die mögliche Zukunft der Kinokopienverteilung (DCP) zu beleuchten, sei hier ein am 01.07.2006 im News Archiv der **FKTG**¹¹⁴ erschienener Bericht zum Thema „*T-Systems stattet Kinos für digitalen Filmbetrieb aus*“ in voller Länge zitiert:

*„T-Systems baut im größten europäischen Filmtheater, der **UCI Kinowelt Millennium City** in Wien, Lösungen für das Vorführen von digitalen Filmen auf. Das Projekt präsentiert die vollständig integrierte Wertschöpfungskette: vom durchgehend digitalen Verleihprozess für die großen Kinofilme über deren Management im Multiplex-Kino bis zur digitalen Vorführung. Dabei sind auch Trailer, Werbespots sowie weitere alternative Inhalte integrierbar. Die Vorteile der von **T-Systems** entwickelten digitalen Lösung liegen in der offenen Architektur für unterschiedliche Filmformate, die mit deutlich geringeren Kosten verteilt werden können. Die hohe Sicherheit der zum Verteilen verwendeten Übertragungs-, Speicher- und Ausspielsysteme sowie die Bildqualität sind weitere Leistungsmerkmale. Die Leistungen von **Media&Broadcast**, dem Mediendienstleister von **T-Systems**, umfassen das Anbinden des Filmpalasts Millennium City von **UCI** in Wien via Satellit nach Usingen sowie die gesamte Ausspiel- und Verteiltechnik einschließlich Systemmanagement für drei Kinosäle. Das Bereitstellen der speziellen Projektoren und das Verbinden an die Kinotechnik realisiert **Kinoton** mit Sitz in München. Somit können bis zu 1230 Kinobesucher auf Leinwandbreiten bis zu 24 Metern diese neue Technik erleben. Damit wird erstmals eine Lösung kommerziell verfügbar, die zuverlässig den Transport physischer Speichermedien und die damit verbundenen Risiken und Kosten vermeidet und zugleich die betrieblichen Abläufe in einem Multiplex-Kino unterstützt und optimiert. Zeitgleich rüsten **T-Systems** und **Kinoton** auch zwei Säle des Admiral Film Palast in Nürnberg mit identischer Technik aus.*

Lösungen nach DCI Spezifikation: Für Digital Cinema hat **T-Systems** sein Angebot nach der internationalen Spezifikation der **Digital Cinema Initiatives (DCI)** aufgestellt. Zentraler Bestandteil ist dabei die „Digital Cinema FactoryTM“, eine Hard- und Softwarelösung die den gesamten Ablauf für das Verteilen von Kinofilmen abbildet. Dabei erfolgt das Ausspielen der verschlüsselten Filme via Satellit oder andere breitbandige Datenwege zu den Server-Systemen in den Kinos, wo die Filme über speziell erstellte und mit den Signal mitgelieferten Codes für die Vorführung entschlüsselt werden [, sowie die Verteilung der zur Filmausspielung notwendigen KDMs über DSL].“ ([42])



Abb. 48 Arbeitsplatz des „DC-Factory“-Systems
(Quelle: [49])

Über einen schmalbandigen bidirektionalen Kanal erfolgt die Anbindung der „DC Feature FilmTM Kino in-house-Server“ an das System, wobei über ihn Versandvorgänge und Übertragungsergebnisse vorbereitet und überwacht werden. Zudem können statistische Daten zur Übertragung, Stabilität des Systems und Lizenznutzung gesammelt und entsprechend formatierte Berichte erstellt werden¹¹⁵.

¹¹⁴ Fernseh- und Kinotechnische Gesellschaft eV

¹¹⁵ vgl. <http://www.t-systems-mediabroadcast.de/coremedia/generator/www.t-systems-mediabroadcast.com/de/Home/Loesungen/DigitalCinema/property=blogContent/id=164936/2-Digital-Cinema-Flyer-ps.pdf> [49]

11 Experteninterview



Nachdem nun die technischen Herausforderungen und etwaigen zukünftigen Entwicklungen des digitalen Kinos abgeklärt wurden, bleibt noch die letzte offene Frage, den momentanen Entwicklungsstand des digitalen Kinos in Österreich betreffend, zu beantworten. Um das in die Tat umsetzen zu können, wurde ein Interview mit dem in letzter Zeit oft zitierten „Head of Facility Management, IT

↻ *Digital Cinema*“ der Constantin Film Unternehmensgruppe, **Michael Redtenbacher** geführt.

Unter dem Titel „Die neue Kinodimension. CINEPLEXX bringt Digital Cinema nach Österreich“ wurde Ende letzten Jahres die Umstellung einiger Kinos der Constantin Film Unternehmensgruppe auf Digital Cinema Technologie in High Definition Qualität angekündigt. Hat die Digital Cinema Specification der DCI, die am 20.07.2005 fertig gestellt wurde, damit zu tun, dass genau zu dieser Zeit und nicht schon früher der Umstieg geplant wurde, oder hatte es andere Gründe?

Es hatte natürlich auch andere Gründe. Zum einen waren die ersten digitalen Filme überhaupt flächendeckend zu haben, zum anderen hing und hängt natürlich noch das Wechselspiel der **DCI** Norm einerseits und des digitalen „Roll-Outs“ andererseits eng damit zusammen.

Es war bis zur Herausgabe der **DCI** Norm zum Beispiel keine Verbindung zwischen Server und Projektor, sprich CineLink™, verfügbar beziehungsweise möglich. Die Herausgabe der endgültigen Spezifikation hat damals die Umrüstung weiter vorangetrieben.

Heute jedoch ist die Situation schon wieder ein wenig gegenläufig, denn die **DCI** Norm wird in vielen Punkten hinterfragt, da die Norm, die eigentlich keine Norm darstellt, für den alltäglichen Betrieb noch nicht dicht genug beziehungsweise zu allgemein gehalten ist. Natürlich ist dies nicht unbedingt positiv.

Es wird daher sehr viel experimentiert und es gibt sehr viele Wege links und rechts, was letztendlich zur Nicht-Eindeutigkeit der **DCI** Spezifikation als letztgültige Zusammenfassung führt.

Zudem hätte der Umstieg früher natürlich keinen Sinn gehabt, da es, wie bereits erwähnt, noch keine Filme gab.

Es wäre richtig zu behaupten, dass die UCI und andere Gruppen schon früher in diesem Bereich, man denke an George Lucas' Star Wars, tätig waren, es handelte sich jedoch damals noch um 1,3K Projektoren, es war also kein 2K Kino.

Ist die Zahl 7, die Anzahl der Cineplexx-Kinos betreffend, noch eine aktuelle oder sind seit Oktober 2005 weitere Kinos in die Riege der digitalen Kinos aufgenommen worden? Wird in diesen Kinos nur auf jeweils eine oder auf alle Leinwände projiziert?

Die Anzahl stimmt nicht mehr. Es sind mittlerweile 8 **Cineplexx**-Kinos, in denen 12 Projektoren zur Anwendung kommen. Insgesamt gibt es 20 digital (UCI: 3 Bildwände) projizierte Bildwände in ganz Österreich.

AUSTRIA	18 screens		
City	Exhibitor	Projector	Server EVS/XDC
Pasching	Hollywood Megaplex	DLP Cinema 2K	XDC
Pasching	Hollywood Megaplex	DLP Cinema 2K	XDC
Innsbruck	Metropol Multiplex	DLP Cinema 2K	XDC
Innsbruck	Metropol Multiplex	DLP Cinema 2K	XDC
Wien	Cineplexx-Apollo	DLP Cinema 2K	XDC
Wien	Cineplexx-Palace	DLP Cinema 2K	XDC
Wien	Cineplexx-Palace	DLP Cinema 2K	XDC
Wien	Cineplexx-Wienerberg	DLP Cinema 2K	XDC
Wien	Cineplexx-Wienerberg	DLP Cinema 2K	XDC
Linz	Cineplexx	DLP Cinema 2K	XDC
Linz	Cineplexx	DLP Cinema 2K	XDC
Innsbruck	Cineplexx	DLP Cinema 2K	XDC
Salzburg	Cineplexx	DLP Cinema 2K	XDC
Graz	Cineplexx	DLP Cinema 2K	XDC
Graz	Cineplexx	DLP Cinema 2K	XDC
Hohenems	Cineplexx	DLP Cinema 2K	XDC
Regau	Star Movie	DLP Cinema 2K	XDC
*Regau	Star Movie	DLP Cinema 2K	XDC

Abb. 49 XDC-Kinos in Österreich (orange hervorgehobene Kinos sind in Verhandlung) (Quelle: [65])

Abgesehen von den zuvor nicht klar definierten Standards, die Distribution von digitalen Inhalten und deren Projektion betreffend, sind weitere Hürden der Umstellung auf digitale Kinotechnik die hohen Kosten der digitalen Projektionssysteme und zugehöriger Peripherie, die sich betriebswirtschaftlich nur über einen längeren Zeitraum amortisieren würden und die Gefahr bestehender Updatezwänge, welche wiederum zu verkürzten Investitionszyklen führen könnten. Mit dem Finanzierungsproblem einher geht die Entwicklung neuer Businesspläne und Geschäftsmodelle. Wie wurde der Umstieg bei Constantin Film finanziert und gibt es Refinanzierungsstrategien?

Wie Sie wissen, arbeiten wir mit der Firma **XDC**¹¹⁶ zusammen, welche ein recht attraktives Modell (vgl. Abb.50/Abb.51) gefunden hat, die Umstellung zu finanzieren. Es handelt sich hierbei um eine Miet-Kaufvariante, wodurch relativ geringe Erstfinanzierungskosten anfallen.

Leinwand und vollständige Ausrüstung	Miete/monatlich (€)	Gesamtmierte für 5 Jahre (x60) (€)	Wert der Kaufoption (€)	Gesamtpreis XDC Angebot für 5 Jahre (€)	(*) Globale Marktkosten für den Kinobetreiber für 5 Jahre (€)	Nutzen für den Kinobetreiber (€)	Nutzen für den Kinobetreiber (%)
Bis zu 9m & DLP Standard	500	30.000	7.000	37.000	70.000	33.000	47
Bis zu 15m & DLP Cinema™	900	54.000	8.000	62.000	95.000	33.000	35
Bis zu 23m & DLP Cinema™	1.000	60.000	9.250	69.250	105.000	35.750	34

Abb. 50 Vergleich XDC Angebot/Marktpreis (Quelle: [67] , S.7)

¹¹⁶ XDC ist die erste gesamteuropäische Initiative für Filmverleih und Projektion für digitales Kino.

Als Unternehmen der EVS Gruppe (www.evs-global.com) wurde XDC S.A. im Oktober 2004 gegründet. XDC beschäftigt ca. 40 hoch spezialisierte Fachkräfte in den Bereichen Marketing & Vertrieb, Content-Bearbeitung, Produktion, Forschung und Produktentwicklung sowie Projektmanagement und Service.

Neben der Abwicklung und Ausweitung des internationalen Verkaufs von digitalen CineStore Servern, entwickelt XDC das erste Netzwerk digitaler Kinos in Europa. ([67], S.3)

AUSRÜSTUNGSKATEGORIEN	Monatliche Miete	(*) Kaufoptionspreis
Preis exkl. MwSt. / in EUR		
XDC CineStore™ Solo Server für Digitales Kino <i>Anschluss, Anwendersoftware und Zubehör sind in jedem Ausrüstungspaket enthalten</i>		
Kat. A: Leinwand bis 9 m Breite: Standard 6000-7000 Lumen DLP Projektor; Auflösung: 1280 x 1024 oder 1400 x 1050 Pixel	EUR 500	EUR 7.000
Kat. C: Leinwand bis 15 m Breite (**): 2K 12.000 Lumen DLP Cinema™ Projektor (low power); Auflösung: 2048 x 1080 Pixel	EUR 900	EUR 8.000
Kat. D: Leinwand bis 23 m Breite (**): 2K 12.000 (minimum) Lumen DLP Cinema™ Projektor (high power); Auflösung: 2048 x 1080 Pixel	EUR 1.000	EUR 9.250
Anamorphotlinse für Kat. C oder D	EUR 200	EUR 1. --

Abb. 51 Beispiel eines Angebotes für Kinobetreiber (Quelle: [67], S.6)

Natürlich müssen zudem Umbaukosten und ähnliches getragen werden, es muss im Moment ein zweiter Projektor (Filmprojektor) parallel zum digitalen betrieben werden, doch ist das Geschäftsmodell grundsätzlich **XDC**.

[Nachtrag: **XDC** bietet:

- **Logistische Gesamtlösungen für Filmverleiher:**
Content-Aufbereitung, Lieferung, Qualitätskontrolle, Archivierung
- **Ein komplettes Leistungspaket für europäische Kinobetreiber ohne Investitionserfordernis:**
Projektor, Server, Installation, Server-Upgrades, Wartung]

Auf Seiten des Exhibitors gibt es nun, wie schon erwähnt, eine Vielzahl von möglichen Geschäftsmodellen, die eine solche Investition überhaupt möglich und dann refinanzierbar machen. Ein mögliches Modell wäre, dass Distributoren und Studios die entstehenden Kosten übernehmen (was aber die Diktatur der Projektionstechniken-, der Standards und auch des Inhalts bewirken könnte), ein weiteres die Übernahme der Investitionskosten durch neue Marktteilnehmer aus der IT- und Telekommunikationsbranche, und zuletzt statt einer direkten Beteiligung der Investoren an den Kinobetrieben, auch Modelle wie das Leasing von Projektoren, die Miete einzelner Säle oder auch die exklusive Nutzung von Zeitfenstern. Welche alternativen Refinanzierungsstrategien zum **XDC** Modell gibt es?

Es gäbe noch verschiedenste Arten von Finanzierungsmodellen, wie zum Beispiel von **Dolby**; es gibt ja außer dem **XDC** Server noch andere (**AVICA, DOLBY, DOREMI, KODAK, QUVIS** etc.), welche andere Geschäftsmodelle bevorzugen. Zudem gibt es Banken, die dies finanzieren, und auch die IT-Branche, wie es beim **XDC** Modell der Fall ist, trägt das ihre dazu bei.

Die einzelnen Geschäftsmodelle, bei denen das Zusammenspiel einzelner Komponenten nicht so sehr von Bedeutung ist, können kaum hinterfragt werden, da nicht nur die Kommunikation zwischen Verleiher und Kinobetreiber wichtig ist, sondern auch die Aussprache mit externen Firmen.

Die Kopierwerke zum Beispiel, in denen Filmkopien hergestellt werden, werden teilweise auf Play Out Service Center umgestellt, teils übernehmen neue Firmen diese Bereiche, wie zum Beispiel die IT-Branche.

Unter anderem hat die schon lange beim konventionellen Film etablierte Firma **Technicolor** angefangen, die Funktionen digitaler Kopierwerke zu übernehmen, also auch in diesem Bereich Fuß zu fassen, um ihr Überleben und das ihrer Mitarbeiter sichern zu können. Das Kopieren digitaler Master, um eine Vielzahl von komprimierten Kopien für weitere Verwertungskanäle zu erhalten, wird sich hier, ist es doch auch leichter und billiger, eine digitale Kopie im Vergleich zur mit Generationsverlusten behafteten Filmnegativherstellung zu fertigen, in einer anderen, attraktiveren Preislage abspielen.

Inwieweit ist man in dieser Hinsicht offen gegenüber alternativen Nutzungs- und Contentmodellen („Kino mehr als Erlebnisraum denn als bloße „Vorführanstalt““ ([10], S.75)), und spielt Werbung eine wichtigere Rolle? Welche Konzepte gibt es?

Natürlich wird man sich Konzepte überlegen müssen, um die zusätzlich für das Miet- beziehungsweise Leasingmodell anfallenden und uns monatlich belastenden Kosten zu refinanzieren.

Über kurz oder lang wird man sich darüber Gedanken machen, welcher alternative Content zur Verfügung steht und welchen man projizieren kann.

Zurzeit jedoch gibt es, auch auf nationaler Ebene, nicht besonders viel zu diesem Thema, zudem hat sich in diesem Bereich ja auch eher die 1,3K Methode (z.B.: DokuZone, Vincent Lucassen) etabliert. Kinowerbung war der erste Inhalt, den wir digital ausgestrahlt haben, das ist jetzt schon längere Zeit her. Werbung als alternativer Content, beziehungsweise als Refinanzierungsmittel, wird immer wichtiger.

Machen sich die finanziellen Einsparungen der Studios und Distributoren auf Seiten der Kinobetreiber in irgendeiner Form bemerkbar, oder haben diese Einsparungen auf die Kinobetreiber und das Publikum selbst keine Auswirkungen?

Momentan machen sich diese Einsparungen eher weniger bemerkbar. Das ist wohl eines der größten Probleme, aufgrund derer sich der digitale Rollout noch nicht vollkommen vollzogen hat, gibt es doch keine Einigung der Kinobetreiber, Distributoren und Filmverleiher darüber, wer die Kosten zu tragen hat.

Nutzníeßer in dieser Hinsicht ist natürlich der Verleiher, der seine Kopien nun günstiger herstellen und verteilen kann, der wirkliche Verlierer ist hingegen, aus der Sicht des Kinobetreibers, er selbst, da er sich um die Anschaffung und Amortisierung des Equipments selbst kümmern muss.

Könnten die oft staatlich subventionierten Arthouse Kinos¹¹⁷ und vor allem Crossover Kinos¹¹⁸, die sowohl Blockbuster als auch Filme nationaler Auswertung präsentieren, zur Bedrohung für Mainstream¹¹⁹ Kinos werden?

Nein, das denke ich nicht. Es handelt sich hierbei um zwei verschiedene Märkte, die beide ein „*Nischenpublikum*“ ansprechen, wobei das eine größer und das andere kleiner ist. Ich glaube also nicht, dass man von einer Bedrohung sprechen kann, da der Standort in Verbindung mit der Höhe des Publikumsanteils, der sich für solch einen Film erwärmen kann, eine große Rolle spielt.

Sollte man versuchen in, Sankt Pölten ein Arthouse-Filmfestival zu veranstalten, würde man wahrscheinlich scheitern, spielte man jedoch Mainstream und Blockbuster, würde es funktionieren, wenigstens in der Form, dass man ein Kino betreiben könnte.

Erstrebte man eine Kombination aus beidem, würde man zum einen eventuell an die Grenze seiner Kapazitäten gelangen, zum anderen wäre es möglich, dass das Publikum, welches Arthouse-Filme sehen will und eine dementsprechende Kinoliebe mitbringt, ein Kinoflair erwartet oder abverlangt, wofür ein Multiplex eventuell nicht entsprechen könnte.

Es ist aber dennoch durchaus vorstellbar, dass in einem Multiplexkino Arthouse-Filme gespielt werden, um dadurch auch andere Schichten ansprechen und für sich gewinnen zu können. Es gibt zum Beispiel in Deutschland Multiplexe, die sich auf Arthouse spezialisiert haben, da der Markt nach einer Umstellung verlangte. Dies ist jedoch, wie schon erwähnt, sehr von der Einstellung des Publikums abhängig.

Im letzten Jahr haben sich zudem, aufgrund fehlenden Mainstream-Materials, Betreiber überlegt, alternative Dinge („*other digital stuff*“), vielleicht auch Produkte lokalen Ursprungs zu spielen.

Letztendlich glaube ich aber nicht, dass man von einer Bedrohung vom einen für das andere sprechen kann. Auch Institutionen wie Filmcasinos, -museen und ähnliche werden immer einen Platz in der Landschaft haben. Natürlich bietet hier die mit der Digitalisierung einhergehende Erleichterung von Prozessen wie die Filmrestaurierung, Farbbestimmung etc. zudem heute die Möglichkeit Retrospektiven alter Filme, durch deren Retrodigitalisierung¹²⁰ beziehungsweise retrospektiven Digitalisierung, im digitalen Format wiederzugeben, wie es zum Beispiel das Filmmuseum macht. Dadurch werden auch ältere Filme einem breiteren Publikum zugänglich gemacht.

¹¹⁷ Diese Kinos zeigen ethnische, historische oder lokale Filme von kulturellem Wert und werden meist von der Regierung (lokal od. zentral) oder europäischen Initiativen und Programmen subventioniert

¹¹⁸ Diese Kinos zeigen normalerweise die neuesten Blockbuster. Es handelt sich um Familienbetriebe oder Multiplexe, welche von multinationalen Betrieben geführt werden.

¹¹⁹ Diese Kinos sind eine Kombination aus beidem, zu unterschiedlichen Vorführzeiten. Dies ist sehr aufwändig, doch wird möglicherweise die mit dem Digital Cinema einhergehende Flexibilität mehr Kinos zur Umstellung bewegen können.

¹²⁰ Als **Retrodigitalisierung** oder **Retrospektive Digitalisierung** bezeichnet man die Digitalisierung analoger Publikationen (u.a. Printmedien, Filme, Tonbänder). (<http://de.wikipedia.org/wiki/Retrodigitalisierung>)

Was können Sie allgemein zu den Vorteilen und Potenzialen des digitalen Kinos sagen?

Wir haben einen qualitativen Vorsprung, wie zum Beispiel im Tonbereich, wo, im Gegensatz zum konventionellen Film, keine komprimierten oder komprimierenden Verfahren mehr eingesetzt werden müssen.

Auch die Qualität der Farben wird immer besser, was natürlich zum größten Teil mit der Produktion in Zusammenhang steht.

Man bedenke, dass das Kino nur das letzte Glied einer digitalen Produktions- und Wertschöpfungs- bzw. Verwertungskette ist; sollte also die Produktion vollkommen digital vonstatten gehen und sich die digitale Kette bis hin zum Play-Out-Service-Center¹²¹ und zum Kino verlängern, sich also ein einheitlicher Verfahrenslauf beziehungsweise eine Standardnorm einstellen, so wird sich alles aufeinander einstellen.

Solange die Technik jedoch noch „*unscharf*“ und nicht klar definiert ist, man also die Aktualität des Equipments schwer messbar machen kann, wird es schwierig sein, Systeme aneinander anzupassen, da es immer „*Ausreißer*“ geben wird.

Der eigentliche Film, seit über 100 Jahren Standard für die Filmakquisition und Kinoprojektion, hat sich in seiner Form über die Jahre, abgesehen von Verbesserungen der Mechanik, der Präzision der Maschinen, der Qualität der Lichtausbeutung der Lampen und der Fertigung von Spiegeln und Optiken, kaum verändert. Das Abspielen des Filmes folgt seit über 100 Jahren der gleichen Systematik.

Im Vergleich dazu ist das digitale Kino ein vollkommen neues Thema, welches sich einer vergleichsweise jungen Technologie bedient. (Exkurs: 1998 brachte **Texas Instruments** den DLP-Chip heraus [die DMD-Technik wurde schon 1977 erfunden], jedoch in einer, verglichen mit mehreren tausend Filmprojektoren, verschwindend kleinen Anzahl von vorerst 32 Stück.)

Das digitale Kino hat großes Potenzial, vor allem aufgrund der nicht zu unterschätzenden Tatsache, dass die Qualität des auf die Bildwand projizierten Bildes und des ausgegebenen Tons nebst den Eigenschaften des Raumes in dem projiziert wird, zum größten Teil das Kino ausmachen.

Home-Cinema-Komponenten und die „*Vorführranstalt*“ selbst, sind daher also kaum miteinander zu vergleichen, auch wenn versucht wird sie fortlaufend der Kinotechnik anzugleichen. Es besteht nach wie vor ein großer Unterschied, ob man in einem eigens dafür designten Raum mit darauf konzipierter und darauf angepasster Technik Filme projiziert, oder in einem Wohnzimmer oder auch Privatkino, wo die Möglichkeiten, digitales Kino zu spielen, einfach nicht gegeben sind.

Es liegt also noch großes Potenzial in dieser Technik. Man wird den Ton verbessern können, die Anzahl der Lautsprecher, möglicherweise die Anzahl der Kanäle, woran beispielsweise das Fraunhofer

¹²¹ Sie verwalten im Namen der Verleihfirmen die Masterversionen der Filmdateien in hoher Auflösung auf ihren Servern, erweitern sie um Sicherheits- und Lizenzangaben und stellen diese so individualisierten Dateien den Kinobetreibern in Form eines Datenträgers oder als Versanddatei via Satellit oder Breitbandkabel zur Verfügung. ([12], S.231)

Institut arbeitet. Dadurch, dass das Komprimieren von Audiodaten in Zukunft nicht mehr von Nöten sein wird, ist es wahrscheinlich sogar möglich, 12, 16 oder 20 Kanäle zu spielen. Es gibt in dieser Hinsicht auch schon Varianten bei denen der Raumklang erhöht werden soll, was jedoch nicht über elektronische Methoden sondern über die direkte Aufnahme von Klängen bewerkstelligt werden soll. Zudem gehen Varianten in Richtung I-MAX¹²², denn das 3D-Cinema, für das bereits Realverfilmungen in 3D existieren, ist ein weiteres großes Thema. Abschließend bleibt also nur festzustellen, dass das Kino nach wie vor seine Berechtigung hat.

Nun zur Technik: Nachdem ein „*Digital Cinema Distribution Master*“ im Payout-Center mittels DRM-Systemen komprimiert und verschlüsselt worden ist, wird es als „*Digital Cinema Package*“ zu den Kinos transportiert und dort auf einem Server zwischengespeichert. Die Entschlüsselung und Wiedergabe erfolgt entweder auf dem Server, der dann dem Projektor den Film als Datenstrom zur Verfügung stellt (Push-Verfahren) oder direkt im Projektor (Pull-Verfahren). Wie erfolgt die Anlieferung an die Kinos (per Datenträger oder per Breitband-/Satellitenverbindung)?

Momentan arbeiten wir immer noch mit Festplatten, was in der DCI Spezifikation durchaus seine Berechtigung hat, empfiehlt diese doch, möglichst keine Internetanbindung zur Verfügung zu stellen. Zudem verwenden wir im System Engineering nur analoge Leitungen. Will man also auf die Server zugreifen, kann dies nur über diese Leitungen per Einwählverfahren mit Uralt-Modems (56K) erfolgen. All das garantiert, dass der Transport nicht über das Medium Internet vollzogen werden muss, also mögliche Piraterie verhindert werden kann. Natürlich kennt das System viele Feinheiten, wie den digitalen Key, der am Server gespeichert wird, welcher ihn, mit einem Projektor gemeinsam im Cine-LinkTM-Verfahren, nutzt und erst dadurch ein Abspielen möglich macht. Zudem gibt es digitale Signaturen auf den einzelnen Filmen, wodurch sich sehr genau sagen lässt, in welchem Kino welcher Film gespielt wird.

Sollte man versuchen einen Film abzufilmen, gibt es zudem Verfahren wie „*CamJam*“, die dies verhindern sollen, welche jedoch noch nicht ausgereift sind.

Beim eben erwähnten „*CamJam*“-Verfahren wird zum Beispiel der DLP-Chip in Schwingung versetzt (ca. 5000 Mal in der Sekunde). Dadurch wird, durch das Kippen der Spiegel, ein Wechsel zwischen Hell/Dunkel beziehungsweise Weiß/Schwarz hervorgerufen. Die Farbwechsel, zwischen welchen einmal das digitale Bild projiziert wird, sind für das menschliche Auge unsichtbar.

Das digitale Auge jedoch, also die Kamera, erkennt diese Hell/Dunkel-Unterschiede sehr wohl in ihrer Geschwindigkeit und zeichnet dadurch ein verschwommenes, nicht wiederzugebendes Bild auf.

¹²² ist ein von der gleichnamigen kanadischen Firma entwickeltes Kino-System. Es verwendet das größte Filmformat weltweit. Die sich daraus ergebende hohe Auflösung von 40 bis 640 Millionen Bildpunkten ermöglicht Leinwandflächen von 500 m² und mehr in ausgezeichneter Bildqualität. Das Wort "**IMAX**" entstand aus den Worten "Images maximum", was zu Deutsch in etwa "größtmögliche Bilder" heißt. Technisch wird das IMAX-System durch die Verwendung von horizontal geführtem 70-mm-Film realisiert. (<http://de.wikipedia.org/wiki/IMAX>)

Neben dieser Technik gibt es noch, wie bereits erwähnt, optische Wasserzeichen. Hierbei handelt es sich um digitale Signaturen auf den digitalen Kopien, welche im Falle eines Abspielens oder Abfilmens mit abgespielt oder aufgezeichnet werden, jedoch erneut für das menschliche Auge nicht sichtbar sind. Sollte eine abgefilmte Kopie entdeckt werden, lassen sich sehr genaue Rückschlüsse auf Vorführort, Termin und Zeitfenster machen.

Nun zur Anlieferung der Daten an die Kinos: Im Prinzip sind hier sowohl eine Breitband- als auch eine Satellitenverbindung möglich, Breitbandverbindungen sollten jedoch „*Data Streaming*“ ermöglichen, also Datenraten von 10 GB/sec und aufwärts gewährleisten können.

Erste Versuche dazu hat es schon gegeben, wie ein Verfahren in Amerika (**iGrid2005**) (vgl. Abb. 52), bei dem man mit einer 4K-Kamera über breitbandige Internetverbindungen von Japan nach Amerika gestreamt hat.

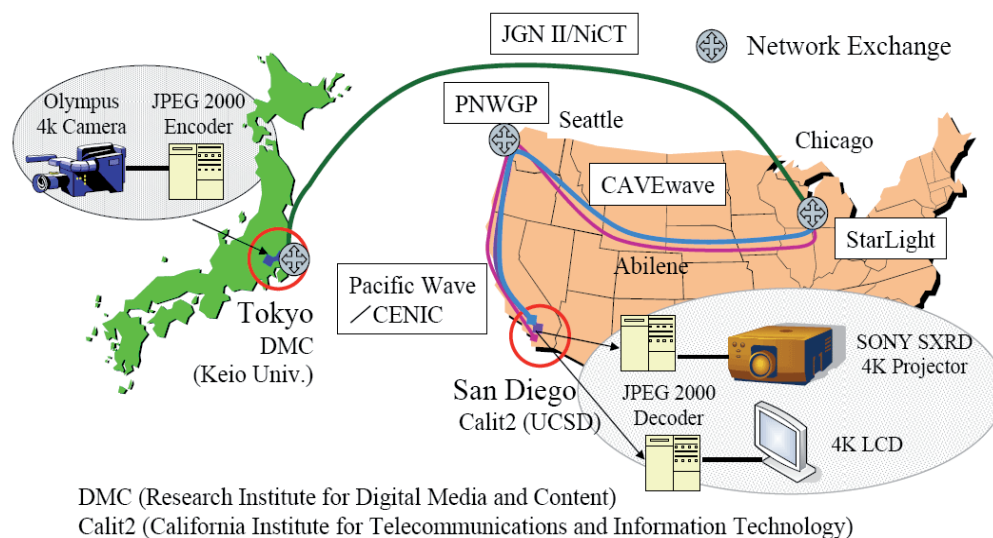


Abb. 52 International Real-Time Streaming 4K Digital Cinema (Quelle: [54])

Wo wird das DCP zwischengespeichert und wie erfolgt die Wiedergabe auf dem Projektor (push/pull)?

Im Moment wird der Content auf einem Server gespeichert und über ein Push-Verfahren an den durch CineLink™ mit ihm verbundenen Projektor gestreamt, ihm also als Datenstrom zur Verfügung gestellt. Die Informationen sind daher nicht am Projektor, sondern definitiv am Server gespeichert.

Schutzverfahren, wie DRM und Watermarking sind auch in der DCI-Spezifikation für D-Cinema von 2005 noch nicht präzise ausgeführt. Wie wird der Inhalt vor Missbrauch (Piraterie) geschützt?

Siehe auch **Seite 120-121**.

Ein DRM-Verfahren an sich gibt es noch nicht, es gibt aber schon einen Vorläufer davon, der eingesetzt wird.

Im Moment wird das Rechtemanagement über einen digitalen Key geregelt, welcher erst die Wiedergabe von Content ermöglicht (asymmetrische/symmetrische Verschlüsselung) und auf den Projektor, den Server und die Festplatte, also das Medium selbst, abgestimmt ist. Der Verleiher bestimmt sogar die Zeit, in der der Content wiedergegeben werden darf.

Und wie sieht es mit „*digital fingerprinting*“ aus, also kinoseitig im Projektor oder Server erstellten Signaturen?

Diese wiedergabeseitigen Verfahren gibt es im Moment noch nicht.

All diese Dinge sind in der DCI Spezifikation angeführt, doch wird nicht näher darauf eingegangen. Zudem hat ja, auf Grund der SMPTE, die Spezifikation nur Empfehlungscharakter, obwohl die DCI selbst ihre Spezifikation als verpflichtend ansieht.

So ist es. Die **DCI** ist ja nur der kleinste gemeinsame Nenner der Major Studios, ihre Spezifikation stellt somit keine Norm dar.

Die Digitalisierung wird ja allgemein als Chance für das Kino gesehen, welches sich gegen immer besser werdende Home-Entertainment-Komponenten und zunehmende Filmpiraterie durchsetzen muss. Ist dadurch eine Aufweichung der Veröffentlichungsstrategie, also der Fensterverwertung, in Richtung „*day-and date-releases*“ zu erwarten?

Diese Strategie ist sehr unwahrscheinlich, sollte das Kino doch erste Auswertungslinie bzw. erster Auswertungsweg bleiben. Neben dem Kino als einzige Ausspielquelle kommt natürlich immer schneller die Auswertung auf der DVD. Ob es jedoch eines Tages Pay-TV mit ganz aktuellen Filmen zum Inhalt gibt, wage ich momentan nicht zu behaupten.

Könnten Sie verwendete Geräte (also Marke, Bezeichnung, Eigenschaften), die Projektions- und Servertechnik betreffend, auflisten? Könnten Sie die zur Anwendung kommende Projektionstechnik näher beschreiben?

Wir verwenden sowohl **Christie CP2000**¹²³ und **Barco DP100**¹²⁴ Projektoren (vgl. Abb. 53), beides 2K Projektoren mit jeweils 3 DLPs.



Abb. 53 CP-2000 Projektor von Christie und DP-100-Projektor von Barco (Quelle: [48], S.21)

Die Servertechnik kommt von **XDC** (vgl. Abb. 54). Im Moment werden MXF-Files verwendet, welche durch ihre Interoperabilität (vgl. Abb. 55) jedoch eine Umstellung des derzeitigen MPEG-2 Formates auf JPEG-2000 ermöglichen. Die MXF-Files bereiten also bereits für weitere Schritte, wie die automatische Bildwiedergabe, Auflösung, usw. vor, denn es wird ja bei XDC bereits daran gearbeitet gegen Ende des Jahres ein richtiges JPEG-2000 verwenden zu können.

CineStore
SOLO G2
MXF Interop



Abb. 54 CineStore Solo G2 ([64], S.1)

¹²³ Der CP 2000 von Christie verwendet genau wie der DP 100 von Barco DLP Cinema-Chips mit einer Auflösung von 2048 x 1080 Pixeln und einer Farbtiefe von 15 Bit. Zwei Modelle sind auf dem Markt, der CP 2000H und der CP 2000i, die sich vor allem in der Leuchtstärke ihrer Lampen unterscheiden (6.000 W beim ersten Modell, 3.000 W beim zweiten). ([48], S.21)

¹²⁴ Der DP 100 war der erste Projektor, der den neuen Chip von Texas Instruments 2K einsetzte, mit einer Auflösung von 2048 x 1080 Pixeln bei einem Seitenverhältnis von 2/1. Das Kontrastverhältnis wurde auf 1750:1 optimiert. Seine Leuchtstärke von 18.000 Lumen ermöglicht es ihm, Bilder auf eine 24 Meter breite Leinwand zu projizieren. Seine Farbtiefe ist ebenfalls 15 Bit. Für dieses Gerät gibt es einen anamorphotischen Vorsatz x 1,25 und x 1,9. Die garantierte Lebensdauer der Lampe beträgt 1.500 Stunden. ([48], S.21)

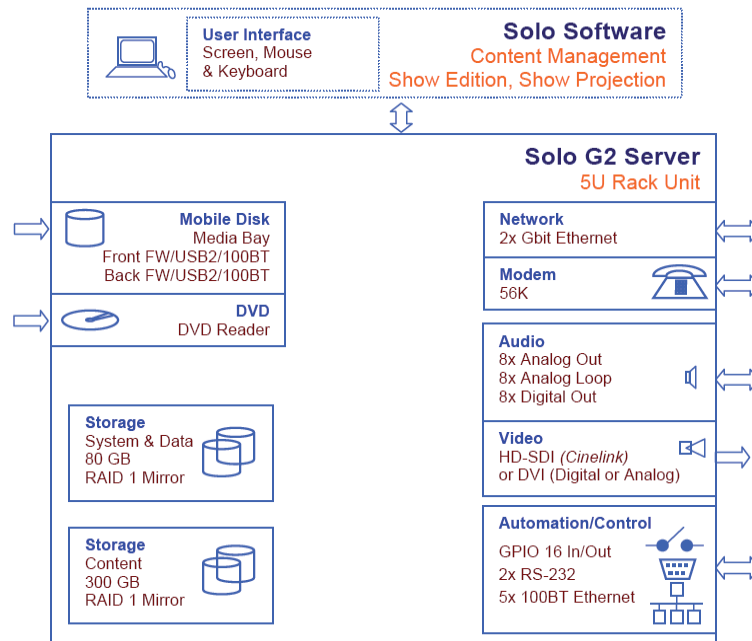


Abb. 55 Konnektivität (Quelle: [64], S.2)

Momentan ist JPEG-2000, und auch nur eine abgespeckte Version davon, nur auf **Doremi**-Servern verfügbar. **FOX Film** Filme wurden auf dieses Format zugelassen, da **FOX Film** nur auf JPEG-2000, also **Doremi** Servern, releasen will.

Eine Umstellung auf JPEG-2000 macht es erst möglich, 4K Content zeigen zu können, da das Format erstmals mit Dateninformationen und vor allem Datenmengen eines solchen Volumens, beziehungsweise Ausmaßes, umgehen kann.

Zwar ist es der Wunsch der DCI, 4K Content zu projizieren, ein entsprechendes, funktionierendes JPEG-2000 Verfahren gibt es jedoch noch nicht. Es gibt zwar ein paar JPEG-2000 Bilder, jedoch keinen vollständigen Film. Aber in diesem Bereich kann sich auf Grund einer schnellen Entwicklung der IT-Branche sehr bald etwas ändern, was es kritisch macht, Voraussagen zu treffen.

Ist man beunruhigt, weil der Digitaltechnik (Projektor, Server,...), im Gegensatz zu der konventionellen Filmtechnik, nachgesagt wird, nach drei bis fünf Jahren obsolet zu sein, obwohl sie zwei- bis dreimal soviel kostet?

Es ist natürlich ein Problem, keine Frage. Es ist heute möglich mit einer 1,3K Projektion auf einer kleinen Leinwand die gleiche Qualität zu erreichen, wie bei einer 2K Projektion. Ist die Bildwand jedoch größer, wir sprechen hier von Bildwänden von 27 oder 28 Metern Größe, so kommt das Pixelungsverhältnis zum Tragen. Dadurch wird die Auflösung immer wichtiger, um eine so genannte Pixelung zu verhindern.

Zum Vergleich: bei konventionellem Film, also auf Zelluloid, beziehungsweise heute auf Polyester, liegt die Auflösung bei 6K bis 8K.

Ich glaube aber nicht, dass die Auflösung in Zukunft ein Thema sein wird, eher werden die Parameter Lichtstärke, Farbechtheit und Tiefenschärfe an Bedeutung gewinnen.

Dass die Technik obsolet werden und ein Vielfaches der konventionellen Filmtechnik kosten wird, ist kaum zu bezweifeln und die Angst davor nicht ganz unbegründet.

Die Updatezwänge betreffend, wird wohl mit der Zeit auf 4K umgestellt werden, obwohl die **DCI**, bei der sowohl die 2K, als auch die 4K Projektion ihre Berechtigung haben, dies offen lässt. Zurzeit ist die 4K Projektionstechnologie jedoch noch nicht serienreif, beziehungsweise wird sie nicht in entsprechend großen Stückzahlen hergestellt [Es gibt aber bereits einen QuVis-Server der in Kombination mit dem Sony SXR4 4K Projektor eine 4K Digital Cinema Projektion ermöglicht.]. Man wird jedoch mit einem Kaufpreis mit jenseits der angesetzten 80.000 bis 90.000 € für einen 2K Projektor rechnen müssen. Es wird sich hier wohl wie bei den Tonformaten verhalten. Zuerst wurde in Mono gespielt, dann in Stereo, hierauf folgten **Dolby A**, **Dolby SR**, **Dolby SR.D**, **SDDS** und ungefähr zeitgleich **dtts**. Mit der Zeit wird also auch die digitale Projektionstechnik ihren Kinderschuhen entwachsen.

Im Bereich des Filmtons ist die Digitalisierung vollständig etabliert, der Ton befindet sich dabei auf dem analogen Filmstreifen (analoge Lichttonspur bei Dolby-SR, digital bei Dolby Digital und SDDS) oder wird separat auf einem Offline-Datenträger ausgeliefert (CD- bzw. DVD-ROM bei dtts). Unter dem Leitmotiv „sound is half the picture“, welches Audiosystem wird hier eingesetzt?

In den Cineplexx Kinos wird hauptsächlich SR.D verwendet, es stehen jedoch alle drei Tonformate (**SR.D**, **SDDS** und **dtts**) zur Verfügung.

Das **SDDS**¹²⁵ Format, auf dem kaum mehr jemand produziert, ist mehr oder weniger out. Mit **dtts**¹²⁶ ist es auch so eine Sache. Zwar wird immer wieder mal auf **dtts** produziert, nur ist dieses Format von den Verleihern, aufgrund einer fehlenden Gewährleistung der Sicherheit, nicht gerne gesehen. Das schon erwähnte **SR.D**¹²⁷ (vgl. Abb. 56) Format hingegen ist im Moment „state of the art“.

¹²⁵ **Sony Dynamic Digital Sound (SDDS)** unterstützt Installationen mit sechs bis acht separaten Tonkanälen; in der Vollausrüstung verfügt ein SDDS-Wiedergabesystem über fünf Front-Kanäle, zwei seitliche Surround-Kanäle und einen LFE-Kanal für tieffrequente Soundeffekte unter 120 Hz; bei der abgespeckten Variante wird die Anzahl der Frontkanäle von fünf auf drei reduziert. Zur Komprimierung der Tondaten wird das proprietäre ATRAC-Verfahren (*Adaptive Transform Acoustic Coding*) verwendet. Die Tondaten werden bei SDDS in zwei optischen Spuren auf dem 35-mm-Filmträger gespeichert und mit zwei CCD-Kameras ausgelesen ([31])

¹²⁶ Das **dtts-Tonsystem** basiert auf einer psychoakustischen Kompression des Tonsignals nach dem *APT-X100*-Verfahren, verwendet mit ca. 1400 kBit/s erheblich höhere Datenraten als *Dolby Digital* und wird aber als höherwertige Alternative zu *Dolby Digital* vermarktet. Im Gegensatz zu DD befindet sich das *dtts*-Tonsignal nicht auf dem 35-mm-Filmträger, sondern auf einer separaten CD-ROM, die mit dem Film durch einen Timecode synchronisiert wird, der sich zwischen der Lichttonspur und dem Filmbild befindet. Ein *dtts*-Dekodiersystem besteht prinzipiell aus einem 386er-PC mit bis zu drei SCSI-CD-Laufwerken sowie zwei speziellen Decoderkarten (*DTS-6 Digital Playback System*, ab 1993); pro CD-ROM können rund 100 Minuten Filmtone gespeichert werden, bei drei Laufwerken ist die maximale Filmlänge daher auf etwa 300 Minuten begrenzt. *dtts* kennt seit 1996 auch einen Effektkanal, über den Geräte wie Stroboskope oder Nebelmaschinen angesteuert werden können. (31)

¹²⁷ 1992 führte Dolby das optische Tonsystem **Dolby Digital (DD, auch: Dolby SR Digital oder Dolby SR-D)** ein, das nach dem 5.1-Prinzip arbeitete: Links, Center, Rechts, Surround links, Surround rechts und ein Tieftonkanal für »low-frequency effects« (LFE). Die Tonsignale von *Dolby Digital* sind im psychoakustischen AC-3-Verfahren (*Adaptive Transform Coder 3*) mit einer Datenrate von 320 kbps komprimiert, das in vom *Advanced Television Systems Committee* in *ATSC A/52 Rev. A* standardisiert wurde. *Kanalkonfiguration*

Bei uns kommt momentan **Dolby EX**¹²⁸ (vgl. Abb. 57) zum Einsatz. Das heißt wir haben vorne ein Frontsystem mit Mitte, Links und Rechts, wobei die Höhen und Mitten getrennt sind, unten Subwoofer¹²⁹ (4 18 Zöller), also Bässe und die nach Links und rechts getrennten Surrounds in 3 Meter Abstand zueinander. Die zusätzliche Surround Mitte wird aus dem linken und rechten Surroundkanal dekodiert.

Bezüglich des Frontsystems wäre auch ein 5-Kanal-Bühnensystem möglich, bei dem eine „*left center*“ und eine „*right center*“ Box dazu kommen. **Dolby ES** hingegen wäre ein **dts**-System mit gleicher Auflösung.

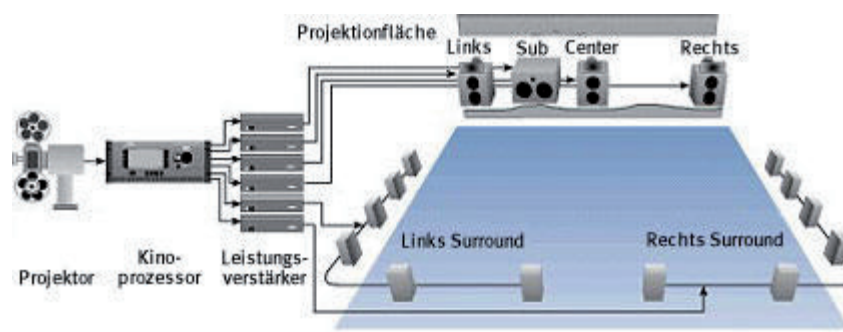


Abb. 56 Kanalkonfiguration bei Dolby Digital. Der komprimierte Digitalton wird zwischen den Perforationslöchern eines 35-mm-Filmträgers zusätzlich zum analogen Lichtton gespeichert; eine spezielle CCD-Kamera liest die Tondaten aus. Im Kino bedeutet 5.1 nicht dasselbe wie im Heimkino: Es gibt nicht nur einen Lautsprecher pro Kanal, sondern – je nach Saalgröße – eine größere Anzahl (Quelle: Dolby Laboratories, Inc.; nach [31])

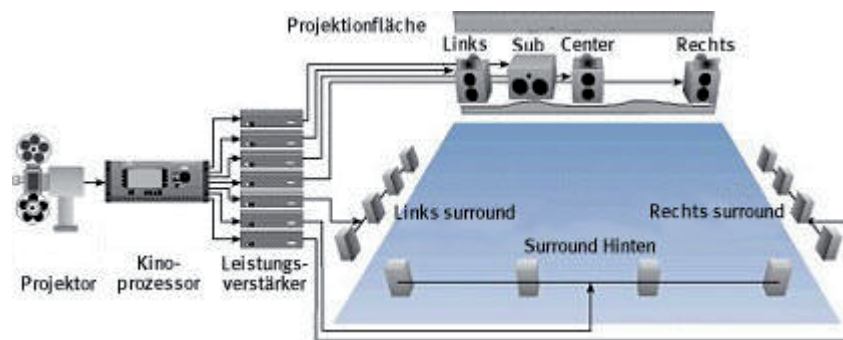


Abb. 57 Kanalkonfiguration bei Dolby Digital Surround EX. Zu den beiden Surround-Kanälen *Surround links* und *Surround rechts* kommt der dritte Surround-Kanal *Surround hinten* hinzu; nach Hersteller-Angaben soll das die Positionierung von Surroundeffekten verbessern (Quelle: Dolby Laboratories, Inc.; nach [31])

Zum Potential 9.1. Man kann sich bis zu 20 Kanäle vorstellen. Man könnte auch die gesamte linke, rechte und hintere Kinowand, das **Fraunhofer Institut** hat hierzu einen Versuch durchgeführt, mit Lautsprechern ausfüllen. Es gibt also, um es kurz zu sagen, noch alternative Varianten.

bei Dolby Digital. Der komprimierte Digitalton wird zwischen den Perforationslöchern eines 35-mm-Filmträgers zusätzlich zum analogen Lichtton gespeichert; eine spezielle CCD-Kamera liest die Tondaten aus. ([31])

¹²⁸ 1998 stellten *Dolby Laboratories* und *Lucasfilm THX* die gemeinsam entwickelte DD-Erweiterung **Dolby Digital Surround EX** vor; gegenüber der 5.1-Konfiguration von Dolby Digital kommt zusätzlich ein dritte Surroundkanal hinzu, was eine präzisere Positionierung von Surroundeffekten wie dem *Vorne-Hinten-Panning* ermöglichen soll. DD Surround EX setzt auf Seite des Kinobetreibers einen *Dolby Digital Surround EX-Dekoder* voraus, sonst ist das System vollständig kompatibel zu 5.1-DD. [31]

¹²⁹ ein spezieller Lautsprecher, der von seiner Konstruktion her für die alleinige Wiedergabe tieffrequenter Schallwellen, dem so genannten Bass, konzipiert ist. **Subwoofer** kommen vorwiegend in Diskotheken, im Kino, in Car-Audioanlagen und als Komponenten von Heimkinoanlagen zum Einsatz (<http://de.wikipedia.org/wiki/Subwoofer>)

Zur Anlieferung des Tons an das Kino ist zu sagen, dass sich dieser unkomprimiert auf der an das Kino gelieferten Festplatte befindet und mit Hilfe eines Kinoprozessors über die Lautsprecher ausgegeben wird.

Wo steht das digitale Kino Ihrer Ansicht nach in 10 Jahren? Wie wird oder könnte sich diese Technik (neue Projektionstechniken, Servertechniken, Breitbandverbindungen und Formate) weiterentwickeln und wird man sich auf Veränderungen einstellen um konkurrenzfähig zu bleiben und um höheren Ansprüchen genügen zu wollen?

Ich denke, dass die nächsten 3 bis 4 Jahre für die Marktdurchsetzung beziehungsweise -durchdringung und deren Ausprägung entscheidend sein werden.

Ich bin mir sehr sicher, dass wir, die Technologie betreffend, noch wesentlich weiter kommen werden. Eine dreidimensionale Projektion im Raum (Hologramm) scheint mir nicht nur bloße Fantasie zu sein. Es gibt ja zudem nicht nur DLP Verfahren, sondern auch andere Projektionstechniken wie die Lasertechnik (z.B.: **Daimler Benz** mit der **Schneider AG**: Festkörperlaser mit 3-Farb-Projektion).

Nun zur Ästhetik der projizierten Bilder: Im Rahmen der Diskussion um die „Ästhetik des digitalen Films“ wird derzeit meistens ein Schwerpunkt gesetzt im Bereich der unterschiedlichen Wirkungen von Filmkorn (»Film-Look«) und Pixel (»Elektronik-Look«)? Wie würden Sie persönlich den Unterschied zwischen digitaler und konventioneller Projektion umschreiben und gibt es bereits Befragungen oder Studien die Rezipienten betreffend?

Natürlich wurden Befragungen durchgeführt, doch erkennt der normale Kinobesucher keinen Unterschied. Viel auffälliger als Filmkorn und Pixelung ist die ungewohnte und im ersten Moment unangenehm auffallende Bildruhe, die auf Grund des Fehlens mechanischer Bewegungen entsteht. Zudem behält der Film auch nach mehrmaligen Abspielen seine Qualität bei, was beim konventionellen Film nicht der Fall ist, da es auf Grund der eben erwähnten mechanischen Bewegungen zu Abnutzungerscheinungen kommt und auch Verschmutzung eine Rolle spielt.

Wie verhält es sich eigentlich beim digitalen Projektor? Der Filmprojektor bedient sich ja einer so genannten Zweiflügelblende, um zum einen den Transport des Materials zu verdecken und zum anderen eine weitere Bewegungsphase pro Bild hinzuzufügen, um die Flimmergrenze zu überschreiten, welche es [Flügelblende] beim digitalen Projektor nicht gibt. Wird dies nachgeahmt?

Meines Wissens nach nicht, aber das kann ich offen gesagt nicht beantworten. Was auf Seiten der Postproduktion passiert, kenne ich nur vom Hören/Sagen.

Eines ist jedoch schon offensichtlich: Die Schwungblende, die den Strang zweimal schneidet und dazwischen immer noch Bewegung erkennen lässt, ein 24stel oder ein 25stel einer Sekunde, fehlt hier. Zudem wurde, und auch das ist, wie schon erwähnt, beim digitalen Projektor kein Thema mehr, durch die mechanische Belastung der Film nach einigen Wiedergaben, durch das Aushaken der Perforation, unrund und unruhig. Nach 3 – 4 Wochen fällt diese Verschlechterung auf, beim Polyesterfilm jedoch nicht so stark wie bei Zelluloid oder bei der Acetatzellulose.

Ein Großteil der Filme wird ja nach wie vor auf Film aufgezeichnet, da Tools zur digitalen Bildakquisition, den Farbraum und Kontrastumfang betreffend, noch nicht an das Medium Film heranreichen. Aus diesem Filmmaterial wird dann am Ende des z.B.: Digital Intermediate Prozesses ein Digital Source Master erstellt. Welcher Prozentsatz an Filmen wird denn ungefähr digital produziert und werden diese in der digitalen Postproduktion mit Filtern dem Filmlook angeglichen (Abstand zur Realität durch Kornrauschen, eigenwilliger Farbgebung und fehlender Bewegungsphasen,..) um den Anforderungen der Sehkonventionen der Rezipienten zu genügen?

Von der Nullkopie, also vom Original, wird über diesen Intermediate Prozess jedes einzelne Bild abgescannt, wodurch man ein unkomprimiertes Master erhält, welches hierauf für die verschiedenen Verwertungskanäle weiterverarbeitet wird.

Was genau in der Postproduktion gemacht wird, vermag ich aber nicht zu sagen.

Den Prozentsatz digital produzierter Filme schätze ich auf 20% (vgl. Abb. 58/Abb. 59), da kann ich aber auch sehr daneben liegen. Es kommen ja momentan auch sehr viele animierte Filme, man denke an „Over the hedge“ und „Pirates of the Carribean II“.

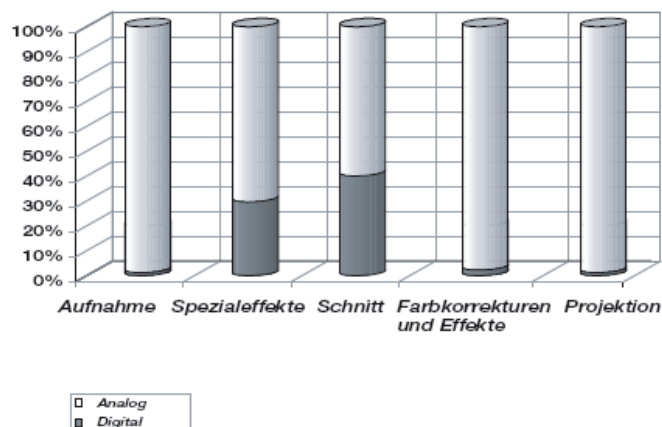


Abb. 58 Der Vormarsch des Digitalkinos in den Bereichen Spezialeffekte und Schnitt im Jahr 2000 (Quelle: [48], S.11)

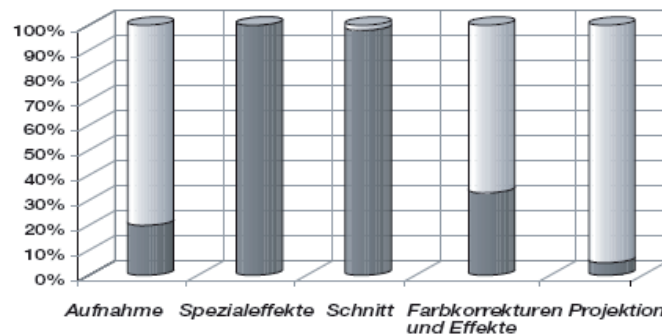


Abb. 59 2005 nimmt der Anteil digital nachbearbeiteter Filme stark zu (Quelle: [48], S.11)

Könnten Sie allgemein etwas zur Lage in Europa erzählen (hier werden ja Film und Kino als kulturelles Gut betrachtet, sodass zahlreiche staatliche und europäische Filmförderungen Filmemacher und Kinos finanziell unterstützen); welche Initiativen gibt es, wie viele Kinos sind bereits auf digitale Technik umgestiegen? Was wird die Zukunft mit sich bringen?

Wie viele Kinos umgestiegen sind oder dies noch tun werden, kann man nicht präzise sagen, da es mit jedem Tag mehr werden. Im deutschsprachigen Raum gibt es circa 250 Installationen, in Belgien und Holland ist die Zahl höher. In Amerika dürfe es auch schon an die 2.000 bis 3.000 Installationen geben.

Nur im Vergleich dazu: Im November 2005 befanden sich 161 2K-Projektoren in Asien, 151 in Europa, das sind jetzt schon wesentlich mehr, 16 in Lateinamerika, 133 in Nordamerika, 3 im ozeanischen Raum und total gab es 464 Kinos mit 606 Bildwänden. Diese Zahlen sind jedoch längst überholt.

An Initiativen gibt es die europäische Filmförderung, die European Cinema, welche auch das Thema aufgegriffen hat und sich auf den Arthouse-Film und Filme anspruchsvolleren Inhalts bezieht. Zudem gibt es die **DCI, XDC, KODAK, DOREMI, BARCO, CHRISTIE, CINEMECHANICA** (arbeitet mit Barco zusammen), **NEC, JPEG 2000 Compressions, DOLBY** etc., also Unternehmen, welche unter anderem Equipment und teils auch Finanzierungsstrategien anbieten.

Was denken Sie, was wird sich in nächster Zeit am ehesten durchsetzen:

- Alles bleibt wie bisher,
- der analoge Film wird qualitativ und technisch verbessert,
- „Hybride Kinos“ mit analoger und digitaler Projektionstechnik werden sich etablieren,
- oder findet eine vollständige Transformation zum digitalen Film statt?

Der vorletzte und der letzte Punkt treffen zu. Es ist momentan einfach nicht anders machbar, als die Umstellung schrittweise zu vollziehen.

12 Resümee

Wie in dieser Arbeit beleuchtet, ist das digitale Kino im Kommen begriffen, doch wird sich der Wandel aufgrund noch zu adressierender Herausforderung, wie eine gewährleistete Interoperabilität, welche Hand in Hand mit dem Erarbeiten von Standards geht, und einer sich wandeln mussenden Preispolitik wohl eher schleppend vollziehen.

Vor allem aufgrund, so Redtenbacher, gegenläufiger Bewegungen, welche die **DCI** Norm betreffen, wird es unerlässlich sein, sich international und branchenweit mit dieser Standardisierungsproblematik auseinanderzusetzen. Diese kommt dadurch zustande, dass die **SMPTE** als letztendliches Standardisierungsgremium gesehen werden muss, und die **DCI** Spezifikation nur Empfehlungscharakter genießt. Sind diese Herausforderungen einmal angenommen und adressierte Bereiche erarbeitet, wird der Wechsel schneller von statten gehen: Eine in dieser Arbeit erwähnte **Screendigest/Goldmedia** (vgl. **Kapitel 1.3, Seite 18; Kapitel 10, S.98**) Studie rechnet ja bis 2010 mit 17.000 digital projizierten Bildwänden weltweit. Die Vision einer vollkommen digitalisierten Produktions- und Wertschöpfungskette (von der Preproduction und Bildakquisition bis zur Postproduktion und Projektion), ist nicht mehr länger nur Vision, sondern technisch bereits realisiert. Nur Bedenken auf Seiten der DOPs, die Kameras und mobilen Speichergeräte betreffend, und natürlich auf Seiten der Kinobetreiber, die mit der Umstellung auf digitales Kino einhergehende Investitionskosten enormen Ausmaßes (120.000 Euro für den Projektor, den Server und die Peripherie) amortisieren müssten und deshalb eine gereifere Technik abwarten wollen, führen zu dieser schleichenden Bewegung.

Letzten Endes jedoch bietet die digitale Verwertungskette eine neue Chance, sich aufgrund der in den vier Bildparameterbereichen verbesserten Wiedergabecharakteristik gegen die Home-Entertainment und „digital TV broadcasting“-Techniken und mit Hilfe verbesserter Sicherheitsmechanismen gegen Filmpiraterie zu wappnen.

In angegliederten Branchen ergeben sich umgreifende Veränderungen (vgl. **Abb. 60**), vor allem im Bereich der Kopierwerke. Diese können jedoch durch eine Umstrukturierung hin zu digitalen Play-Out-Centern und das Umschulen ihrer Angestellten, weiter den Postproduktionsbereich und die Erstellung von Kinokopien abdecken.

Zudem sind Kurierdienste, welche bis jetzt für die Distribution der Kinokopien verantwortlich waren, von der Umstellung auf eine digitale Produktions- und Wertschöpfungskette betroffen.

Vorteile ergeben sich in erster Linie für neue Marktteilnehmer, also vorwiegend Unternehmen aus der Telekommunikations- und IT-Branche, welche neuen Berufsprofilen operativer Art gegenüber stehen, aber auch zumeist durch Forschung und Entwicklung entstandene Kosten amortisieren müssen.

Produktion	Postproduktion	Speicherung und Vervielfältigung	Transport	Verwertung
etablierte Marktteilnehmer				
Produktionshäuser und Studios	Postproduktionshäuser	Distributoren	Distributoren	Kinos
Rollfilmtechnik-Provider	Hardware-Hersteller	Kopierwerke	Spezial-Kurierdienste	Kinoausstatter: Rollfilmtechnik
Rollfilmhersteller	Software-Hersteller			
neue Marktteilnehmer				
HD-Technik-Provider		Playout-Center	Telekommunikationsanbieter	Kinoausstatter: Digitaltechnik
		DRM-Anbieter	DRM-Anbieter	DRM-Anbieter

Abb. 60 Primäre Wertschöpfungskette der Filmbranche ([10], S.85)

Hinsichtlich der Kinoverwertung ist eine Einschätzung schwierig, da die entsprechenden Marktteilnehmer global agierende Konzerne sind, welche aufgrund des Innehabens starker Marktpositionen Einfluss auf Standards und wirtschaftliche Tendenzen haben. Dennoch wird wohl aufgrund fallender Distributionskosten, von denen Produktionshäuser profitieren, und einer Marktöffnung durch alternative Content-Modelle, nicht nur die Produktion, sondern auch die Verwertung von No- und Low-Budget-Filmen zunächst möglich und dann dynamischer und preiswerter werden. Für die Kinobetreiber würde dies tendenziell eine gesteigerte Flexibilität in der Programmgestaltung aufgrund einer größeren inhaltlichen Bandbreite der Kinoprogramme bedeuten

Budgeteinsparungen bei der digitalen Akquisition selber, entstehend durch Kostenverschiebungen, werden vor allem im Bereich niedrig budgetierter Projekte relevant sein, da bei High-Budget-Produktionen eingesparte Mittel für Rohmaterial und Entwicklung kaum ins Gewicht fallen würden. Jedoch ergibt sich, eine gesteigerte Flexibilität und genauere Überwachungsmöglichkeit am Set und eine damit einhergehende Aufweichung der bis dato abgegrenzten Produktionsbereiche.

Ein wesentlicher Fortschritt war das erste Echtzeit Streaming von 4K Digital Cinema Daten, von 26. bis 29. September 2005, wobei die Übertragung zwischen der University of California (San Diego) und der Keio University in Tokio (ca. 15.000 km) über ein „*gigabit Internet Protocol (IP) optical-fiber network*“ erfolgte. Die Studie bewies nicht nur, dass die vernetzte Distribution von 4K Digital Cinema möglich ist, sondern auch die Übertragung alternativen Inhalts auf diesem Wege.

Das digitale Kino wird also kommen, doch ist es eher unwahrscheinlich, dass im Zuge der Umrüstung in naher Zukunft das Medium Film als Produktionsstandard wird ersetzt werden können. Vor allem hybride Prozesse, wie der DI-Prozess, welche es nun ermöglichen, Auflösungs- und Dynamikreserven, des Films, welche durch photochemische Prozesse und die für analoge Kinokopienerstellung typischen Zwischenkopierstufen im Verborgenen blieben, zu erschließen, finden Anklang und lassen trotz eines

Paradigmenwechsels auf Postproduktions- und Verwertungsseite das Aussterben des Mediums Film unmöglich erscheinen. Zudem kann Film, ist er einmal eingescannt, im DI-Prozess entweder wieder auf Film ausbelichtet oder als digitales Master für das digitale Kino weiterverarbeitet werden, was eine digitale Bildakquisition nicht unbedingt notwendig macht.

In einigen Jahren jedoch, wenn digitale Bildakquisition die Möglichkeiten des Medium Films, welcher sich seine Entwicklung betreffend langsam seinem Optimum annähert, übertrifft, wird man sich erneut die Frage stellen, ob es sinnvoll ist das verlässliche und weltweit als Standard anerkannte Format gegen vergleichsweise schnell veraltende Videoformate auszutauschen.

Die Entwicklung des digitalen Kinos als solches basiert, laut Philipp Hahn, wie in seinem Buch „*Mit High Definition ins digitale Kino*“ angeführt, im wesentlichen auf drei Annahmen: Der Durchsetzung des digitalen Kinos als Verwertungsplattform (digitale Projektion), der Umstellung auf HDTV, besonders als Broadcasting-Produktionsstandard und dem dynamischen Umfang der Entwicklung der Informationstechnologie (Festplattenspeicherkapazitäten, Hardware, etc.) gemessen am zeitlichen Verlauf der Entwicklung des digitalen Kinos. Der letzte und wohl signifikanteste damit in Zusammenhang stehende Faktor jedoch, ist die Akzeptanz des Zuschauers. Mit ihm steht und fällt das digitale Kino (vgl. [10], S.96)

Abzuwarten bleibt, ob das digitale Kino wirklich mit den immer besser werdenden Home-Cinema Komponenten konkurrenzfähig bleibt, könnte es doch der Besucher als fehl am Platz ansehen, für eine neue Technologie mehr ausgeben zu müssen, oder überhaupt den Weg ins Kino, aufgrund der eben erwähnten Besserung der Home-Entertainment Anlagen, verschmähen.

Dies wird aber, angesichts der nicht zu unterschätzenden sozialen Komponente (Dates, Treffen, etc.) und der sonst nirgends zu findenden, überlebensgroßen Projektion, welche beinahe das gesamte menschliche Sichtfeld einnimmt und somit ein einzigartiges Erlebnis bietet, höchst wahrscheinlich nicht passieren, da zudem die menschliche Affinität dem Geschichtenerzählen und der visuellen Kommunikation gegenüber eine große und althergebrachte ist.

13 Anhang

13.1 Glossar

2K und 4K: bezeichnen die Auflösung einzeln abgetasteter Rollfilmbilder, sind somit also Abtastformatbezeichnungen. Abhängig vom Bildseitenverhältnis und dem Abtastprozess, umfassen die Begriffe unterschiedliche Bildformate. Im Falle eines Bildseitenverhältnisses von 1:1,66, versteht man unter 2K eine Auflösung von 1828*1100 und unter 4K eine Auflösung von 3656*2200 Bildpunkten. Für das 35mm-Vollformat (open gate) ergeben sich 4096*3112 (4K), bzw. 2048*1556 (2K) Bildpunkte.

AES (Advanced Encryption Standard): ist ein symmetrisches Schlüsselverfahren, das über 128 Bit lange Keys digitalisierte Filme und Prozesse schützen soll

CCD (Charge Coupled Device): Bezeichnung für einen lichtempfindlichen Chip, der in der Videokamera für die Bildaufnahme zuständig ist. Diese Chips werden in CCD- oder CMOS-Bauweise hergestellt. Ein großer Anteil heute verfügbarer HD-Kameras und –Camcorder benutzen 3-Chip-CCD-Systeme mit einem Teilerprisma.

CGI (Computer Generated Imagery): Dieser Sammelbegriff schließt sämtliche, rein digital erstellte, Bilder und Bildteile mit ein, wie z.B. die 3D-Animation.

Christie: ist ein führender Anbieter für visuelle Lösungen. Das Angebot erstreckt sich auf Anwendungen in der Industrie und in den Bereichen Business und Entertainment für weltweit operierende Unternehmen. Seit 1929 sammelt das Unternehmen Erfahrungen mit der Filmprojektion, seit 1979 mit professionellen Projektionssystemen. Christie etablierte dabei einen Ruf als weltweiter Hersteller, bei dem der Anwender eine Vielzahl von Display-Technologien und Lösungen aus einer Hand erhält. Hierbei erstrecken sich die Einsatzgebiete auf die Bereiche Kino, Großbildprojektion, Kontrollraumanwendungen, Präsentationen vor großem Publikum, Geschäftspräsentationen, Trainingseinrichtungen, 3D und Virtual Reality, Simulation, Bildung, Medien und Regierungseinrichtungen. Christie-Lösungen werden an über 75.000 Standorten weltweit eingesetzt, von denen mehr als 10.000 Projektoren und Display-Netzwerke mit ChristieNET™ ausgestattet sind.

CNE (CinemaNet Europe): ursprünglich European DocuZone (EDZ) genannt; ist eine paneuropäische Kino-Initiative. In **Europa** werden Film und Kino als kulturelles Gut betrachtet. Zahlreiche staatliche und europäische Filmförderungen unterstützen Filmemacher und Kinos finanziell. Für Pilotprojekte werden Finanzmittel aus dem MEDIA-Programm der europäischen Union bereitgestellt.

Codec: Hierbei handelt es sich um einen Kompressionsalgorithmus für Videodaten (MPEG-2, DV, H.264). Prinzipiell unterscheidet man zwischen Inter- und Intraframe-Codecs. Während Interframe-Codecs (z.B.: DV) jedes einzelne Videobild nur in sich komprimieren, arbeiten Interframe-Codecs (z.B.: MPEG2) auch über mehrere Videobilder hinweg. Letztere sind daher für digitalen Schnitt nur begrenzt einsetzbar.

Compositing: Hierunter versteht man das Zusammenfügen einzelner Bildteile, wie z.B. 3D-blue beziehungsweise greenscreen-Aufnahmen. Man filmt zum Beispiel einen Schauspieler vor blauem Hintergrund, entfernt mittels eines Chroma Keys das Blau und setzt das gewünschte Bild dahinter. Bei der Arbeit mit Rollfilm wird dabei zunächst das Filmkorn digital entfernt (Degrain), dann werden die verschiedenen Ebenen zusammengeführt und schließlich künstliches, digitales Filmkorn hinzugefügt (regrain). So verschmelzen der Hintergrund und der Vordergrund besser miteinander.

D-ILA (Direct Drive Image Light Amplifier): eine von JVC produzierte Projektionstechnik

DLP (Digital Light Processing): bezeichnet eine von Texas Instruments entwickelte Projektionstechnologie, die von zahlreichen vertraglich bestimmten Projektorherstellern, wie Barco oder Christie, verwendet wird. Das besondere an dieser Technologie ist der Einsatz so genannter DMDs (Digital Mirror Devices), die,

für jede Grundfarbe getrennt, aus über einer Million mikroskopisch kleiner Spiegel besteht, mittels derer das Bild auf die Leinwand projiziert wird.

FAZ (Filmaufzeichnung): Beim FAZen werden Videobilder (bzw. digitale Bilder) auf 35mm- oder 70mm-Film ausbelichtet.

FFA (Filmförderungsanstalt): Die FFA ist eine Bundesanstalt des öffentlichen Rechts, erhebt von Filmtheaterbetreibern und Videoprogrammanbietern eine Filmabgabe (jährlich rund 70 Mio. €) und fördert damit den deutschen Film.

FTT: hat ihren Hauptsitz in Düsseldorf. Als Familienunternehmen mit 45-jähriger Tradition begann die FTT ihre Geschäftsaktivitäten im konventionellen 35mm-Bereich. In den 90er Jahren hat sich das Unternehmen von einem nationalen zu einem internationalen Partner mit Tochtergesellschaften u.a. in Polen und den Niederlanden entwickelt. Seit über fünf Jahren ist FTT nun auch im Bereich E- und D-Cinema tätig und hat sich ferner als Systemhaus etabliert.

Gamma: Unter Gamma (auch Gradation) versteht man das logarithmische Verhältnis zwischen Bild- und Objektkontrast, also das Kontrastverhältnis zwischen Eingabe (natürliches, beleuchtetes Objekt bzw. Eingangssignal) und Ausgabe (Film/Video bzw. Ausgangssignal). Ist dieser Wert gleich eins, so wird der Objektkontrast im Ausgabebild unverändert wiedergegeben; bei Werten kleiner als eins erscheint das Ausgabebild im Kontrast eher flau, bei Werten größer als eins dagegen eher hart.

HDSDI und SDI (Serial Digital Interface): bezeichnen digitale Daten-Übertragungsstandards für Videosignale. Mit HDSDI können auch HD-Daten übertragen werden.

Hybrid-Kino: Dieser Ausdruck bezeichnet ein Kino, welches parallel sowohl mit digitaler, als auch analoger Kintotechnik ausgestattet ist.

ITU (International Telecommunication Union): Die ITU ist eine Unterorganisation der Vereinten Nationen. Ihre Aufgabe ist die Regulierung, Standardisierung, Koordination und Entwicklung der internationalen Kommunikation.

JPEG (Joint Photographics Experts Group): ist ein 1986 gegründetes Gremium der International Telecommunication Union (ITU), welches im September 1992 standardisiertes Verfahren zur sowohl verlustbehafteten, wie verlustfreien Kompression von digitalen Bildern. JPEG (kurz JPG) ist das im Web am weitesten verbreitete Grafikformat für Fotos. Nachfolgeprojekte des Gremiums sind JBIG (Bilevel Images, Schwarzweißzeichnungen) und JPEG-2000 (bessere Kompression, viele sinnvolle Features), die sich aber zumindest bis jetzt nicht durchsetzen konnten.

Kinoton: ist einer der weltweit führenden Hersteller von Geräten und Systemlösungen für die Bearbeitung und Wiedergabe von Film und digitalem Bildmaterial mit mehr als 160 Mitarbeitern. Innovative Entwicklungen, basierend auf jahrzehntelanger Erfahrung in der Projektions- und Audiotechnik, und die Zusammenarbeit mit der Partnerfirma DVC Digitalvideo GmbH im Bereich Servertechnologien garantieren professionelle Technik und überzeugende Produkte.

MXF (Material Exchange Format): ein Dateiformat für digitales Video, das den Austausch audiovisueller Dateien und Metadaten erleichtern soll.

MPEG (Motion Picture Experts Group): ist eine Industrievereinigung, die sich mit der Standardisierung von Videokompression beschäftigt und z.B. den DVD-Standard entwickelt hat.

Offline-Schnitt: Hierunter versteht man einen Schnitt in verminderter Bildqualität. Ist dieser vollbracht, wird anhand der Timecode-Angaben (z.B. einer EDL) das benötigte Originalmaterial in voller Qualität eingelesen (Online). Diese Vorgehensweise spart vor allem Speicherplatz und Rechenleistung, und dadurch auch Zeit.

Online-Schnitt: Unter Online-Schnitt versteht man die Videobearbeitung in voller Bildqualität. Sie erfolgt meist am Ende des Schnitts zur Fertigstellung.

SXRD (Silicon X-tal Reflective Display): ein hochauflösendes (4K) Projektionssystem aus dem Hause Sony

XDC-Group: Mit fast 40 Mitarbeitern in Lüttich (Belgische Firmenzentrale), wurde XDC als neues Mitglied der EVS_Group im Jahr 2004 gegründet. Der Konzern, der mehr als 150 Mitarbeiter weltweit mit Hauptgeschäftsstellen in Lüttich, Hongkong und New York hat, stieg im Jahre 2000 in den Bereich Digital Cinema ein. Zusammen mit der Übernahme und Expansion des weltweiten Verkaufs der CineStore™ Produktfamilie von Digital Cinema Servern und verleihbezogenen Mastering & Vervielfältigungstätigkeiten, nutzt XDC das größte pan-europäische Digital Cinema Netzwerk vollfinanzierter und konformer Digital Cinema Projektoren und Servern. XDC bietet umfassende Logistikleistungen für Verleiher, inklusive Content-Aufbereitung, Lieferung, Qualitätskontrolle und Archivierung. Eine Komplettlösung, die keine Investitionen erfordert, ist auch für europäische Kinobetreiber erhältlich: Projektor, Server, Installation und Wartung. Das XDC-Angebot bietet Verleihern und Kinobetreibern ein rationelles und kostenneutrales Upgrade-Konzept, um in den Genuss aller Vorteile von Digital Cinema zu kommen.

13.2 Schlüsseldaten zu Produktion und Verleih digitaler Filme ([48])

1990	"Dick Tracy": Erster Film mit digitalem Ton
1992	"Batmans Rückkehr": Erster in Dolby Digital hergestellter Film
1992	"Jurassic Park": Erster Film, der das DTS-Verfahren einführt
Juni 1999	"Star Wars: Episode 1": wurde ausschließlich digitalisiert an vier Kinos in den USA (2 JVC, 2 TI) vertrieben
1999	Vertrieb der Zeichentrickfilme von Disney "Toy Story 2", "Tarzan", "Dinosaurs".
Februar 2000	Erste Digitalprojektion in Paris im Gaumont Aquaboulevard: gezeigt wurde "Toy Story 2" (Größe der Leinwand: 15,4 x 8,3 m)
2001	"Vidocq" von Pitof, weltweit erster Kinofilm, der vollständig digital gedreht und geschnitten wurde (wenige Wochen vor "Star Wars : Episode II")
Festival von Cannes 2002	"Dancer in the Dark", zum ersten Mal erhält ein Film, der ohne analoge Filmtechnik gedreht wurde, die Goldene Palme.
Februar 2004	"The Last Samurai" ist der 100. Spielfilm, der digital vertrieben wird
März 2004	"Collateral" von Michael Mann, erster Kinofilm, der hauptsächlich mit der Digitalkamera "Viper" von Thomson gedreht wurde
2004	"Zwei Brüder" von Jean-Jacques Annaud wird mit der HD-Cam "Cinealta" gedreht
2004	"Les gens honnêtes vivent en France" von Bob Decout: erster Spielfilm, der mit der HD-Kamera "Varicam" von Panasonic gedreht wurde
September 2004	Sony stellt seinen ersten 4K-Projektor vor
November 2004	"Saraband", letzter Film von Ingmar Bergman, mit HD-Cam gedreht und ausschließlich digital vertrieben (DLP).

13.3 Abbildungsverzeichnis

Abb.1 Begriffsbestimmung von E-Cinema und D-Cinema	13
Abb. 2 D-Cinema Konzept nach SMPTE DC28.....	22
Abb. 3 Die ARRI D-20 Digitalkamera und deren Blockschaltbild.....	31
Abb. 4 Release printing workflow	34
Abb. 5 Intermediate elements workflow	35
Abb. 6 Die digitale Kinokette nach Ordway 2005.....	39
Abb. 7 Systemelemente des digitalen Kinos	40
Abb. 8 Randall Dark's HD Vision Studios (links), Dolby Laboratories Screening Room	41
Abb. 9 Formatumwandlungen.....	42
Abb. 10 Mastering- und Distributionsprozess des digitalen Kinos	44
Abb. 11 Traditioneller Masteringprozess.....	45
Abb. 12 Der Digital Intermediate-Prozess.....	45
Abb. 13 Der Filmscanner ARRISCAN und der CELCO FURY 4K Digital Film Recorder.....	46
Abb. 14 Produktionskette zum DI.....	47
Abb. 15 Beteiligung der Verwertungskanäle an den Einnahmen (links) und der ihnen verbleibende Wert.....	48
Abb. 16 Intra-frame compression	57
Abb. 17 Inter-frame compression.....	58
Abb. 18 Blockbildung und Transformation der Blockwerte	59
Abb. 19 Wavelet.....	60
Abb. 20 Prozessübersicht DRM	66
Abb. 21 Sicherheitsarchitektur beim digitalen Kino	70
Abb. 22 Ingest Process.....	71
Abb. 23 Single Theatre System.....	72
Abb. 24 Multiplex System.....	73
Abb. 25 Multiplex System mit Beteiligung Dritter	74
Abb. 26 Erstellung eines DCDM.....	75
Abb. 27 Produktionsphasen	76
Abb. 28 Digitale Distribution.....	78
Abb. 29 SXR-D-Aufbau.....	84
Abb. 30 Sonys SRX-R110-Projektor (links) und SXR-D-Matrix.....	85
Abb. 31 DMD-Matrix (links) und matrixförmige Spiegel des DMD-Chips.....	86
Abb. 32 Grundschema der Projektoren tri_DMD von Texas Instruments	86
Abb. 33 CIE-Diagramm mit dem für das menschl. Auge sichtbaren Farbspektrum (+HDTV, DLP-Cin.)	91
Abb. 34 Interoperabilität auf Systemlevel	93
Abb. 35 Media-Block Funktionsdiagramm	94
Abb. 36 Broadcast Model	95
Abb. 37 Datacentric Model.....	95
Abb. 38 Preprocessing Model.....	96
Abb. 39 Prinzip D-Cinema nach DCI	102
Abb. 40 Ablauf nach DCI.....	103
Abb. 41 2-Server-Betrieb	103
Abb. 42 Virtuelle Schallquelle.....	106
Abb. 43 Kinosaal.....	106
Abb. 44 VI-HD mit Jpeg2000-Format.....	108
Abb. 45 Analoge 35mm-Produktionskette.....	110
Abb. 46 Analoge 35mm-Produktionskette mit digitaler Farbkorrektur	111
Abb. 47 Vollständig digitaler Workflow.....	112
Abb. 48 Arbeitsplatz des "DC-Factory"- Systems.....	113
Abb. 49 XDC-Kinos in Österreich	115
Abb. 50 Vergleich XDC Angebot/Marktpreis.....	115
Abb.51 Beispiel eines Angebotes für Kinobetreiber.....	116
Abb. 52 International Real-Time Streaming 4K Digital Cinema	121
Abb. 53 CP-2000 Projektor von Christie und DP-100-Projektor von Barco.....	123
Abb. 54 CineStore Solo G2	123
Abb. 55 Konnektivität.....	124
Abb. 56 Kanalkonfiguration bei Dolby Digital.....	126
Abb. 57 Kanalkonfiguration bei Dolby Digital Surround EX.....	126
Abb. 58 Der Vormarsch des Digitalkinos in den Bereichen Spezialeffekte und Schnitt im Jahr 2000.....	128
Abb. 59 2005 nimmt der Anteil digital nachbearbeiteter Filme stark zu	129
Abb. 60 Primäre Wertschöpfungskette der Filmbranche	131

13.4 Literaturverzeichnis

- [1]. **Antonellis, D. (2005):** *Digital Cinema Distribution*; in: Swartz, Charles S. (Hg.): *Understanding Digital Cinema. A Professional Handbook*; USA: Focal Press; S.207-225
- [2]. **Bürcher, M. (2005):** *Lichtbestimmung*; in: Hahne, M. (Hg.): *Das digitale Kino. Filmemachen in High Definition mit Fallstudie*; Deutschland: Schüren Verlag GmbH; S.64-69
- [3]. **Carey, C. (2005):** *Security and Packaging*; in: Swartz, Charles S. (Hg.): *Understanding Digital Cinema. A Professional Handbook*; USA: Focal Press; S.179-181
- [4]. **Carey, C.; Lambert, B.; Kinder, B.; Kennel, G. (2005):** *The Mastering Process*; in: Swartz, Charles S. (Hg.): *Understanding Digital Cinema. A Professional Handbook*; USA: Focal Press; S.83-119
- [5]. **Cowan, M.; Nielsen, L. (2005):** *Projection*; in: Swartz, Charles S. (Hg.): *Understanding Digital Cinema. A Professional Handbook*; USA: Focal Press; S.227-256
- [6]. **Flückiger, B. (2005):** *Das digitale Kino: Eine Momentaufnahme*; in: Hahne, M. (Hg.): *Das digitale Kino. Filmemachen in High Definition mit Fallstudie*; Deutschland: Schüren Verlag GmbH; S.130-153
- [7]. **Föbel, S. (2004):** *Bilderstrom – Datenstrom: Aufzeichnungsverfahren für eine digitale Filmkamera*; in: Slansky, Peter C. (Hg.): *Digitaler Film – digitales Kino*; Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH; S.143-159
- [8]. **Gööck, M. (2004):** *Sieben Versuche eines Kameramannes, sich dem digitalen Zeitalter zu nähern*; in: Slansky, Peter C. (Hg.): *Digitaler Film – digitales Kino*; Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH; S.39-48
- [9]. **Gröning, P. (2005):** *HD-Dokumentarfilm: Technik und Ästhetik*; in: Hahne, M. (Hg.): *Das digitale Kino. Filmemachen in High Definition mit Fallstudie*; Deutschland: Schüren Verlag GmbH; S.36-41
- [10]. **Hahn, P. (2005):** *Mit High Definition ins digitale Kino. Entwicklung und Konsequenzen der Digitalisierung des Films*; Deutschland: Schüren Verlag GmbH
- [11]. **Hahne, M. (2005):** *Hello Pixel, Good-Bye Grain!*; in: Hahne, M. (Hg.): *Das digitale Kino. Filmemachen in High Definition mit Fallstudie*; Deutschland: Schüren Verlag GmbH; S.15-19
- [12]. **Hundsdörfer, B.; v. Staden, I. (2004):** *Die digitale Zukunft der Kinobranche*; in: Slansky, Peter C. (Hg.): *Digitaler Film – digitales Kino*; Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH; S.225-251
- [13]. **Karagosian, M. (2005):** *Theatre Systems*; in: Swartz, Charles S. (Hg.): *Understanding Digital Cinema. A Professional Handbook*; USA: Focal Press; S.257-278
- [14]. **Kodak GmbH Stuttgart, Geschäftsbereich Entertainment Imaging (2004):** *Digitales Kino – von der Szene auf die Leinwand*; in: Slansky, Peter C. (Hg.): *Digitaler Film – digitales Kino*; Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH; S.161-177
- [15]. **Kornacher, H. (2004):** *Technologische Entwicklung von nonlinearer Schnitt, Visual Effects und Computercanimation*; in: Slansky, Peter C. (Hg.): *Digitaler Film – digitales Kino*; Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH; S.187-209
- [16]. **Kraus, F. (2004):** *Wie werden Filme morgen und übermorgen gedreht?*; in: Slansky, Peter C. (Hg.): *Digitaler Film – digitales Kino*; Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH; S.73-92
- [17]. **McKernan, B. (2005):** *Digital Cinema. The Revolution in Cinematography, Postproduction, and Distribution*; USA: McGraw-Hill Companies, Inc.
- [18]. **Messerschmid, U. (2004):** *HDTV und digitaler Film – ein gemeinsamer Weg in die Zukunft?*; in: Slansky, Peter C. (Hg.): *Digitaler Film – digitales Kino*; Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH; S.59-71

- [19]. **Schmidt, U. (2002):** *Digitale Film- und Videotechnik*; Deutschland: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag
- [20]. **Schumann, R. (2005):** *Security and Packaging*; in: Swartz, Charles S. (Hg.): *Understanding Digital Cinema. A Professional Handbook*; USA: Focal Press; S.149-179
- [21]. **Silverman, L. (2005):** *The New Post Production Workflow: Today and Tomorrow*; in: Swartz, Charles S. (Hg.): *Understanding Digital Cinema. A Professional Handbook*; USA: Focal Press; S.15-56
- [22]. **Slansky, Peter C. (2004):** *Film-Look versus Elektronik-Look – Zur Anmutung des projizierten Bildes*; in: Slansky, Peter C. (Hg.): *Digitaler Film – digitales Kino*; Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH; S.93-121
- [23]. **Slansky, Peter C. (2004):** *Geschichte und Technologie des bewegten Bildes*; in: Slansky, Peter C. (Hg.): *Digitaler Film – digitales Kino*; Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH; S.15-37
- [24]. **Slansky, Peter C. (2004):** *Projektionsverfahren für das Kino der Zukunft*; in: Slansky, Peter C. (Hg.): *Digitaler Film – digitales Kino*; Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH; S.271-286
- [25]. **Symes, P. (2005):** *Compression for Digital Cinema*; in: Swartz, Charles S. (Hg.): *Understanding Digital Cinema. A Professional Handbook*; USA: Focal Press; S.121-148
- [26]. **Westerkamp, D. (2004):** *Standardisierung für das digitale Kino*; in: Slansky, Peter C. (Hg.): *Digitaler Film – digitales Kino*; Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH; S.253-270

Zeitschriften

- [27]. **Baumeister, C. (2006):** *"Das Kino von morgen"*; in: SFT (Spiele-Filme-Technik); Ausgabe 06/2006; S.32f.

Internetrecherche

- [28]. **ARRI-Redaktion (2006):** *"ARRISCAN"*; Produktbroschüre; online: http://www.arri.com/prod/digital/arriscan/downloads/2006_04_ARRISCAN_Brochure.pdf (07.08.2006)
- [29]. **Buchholz, Agon S.(2005):** *"Geschichte und Entwicklung der Digitalisierung von Kino und Film: 1970er Jahre"*; online: <http://www.kefk.net/Film/D-Cinema/Geschichte/1970er/index.asp> (dynamisch; 02.04.2006)
- [30]. **Buchholz, Agon S.(2005):** *"Geschichte und Entwicklung der Digitalisierung von Kino und Film: 1980er Jahre"*; online: <http://www.kefk.net/Film/D-Cinema/Geschichte/1980er/index.asp> (dynamisch; 02.04.2006)
- [31]. **Buchholz, Agon S.(2005):** *"Geschichte und Entwicklung der Digitalisierung von Kino und Film: 1990er Jahre"*; online: <http://www.kefk.net/Film/D-Cinema/Geschichte/1990er/index.asp> (dynamisch; 02.04.2006)
- [32]. **Buchholz, Agon S.(2005):** *"Geschichte und Entwicklung der Digitalisierung von Kino und Film: 2000er Jahre"*; online: <http://www.kefk.net/Film/D-Cinema/Geschichte/2000er/index.asp> (dynamisch; 04.04.2006)
- [33]. **Christie-Redaktion (2006):** *"DigiMedia Post Production"*; online: http://www.christiedigital.com/recentInstallations/digitalCinema/dolbyLabs/dolby_christie.pdf (06.08.2006)
- [34]. **Cinea-Redaktion (o.J.):** *"Optical Technology Combats. In-Theater Piracy"*; online: <http://www.cinea.com/optical.html> (30.06.2006)
- [35]. **Cinefacts-Redaktion (2005):** *"Himmel und Huhn in Disney Digital 3D"*; Pressemeldung; online: <http://www.cinefacts.de/kino/db/filmdetails.php?id=18586&ab=10> (30.06.2006)

- [36]. **DCI (2005):** "DIGITAL CINEMA INITIATIVES (DCI) ANNOUNCES FINAL OVERALL SYSTEM REQUIREMENTS AND SPECIFICATIONS FOR DIGITAL CINEMA"; Pressemeldung vom 27.07.2005; online: <http://www.dcmovies.com/press/07-27-05.tt2> (18.04.2005)
- [37]. **DCI (2005):** "Digital Cinema System Specification V1.0"; DCI Spezifikation vom 20.07.2006; online: http://www.dcmovies.com/DCI_Digital_Cinema_System_Spec_v1.pdf (18.04.2006)
- [38]. **DCinemaToday-Redaktion (2006):** „Thomson Watermarking Solution Adopted By Leading Server Companies Top D-Cinema Manufacturers Choose NexGuard™ to Combat Piracy“; Pressemeldung vom 16.08.2006; online: <http://www.dcinematoday.com/dc/PR.aspx?newsID=595> (20.08.2006)
- [39]. **Europa Cinemas (2005):** "About Europa"; online: http://www.europa-cinemas.org/en/infos_europa/index.php (24.07.2006)
- [40]. **FilmDaily.de-Redaktion (2006):** „Kodak setzt 3D Digital Cinema Installationen fort“; Pressemeldung vom 29.07.2006; online: <http://www.productionportal.de/index.php?area=1&p=news&newsid=65> (20.08.2006)
- [41]. **FKTG-Redaktion (2006):** "Erster DCI JPEG2000 D-Cinema-Masteringbetrieb"; Pressemeldung vom 01.07.2006; online: <http://www.fktg.de/newsprint.php?ID=4278> (03.07.2006)
- [42]. **FKTG-Redaktion (2006):** "T-Systems stattet Kinos für digitalen Filmbetrieb aus"; Pressemeldung vom 01.07.2006; online: <http://www.fktg.de/newsprint.php?ID=4275> (03.07.2006)
- [43]. **hdexpo.net-Redaktion (2006):** "RANDALL PARIS DARK - Co-Founder, President HD Vision Studios, Inc."; Biografie von Randall Dark; online: <http://www.hdexpo.net/petersen/petersenBios.html> (06.08.2006)
- [44]. **Jurran, N. (2004):** "Mit PirateEye auf der Jagd nach Videopiraten"; Pressemeldung vom 11.11.2004; online: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/53169> (30.06.2006)
- [45]. **Kefk-Redaktion (2005):** "Schutzverfahren beim digitalen Film"; Eintrag vom 05.12.2005; online: <http://www.kefk.org/portal/schutzverfahren.beim.digitalen.film> (30.06.2006)
- [46]. **Kefk-Redaktion (2005):** "Prognosen zur Zukunft des Films"; online: <http://www.kefk.net/Film/Zukunft/Prognosen/index.asp> (dynamisch; 10.06.2006)
- [47]. **Kohlen, M. (2004):** "'PirateEye' erkennt Camcorder und Videobandys in Kinos"; Pressemeldung vom 10.11.2004; online: <http://testticker.de/pcpro/news/peripherie/news20041110018.aspx> (30.06.2006)
- [48]. **Loranchet, P./ Europa Cinemas (o.J.):** "Europa Cinemas digital guide"; Leitfaden digitales Kino; online: http://www.europa-cinemas.org/fr/programmes/cinema_numerique/digital%20guide/Digital_Guide_DE.pdf
- [49]. **Media & Broadcast (2006):** "Digital Cinema Factory™"; Digital Cinema Flyer Stand 06/2006; online: <http://www.t-systems-mediabroadcast.de/coremedia/generator/www.t-systems-mediabroadcast.com/de/Home/Loesungen/DigitalCinema/property=blobContent/id=164936/2-Digital-Cinema-Flyer-ps.pdf> (10.07.2006)
- [50]. **Moosbrugger, A. (2006):** „Sicherheitsmechanismen in digitalen Unterhaltungsmedien - Digital Cinema“; Seminararbeit zur Sicherheit in verteilten Systemen an der Universität Stuttgart; online: http://www.ipvs.uni-stuttgart.de/abteilungen/vs/lehre/lehrveranstaltungen/seminare/WS0506/Reports/Alexander_Moosbrugger_-_Digital_Cinema.pdf (20.08.2006)
- [51]. **movie-college.de-Redaktion (o.J.):** ohne Titel; Bericht zum Thema 3D-Kino; online: <http://www.movie-college.de/filmschule/medien/3d.htm> (dynamisch; 16.06.2006)
- [52]. **Murph, D. (2006):** „Dolby to offer 3D cinema with Infitec technology“; Pressemeldung vom 02.08.2006; online: <http://www.engadget.com/2006/08/02/dolby-to-offer-3d-cinema-with-infitec-technology/> (20.08.2006)

- [53]. **NATO (THE NATIONAL ASSOCIATION OF THEATRE OWNERS) (2006):** *"Digital Cinema System Requirements Release 1.0"*; Systemvoraussetzungsstudie der NATO; online: http://mkpe.com/digital_cinema/nato/NATO%20Digital%20Cinema%20System%20Requirements%20-%20release%201-0.pdf (20.04.2006)
- [54]. **NTT Network Innovation Laboratories (2006):** *"Lessons Learned from International Real-Time Streaming of 4K Digital Video"*; online: http://www.hpcc.jp/pfldnet2006/slides/p1_01.pdf (10.07.2006)
- [55]. **Physorg.com-Redaktion (2005):** *"World's First International Real-time Streaming Of 4K Digital Cinema Over Gigabit IP Optical Fiber Networks"*; Pressemeldung vom 27.09.2005 (Quelle: University of California, San Diego); online: <http://www.physorg.com/news6807.html> (28.06.2006)
- [56]. **Redaktion des Fraunhofer Instituts für Digitale Medientechnologie (2004):** *"Wellenfeldsynthese. Das Audioniedergabesystem der Zukunft"*; Flyer; online: http://www.iis.fraunhofer.de/amm/download/flyer/dl.html?f=wfs_d.pdf (10.06.2006)
- [57]. **Rüggeberg, D. (2006):** *"Digitales Kino 2006. Eine aktuelle Betrachtung"*; Studie der Filmförderungsanstalt (FFA) vom Februar 2006; online: http://www.filmfoerderungsanstalt.de/downloads/digitales_kino_2006.pdf (20.04.2006)
- [58]. **Schmitt, E. (2006):** *"Sony SXR setzt Maßstäbe im Digital Cinema Segment: SRX-R110 und SRX-R105"*; Leistungsbericht vom 01.02.2006; online: <http://www.cine4home.de/tests/projektoren/Sony4K/SR110.htm> (01.06.2006)
- [59]. **Screendigest (2006):** *"Digital systems finally ready to replace 35mm film. Market poised for explosive growth after 7 years of discussions and technological advance"*; Pressemeldung vom 12.05.2006; online: <http://www.screendigest.com/reports/06digcin/FHAN-6PQB76/pressRelease.pdf> (20.05.2006)
- [60]. **Staden, Inga von/ Hunsdörfer, Beate (2003):** *"Majors planen digital roll-out..." Auswirkungen der digitalen Zukunft auf die Kinobranche"*; Studie der Filmförderungsanstalt (FFA) vom September 2003; online: http://www.filmfoerderungsanstalt.de/downloads/studie_digitales_kino_0309.pdf (28.03.2006)
- [61]. **Sony (2006):** *"How Do SXRD™ Displays Work?"*; Sony Guides; online: http://www.sonymstyle.com/is-bin/INTERSHOP.enfinity/eCS/Store/en/-/USD/SY_ViewStatic-Start?page=static%2farticles%2fsxrd%2eism1 (01.06.2006)
- [62]. **Sony (2005):** *"SXRD 4K Ultra High Resolution Projectors"*; Produktbroschüre; online: [http://www.sonybiz.net/images/product/X/SRX-R110CE_R105CE\(brch\).pdf?BV_SessionID=%40%40%40%401124495136.1154352342%40%40%40%40&BV_EngineID=laddhfkighgibemgcfcfmcfdhkh.0](http://www.sonybiz.net/images/product/X/SRX-R110CE_R105CE(brch).pdf?BV_SessionID=%40%40%40%401124495136.1154352342%40%40%40%40&BV_EngineID=laddhfkighgibemgcfcfmcfdhkh.0) (01.06.2006)
- [63]. **Wikipedia (2006):** *"kein Titel"*; Enzyklopädieeinträge zur Informationsbeschaffung; online: <http://de.wikipedia.org/wiki/Hauptseite>
- [64]. **XDC-Redaktion (o.J.):** *"CineStore SOLO G2 MXF Interop. User's Specifications"*; Produktbeschreibung; online: <http://www.xdcinema.de/XDC-SoloG2-specifications.pdf> (02.07.2006)
- [65]. **XDC-Redaktion (2006):** *"Exhibitors"*; Aufstellung der Anzahl der Kinos mit XDC Equipment; online: <http://www.xdcinema.de/exhibitors.asp> (dynamisch; 30.08.2006)
- [66]. **XDC-Redaktion (2006):** *"Hersteller von state-of-the-art Kinoservern"*; online: <http://www.xdcinema.de> (02.07.2006)
- [67]. **XDC-Redaktion (2006):** *"XDC DIGITALES KINO EUROPÄISCHE INITIATIVE. ANGEBOT - KINOBETREIBER 2006"*; online: <http://www.xdcinema.de/XDC-MARCOM-BusinessProposal2006-Exh-DE-Apr06-A4.pdf> (02.07.2006)
- [68]. **Zettel, C. (2006):** *"Digitales Kino setzt sich durch. Hollywood treibt Entwicklung voran"*; Pressemeldung vom 19.05.2006; online: <http://www.prsstext.at/pte.mc?pte=060519012> (30.05.2006)