

# Diplomarbeit

„Blu-ray Disc und HD DVD. Professionelle Datenspeicherung  
der zukünftigen Generation – Zwei Konkurrenten eifern um  
das Erbe der Digital Versatile Disc“

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

Unter Erstbetreuung von  
Mag. Rosa von Suess

Zweitbegutachtung von  
FH-Prof. Dipl.-Ing. Georg Barta

ausgeführt von  
**Michael Prager**  
tm0310038053

St. Pölten, am

Unterschrift

# Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere, dass

- ich diese Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen 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

## **Kurzfassung**

Durch die Entwicklung von High Definition Formaten, verlangte die Filmindustrie nach optischen Datenträgern, welche über genügend Speicherkapazität verfügen, um Material in Filmlänge und High Definition auf einem einzigen Datenträger unterzubringen. Die Formate, welche daraufhin spezifiziert wurden, waren die Blu-ray Disc und die High Density Digital Versatile Disc. Sie zogen in den Kampf um das Erbe der DVD.

In dieser Arbeit werden die technischen Spezifikationen dieser beiden hochdichten optischen Datenträger bearbeitet und verglichen, sowie die Vor- und Nachteile beider Speichermedien einander gegenübergestellt. Weiters erhält der Leser dieser Arbeit nähere Erklärungen zu technischen Begriffen rund um die digitale Datenspeicherung. Außerdem wird die aktuelle Marktsituation aufgezeigt und ein Blick auf weitere Entwicklungen im Bereich der Datenspeicherung geworfen.

## **Abstract**

The development of High Definition formats caused the film industry to long for more efficient data storage units, because the higher resolution of films requires more capacity on storage devices. Because the DVD doesn't satisfy the need of capacity for high resolution films on optical discs anymore, two different devices for high density optical storage have been developed – the Blu-ray Disc (BD) and the High Density Digital Versatile Disc (HD DVD).

In this dissertation the specifications of both developments are processed and compared. Further the reader of this assignment can take a look at some explanatory notes, which are very important for the understanding of high density optical storage devices. We also take a look at the current market situation of these two potential successors of the DVD and prospective developments of data storage units.

# Inhaltsverzeichnis

Ehrenwörtliche Erklärung .....	2
Kurzfassung.....	3
Abstract .....	4
Inhaltsverzeichnis .....	5
1. Einleitung .....	7
2. Begriffserklärung .....	10
2.1. Standard Definition und High Definition.....	10
2.2. Die Numerische Apertur .....	11
2.3. Video Codierung .....	12
2.4. Der Laser .....	15
2.5. Spin-Coating.....	16
3. Die Blu-ray Disc.....	19
3.1. Die Entwickler.....	19
3.2. Erhöhung der Speicherkapazität.....	20
3.3 Aufbau der Blu-ray Disc .....	23
3.4 Sicherheitsapplikationen .....	27
3.5 Hybrid Discs.....	29
4. Die HD-DVD .....	31
4.1 Die Entwickler.....	31
4.2 Höhere Speicherdichte .....	31
4.3 Erweiterter Kopierschutz.....	33
4.3.1 AACCS für gepresste Medien .....	34
4.3.2 AACCS für beschreibbare Medien .....	37
4.4 Die Familie der HD DVDs.....	39
4.4.1 Zwillings- und Kombinationsformate .....	39
4.4.2 HD-DVD-ROM.....	40
4.4.3 HD-DVD-R .....	41
4.4.4 HD-DVD-RW .....	41
4.3.5 „3x DVD ROM“ .....	41
4.3.6 „8cm Mini HD-DVD“ .....	41
5. Übersicht der technischen Parameter und Marktsituation.....	43
5.1 Übersicht der technischen Parameter .....	43

5.2 Die Marktsituation.....	46
6. Forschung .....	48
7. Zusammenfassung .....	62
8. Aussichten .....	65
8.1 Die Holodisc.....	65
8.2 Lochkarten.....	66
9. Literatur- und Abbildungsverzeichnis.....	68
9.1 Literaturverzeichnis.....	68
9.2 Abbildungsverzeichnis .....	70

# 1. Einleitung

Die Digital Versatile Disc (kurz: DVD) wuchs in den letzten Jahren zu einem Eckpfeiler der Unterhaltungsindustrie heran. Bessere Qualität bei Filmen und das Fehlen von Abnutzungserscheinungen durch das Abspielen des Datenträgers, bereiteten der Vorherrschaft des Video Home Systems (VHS) in den Wohnzimmern bald ein Ende. Diese Entwicklung ging der Markteinführung der Compact Disc (CD) voran, ein digitales Speichermedium, welches für die Wiedergabe von Musik entwickelt worden war. CD und VHS beherrschten damals den Bereich des Home Entertainment. Die Qualität der Videoinhalte des VHS war jedoch relativ gering und auch Versuche Videomaterial über die Verwendung von CDs in die Wohnzimmer der Bevölkerung zu bringen war von wenig Erfolg gekrönt. Die vor allem im Asiatischen Raum verbreiteten Formate waren die Video-CD (VCD) und die Super-Video-CD (SVCD). Diese beiden Medien eigneten sich jedoch hauptsächlich für kurzes Videomaterial. „Die Verdrängung des Videobandes durch die Scheibe verläuft sogar noch rasanter als die der Schallplatte durch die CD“<sup>1</sup>.

Mit der Einführung der DVD, wurde auch versucht die Audio-DVD in die Häuser der Verbraucher zu bringen. Diese Idee setzte sich jedoch nicht durch, da die CD ein zu starkes Medium für Musik geworden war. Trotzdem beherbergen DVDs immer noch einen Video\_TS Ordner für das Videomaterial und einen Audio\_TS Ordner für Audiomaterial. Die DVD fand jedoch nicht nur in der Filmindustrie großen Anklang, sondern auch in der Welt der Computer, da die Speicherkapazität von 700MB der CD auf 4.7 GB bei der DVD erhöht wurde. Dadurch wurde es möglich noch größere Datenmengen auf eine einzige Disc zu speichern.

Der Wandel der Filmindustrie von Standard Definition Material (SD) zum hochauflösenden High Definition (HD) und der weiter steigende Speicherbedarf der Computerindustrie machten jedoch die Entwicklung neuer Datenspeicher notwendig. So entstanden die Konzepte zweier möglicher

---

<sup>1</sup> Uli Plank, Thomas Köke: "DVDs produzieren und Gestalten" S16

Nachfolger der DVD – Die Blu-ray Disc (BD) und die High Density Digital Versatile Disc (HD DVD) Die HD DVD ist eine Weiterentwicklung der DVD, während die Blu-ray Disc von Grund auf neu konzipiert wurde.

Diese Arbeit dient dem besseren Verständnis beider Speichermedien, sowohl Vor- als auch Nachteile werden in den folgenden Kapiteln behandelt. Die gestellten und behandelten Forschungsfragen dieser Arbeit lauten wie folgt:

- Wie funktioniert die Technologie der Blu-ray Disc?
- Wie funktioniert die Technologie der HD DVD?
- Welche dieser beiden Datenträger hat die besseren Chancen das Erbe der DVD anzutreten?

Dieses Kapitel gibt eine Einführung in verschiedene Themengebiete, welche für das Verständnis der Funktionsweise der hier vorgestellten Speichermedien wichtig sind. Die Begriffe Standard Definition, High Definition sowie der Laser, die Numerische Apertur, wie auch die Funktionsweise der MPEG-Videocodierung und die Technik des Spin-Coatings werden in den folgenden Punkten behandelt.

Kapitel 3 zeigt die Funktionsweise der Blu-ray Disc, der neu entwickelte Aufbau wird beschrieben und die Umstände die zur Erhöhung der Speicherkapazität führen beleuchtet. Gleichzeitig werden die aus dem neuen Aufbau entstehenden Probleme behandelt.

Kapitel 4 zeigt die Weiterentwicklungen der DVD, die zu den Spezifikationen der HD DVD führten auf. Behandelt werden hier die Techniken, mit der die Speicherdichte erhöht wurde, der verbesserte Kopierschutz, den die hochdichten optischen Speichermedien nutzen und die Familie der HD DVDs.

Kapitel 5 zeigt eine Übersicht der technischen Parameter der in dieser Arbeit behandelten Speichermedien. Weiters wird hier ein Einblick in die im

Augenblick vorherrschende Marktsituation geboten, um die aktuelle Marktsituation zu erhalten.

Kapitel 6 bietet die Ausarbeitung der gestellten Forschungsfragen der in dieser Arbeit behandelten Themen. Hier werden die gestellten Fragen übersichtlich und detailliert zusammengefasst.

In Kapitel 7 wird die Thematik noch einmal kurz zusammengefasst und der Schluss aus der zusammen getragenen Fakten in wenigen Sätzen zusammengefasst

Kapitel 8 bietet einen kurzen Exkurs, welche weiteren Datenspeicher sich momentan in der Entwicklung befinden, und was die Zukunft in diesem Bereich bringen wird. Sowohl die Erforschung eines holografischen Speichers als auch die Weiterentwicklung der zu Beginn des Computerzeitalters verwendeten Lochkarten rücken immer mehr ins Licht zukünftiger Speichermöglichkeiten.

Diese Arbeit dient nicht dazu, detaillierte technische Informationen der hier vorgestellten Speichermedien, wie zum Beispiel die Berechnungen der einzelnen Attribute der Discs oder die verwendeten Codezeilen des Kopierschutzsystems, zu zeigen. Viel mehr dient sie dazu einen Überblick über die verwendeten Techniken hinter den Entwicklungen zu bekommen, und einen Vergleich zwischen beiderlei Datenträgern zu erstellen.

Mittels literaturgestützter Informationsbeschaffung wurden die Daten über die einzelnen hochdichten optischen Speichermedien recherchiert und zusammengetragen, bereits bestehende Vergleiche und Analysen aus Fachberichten wurden in die Analyse der Datenträger und der Marktsituation miteinbezogen.

## 2. Begriffserklärung

### 2.1. Standard Definition und High Definition

Durch die Entwicklung von High Definition, benötigte die Filmindustrie neue Datenträger, welche die größere Menge von Daten, die durch die höhere Auflösung des Filmmaterials verursacht wird, speichern können. Im folgenden Abschnitt werden einerseits die Begriffe SDTV und HDTV erklärt, andererseits deren Unterschiede aufgezeigt.

Standard Definition Television, kurz SDTV, ist ein Überbegriff für die Normen, bzw. Auflösungen des analogen Fernsehens. Die Auflösung des übertragenen Bildes ist ein wichtiger Faktor die Datenmenge und somit betrifft es den benötigten Speicherplatz. Grundlegend unterscheidet man zwischen 3 Farbfernsehnormen.

NTSC: Dieses Verfahren wurde 1953 vom National Television System Committee (NTSC) standardisiert. Das System verwendet 525 Zeilen pro Vollbild bei 59,94 Halbbildern pro Sekunde.<sup>2</sup> Verbreitet ist diese Norm hauptsächlich in Nordamerika und Japan.

SECAM: SECAM (Séquentiel couleur à mémoire) wurde 1957 in Frankreich standardisiert, wo es auch immer noch das Standard-Fernsehsignal ist. Weiters findet diese Norm auch Verwendung in Russland und in Teilen Südamerikas

PAL: Das PAL-Format wurde 1963 beruhend auf den Grundlagen des NTSC Formats entwickelt. „Das PAL-Verfahren bietet, verglichen mit SECAM und NTSC, die beste Bildqualität.“<sup>3</sup> Verwendung findet dieses Format vor allem im europäischen Raum, Australien, Teilen Südafrikas und –amerikas sowie in Grönland.

---

<sup>2</sup> vgl. U. Schmidt, „Professionelle Videotechnik“, S. 66

<sup>3</sup> U. Schmidt, „Professionelle Videotechnik“, S.73

Unter HDTV, also High Definition Television, versteht man verschiedene Normen mit einer höheren Auflösung gegenüber von SDTV. Hier sind wie auch bei SDTV die Bildformate 4:3 oder 16:9 verfügbar. Die US HDTV Normen sind wie in Tabelle Tab.2.2.1.1<sup>4</sup> definiert:

Anzahl aktiver Zeilen	Aktive Pixel pro Zeile	Bildformat	Bildfrequenz (HZ)
1080	1920	16:9	60i 30p, 24p
720	1280	16:9	60p, 30p, 24p
480	704	16:9 / 4:3	60i 60p, 30p, 24p
480	640	4:3	60i 60p, 30p, 24p

Tab. 2.2.1.1

## 2.2. Die Numerische Apertur

Die numerische Apertur (NA), die eine nicht unwesentliche Rolle bei der Erhöhung des Speichervermögens von optischen Datenträgern spielt, spiegelt das Maß des Lichtsammel- und Auflösungsvermögens eines optischen Elements wieder. Sie charakterisiert den Fokusbereich – sprich den Durchmesser des Lichtpunktes, welcher auf die Oberfläche des Datenträgers trifft – und den Arbeitsabstand bei Laser-Fokussieroptiken. Die Fokussierbarkeit eines Lasers hängt auch von der Wellenlänge ( $\lambda$ ) des emittierten Lichts ab.

Die Formel zur Berechnung der NA lautet:

$$NA = n \times \sin \sigma$$

<sup>4</sup> vgl. U. Schmidt, "Professionelle Videotechnik", Tabelle 10.4. US HDTV Normen, S.668

„n“ bezeichnet hier die Brechzahl zwischen Objektivfrontlinse und der Oberfläche des Datenträgers

„o“ bezeichnet den halben objektseitigen Öffnungswinkel des Objekts

Eine hohe NA ergibt einen hohen Winkel und damit eine hohe Lichtstärke, was zu einem hohen Auflösungsvermögen führt. Der Wert der NA kann jedoch nicht den Wert „1“ oder darüber erreichen. Hätte die NA einen Wert von „1“ würde dies bedeuten, dass der Öffnungswinkel ( $2 \times 90^\circ =$ )  $180^\circ$  betragen und die Strahlen somit parallel zur Objektfläche, in diesem Fall der optische Datenspeicher, verlaufen würden.

Der Durchmesser des Laserpunktes berechnet sich aus der Formel:

$$D = \lambda / (2 \times NA)$$

$\lambda$  gibt die Wellenlänge des auf die Linse treffenden Lichtes an.

Dieser Formel ist zu entnehmen, dass eine kürzere Wellenlänge und eine erhöhte numerische Apertur eine Verkleinerung des Durchmessers des Laserpunktes ergibt. Dies ist die Grundlage der Entwicklung der in dieser Arbeit beschriebenen optischen Datenträger, da durch einen kleineren Laserpunkt ein dichteres Speichern der digitalen Daten ermöglicht wird. Je höher jedoch die Numerische Apertur ist, umso geringer muss auch der Abstand der Linse zum Trägermaterial sein.

### **2.3. Video Codierung**

Sowohl die DVD als auch die neuen Entwicklungen Blu-ray Disc und HD DVD bedienen sich der Technologie der MPEG-Codierung. Da unkomprimiertes Videomaterial einen zu großen Speicherbedarf aufweist, musste man eine Videokomprimierung finden, welche die Videodateien klein genug komprimiert, um sie auf dem vorgesehenen Datenträger unterzubringen. Der Qualitätsverlust soll dabei im akzeptablen Bereich

rangieren, um schlechte Qualität der Filme im Handel zu vermeiden. Im Anschluss ist ein kurzer Auszug der Entwicklungsgeschichte der MPEG-Codierung und deren Funktionsweise zu finden um ein besseres Verständnis für den Ablauf der Komprimierung und Dekomprimierung des Videomaterials auf optischen Datenträgern zu gewinnen.

Die Entwickler der MPEG Codierung, die Mitglieder der „Moving Picture Expert Group“, gründeten diese Vereinigung bereits 1988. Das erste Format dieses Komitees wurde 1991 veröffentlicht. Auf diese Videocodierung bauen auch die folgenden Entwicklungen MPEG-2 und MPEG-4 auf.

In Abb. 2.3.1 ist die Funktionsweise von MPEG-1 grafisch dargestellt. Vereinfacht gesagt, verwendet diese Codierung einzelne Bilder des Videomaterials an verschiedenen Punkten und berechnet die dazwischen liegenden. Das Ausgangsbild wird als „I-Frame“ (Intra Frame) bezeichnet. „Gewöhnlich ist bei MPEG nur jedes 12. oder 15. Bild (also alle halben Sekunden bei PAL bzw. NTSC) ein I-Frame“<sup>5</sup> das Bild wird in 16 x 16 Pixel große Blöcke, so genannte Makroblöcke, zerlegt.

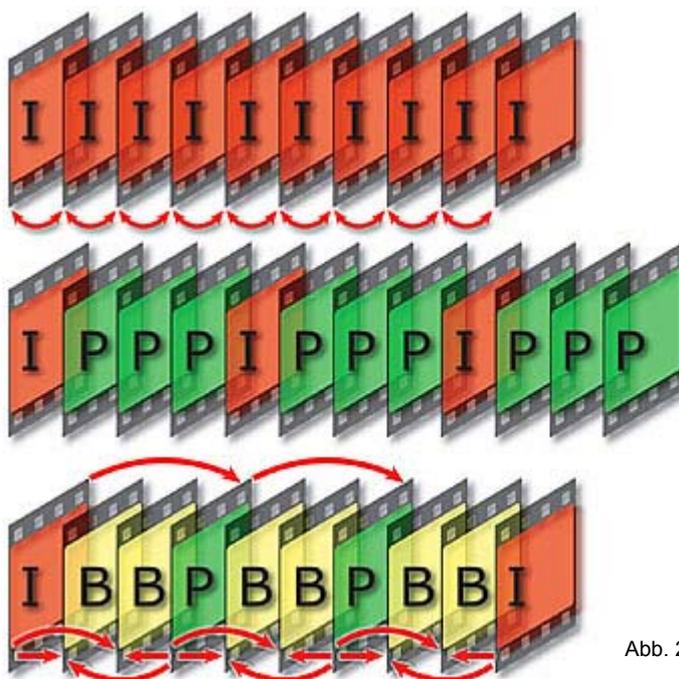


Abb. 2.3.1

Dies ermöglicht es Änderungen zwischen den Bildern zu berechnen. Da I-Frames nur gering komprimiert werden, benötigt ein I-Frame mehr

<sup>5</sup> www.camgaroo.com: „Berichte: Was ist MPEG-4? Technische Hintergründe“

Speicherplatz. Die Änderungen zu den folgenden Bildern werden mathematisch errechnet, wobei man hier nicht im herkömmlichen Sinn von Bildern sprechen kann, sondern von Datenpaketen.

Weiters werden nun P-Frames (Predicted Frames) erstellt, welche die Unterschiede zum vorhergehenden, bzw. zum nachfolgenden Bild enthalten. Dies kann nun so wie das I-Frame ebenfalls als Referenz verwendet werden, da das I-Frame Informationen über angrenzende Bilder enthält. Die Komprimierung dieses Frames ist etwas höher als die des I-Frames.

Zuletzt werden B-Frames (Bidirectional Frames) erstellt, welche die höchste Kompressionsrate aufweisen, jedoch Informationen des vorangegangenen sowie des nachfolgenden Bildes benötigen.

Der Zusammenschluss dieser verschiedenen Typen von Frames wird in GOP's (Group of Pictures) arrangiert. Es gibt jedoch keine Vorgaben, welche Typen von Frames in der Codierung vorhanden sein müssen. Das qualitativ hochwertigste Ergebnis lässt sich aus einer Anordnung von I-Frames erzielen, was jedoch den höchsten Speicherbedarf zur Folge hat.

Das MPEG-1 Format hat den Nachteil, dass es ungeeignet ist zur Weiterbearbeitung des Videomaterials und die Auflösung für das Videomaterial nur begrenzt ist.

Die Entwicklung des MPEG-2 Formates (1994) basiert auf MPEG-1, verwendet jedoch eine höhere Anzahl von Makroblöcken sowie einen größeren Farbraum. Weiters verwendet MPEG-2 nicht nur die halbe Anzahl an Halbbildern zur Codierung, sondern die volle. Dies ermöglicht es, MPEG-2 codierte Materialien weiter zu bearbeiten.

Bereits 1993 wurden die Arbeiten für das Format MPEG-4 aufgenommen. Zu dieser Zeit lag der Grund für die Weiterentwicklung darin, dass ein Kompressionsverfahren entwickelt werden sollte, welches sich für Videotelephonie und -anwendungen für das Internet eignet. Hierbei wird das

Bild sowohl in bewegte und statische Elemente als auch in einzelne räumliche Ebenen aufgelöst. Diese Objekte werden getrennt bearbeitet und mit der auf MPEG-1 basierenden Kompressionstechnik gleichzeitig übertragen. Der große Vorteil in dieser Strategie liegt in einer hohen Kompressionsrate bei geringem Qualitätsverlust, was den Grund für die Verwendung bei Blu-ray Disc und HD-DVD erklärt.

## **2.4. Der Laser**

Der wichtigste Bestandteil zum Beschreiben und Auslesen (sofern nicht gepresst) eines optischen Datenträgers ist der Laser. Durch die Reflexion des gebündelten Lichts werden die binären Daten auf dem Datenträger ausgelesen, durch die Änderung des Reflexionsvermögens des Materials mittels stärkerer Laser geschrieben. Es folgt nun ein kurzer Überblick über den Aufbau und die Funktionsweise eines Lasers, um dem Leser einen besseren Überblick zu verschaffen, wie das Herzstück der Laufwerke von optischen Datenträgern funktioniert.

Der Begriff Laser ist eine Abkürzung für „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“ (Lichtverstärkung durch Induzierte Emission). Ein Laser besteht immer aus einer Energiequelle, einem Verstärkermedium und einem Resonator. Der Resonator besteht im Grund aus zwei Spiegeln, durch welche eine Besetzungsinversion – das bedeutet dass die Teilchen im Resonator einen energetisch höheren Zustand erreichen – verursacht wird, sodass ein Photon eine „induzierte Emission“ auslöst. Dies erfordert die Zuführung von Energie, dem so genannten Pumpen. Dieses Pumpen geschieht je nach Art des Lasers durch elektrische Entladung oder durch intensive Strahlung, wie zum Beispiel extrem starken Lichtquellen. Das Lasermedium befindet sich zwischen den Spiegeln im Resonator, zwischen denen die Photonen hin und her laufen. Dadurch kommt es zu andauernden Lichtaussendungen, welche den Lichtstrahl verstärken. Der Austrittsspiegel besitzt ein Reflexionsvermögen von etwa 98 %, durch welches die entstehende Lichtwelle teilweise austreten kann (siehe Abb.2.4.1).

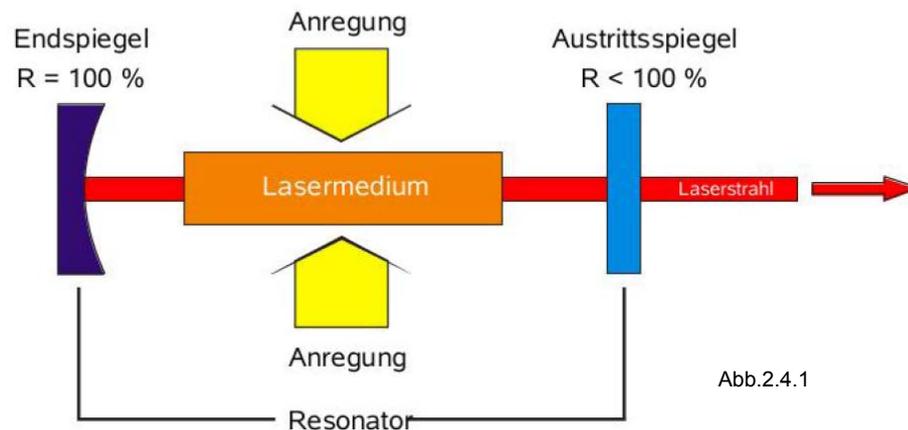


Abb.2.4.1

Für die Anwendungen im Bereich der optischen Datenträger werden Halbleiterlaser, so genannte Festkörperlaser verwendet. Diese arbeiten in einem niedrigen Energiebereich. Halbleiterlaser haben zusätzlich die Eigenschaft, dass sie sich bei tiefen Temperaturen wie Isolatoren, also Nichtleiter verhalten. Die Leitfähigkeit wird bei höheren Temperaturen jedoch besser und der Widerstand sinkt. Diese Art von Lasern ist durch ihre geringe Größe sehr gut für den Einsatz in Laufwerken optischer Datenträger geeignet, da sie nur eine geringe Abmessung haben. So ist das LasermEDIUM dieser Art des Lasers ein Halbleiterstab mit den Abmessungen von  $300\mu\text{m} \times 40\mu\text{m}$ . Die Wellenlänge des emittierten Lichts hängt vom Energieniveau des Lasers ab.

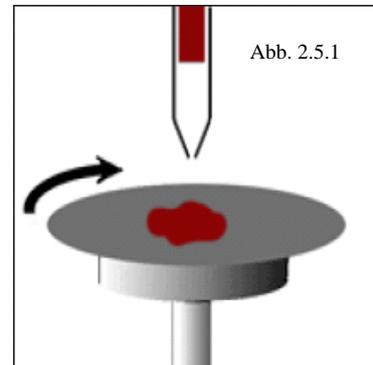
## 2.5. Spin-Coating

Durch extrem dünne Schutzschichten, welche auf die Blu-ray Disc aufgetragen werden müssen, reichen die bisherigen Anwendungen von Pressmechanismen nicht mehr aus, um die gewünschte Dicke der Schutzschicht fehlerfrei zu gewährleisten. Hier wurde die Spin-Coating Technik entwickelt, welche es ermöglicht Schichten verschiedener Materialien mit der gewünschten Höhe gleichmäßig aufzutragen, ohne dabei partielle Ungleichmäßigkeiten in der Schicht zu riskieren. Im Folgenden ist die Funktionsweise dieser Technik erläutert.

Spin-Coating bezeichnet eine Technik zum Auftragen eines dünnen Films einer Substanz auf eine ebene Fläche. Diese Technik wird zum Beispiel

verwendet um die dünne Deckschicht, bzw. den Hard Coat der in dieser Arbeit behandelten Blu-ray Disc aufzutragen. Die Spin-Coating Technik besteht aus 3 Schritten.

1. Im ersten Schritt wird die aufzutragende Flüssigkeit auf die damit zu versiehende Fläche aufgetragen. Man unterscheidet hier zwischen der statischen und der dynamischen Verteilung. Bei der statischen Verteilung wird die Flüssigkeit in die Mitte der ruhenden Scheibe positioniert (Abb. 2.5.1). Bei der dynamischen Verteilung



wird die Flüssigkeit auf einer mit langsamer Geschwindigkeit rotierenden Disc abgesetzt. Die Geschwindigkeit beträgt normalerweise etwa 500 Umdrehungen pro Minute. Die Technik der dynamischen Verteilung birgt den Vorteil dass weniger aufzutragende Flüssigkeit verschwendet wird, da durch das Verteilen der Flüssigkeit vor dem eigentlichen Ausschleudern der benötigte Verbrauch leichter kalkuliert werden kann.

2. Nachdem die Flüssigkeit auf den Träger aufgetragen wurde, startet nun das Ausschleudern mit hoher Geschwindigkeit. In diesem Schritt wird die endgültige Dicke der aufzutragenden Schicht erreicht. Je nach Eigenschaften der Flüssigkeit und dem Substrat, welches benetzt wird, wird die Drehzahl der Rotation auf 1500-6000 Umdrehungen pro Minute erhöht. Dies hat zur Folge dass die Flüssigkeit durch die Zentrifugalkraft nach außen gedrückt wird und überschüssige Flüssigkeit durch die Fliehkraft über den Rand gepresst wird. Die Dauer des Vorgangs kann von 10 Sekunden bis zu einigen Minuten reichen. Letztendlich sind die Umdrehungsgeschwindigkeit und die Dauer des Ausschleuderns die Parameter für die endgültige Dicke der aufgetragenen Schicht.

3. Die letzte Stufe des Spin-Coating Prozesses ist der Trocknungsprozess. Im Grunde kann das Trocknen der aufgetragenen Schicht auch unterlassen werden, doch in diesem Fall kann es zu Problemen, wie zum Beispiel dem Verlaufen der Flüssigkeit auf dem Substrat kommen. Eine

Rotationsgeschwindigkeit von etwa 25% der Ausschleudergeschwindigkeit unterstützt den Trocknungsprozess ohne die Dicke des aufgetragenen Films signifikant zu verändern. Die Trocknung des aufgetragenen Films verringert die Dicke nicht.

## 3. Die Blu-ray Disc

### 3.1. Die Entwickler

Neun Unternehmen waren im Jahr 2002 beteiligt, als die Spezifikationen für die Blu-ray Disc festgelegt wurden. Diese Gruppe, bestehend aus den Unternehmen Panasonic, Pioneer, Phillips, Sony, Thomson, LG Electronics, Hitachi, Sharp und Samsung, gründete am 19. Februar 2002 die Blu-ray Group. In den folgenden zwei Jahren schlossen sich auch Mitsubishi Electric, Dell, Hewlett Packard und TDK dem Entwicklungsteam der Blu-ray Disc an. Hewlett Packard wechselte allerdings bald ins HD-DVD Lager. Um weitere Unterstützer zu gewinnen und mehr Mitglieder in das Entwicklungsteam zu bringen, wurde 2004 die Blu-ray Disc Association gegründet. Heute setzt sich der Vorstand der Vereinigungen aus den Firmen Apple, Dell, HP, Hitachi, LG, Mitsubishi Electric, Panasonic, Pioneer, Philips, Samsung, Sharp, Sony, Sun, Microsystems, TDK, Thomson, Twentieth Century Fox, Walt Disney und Warner Bros. zusammen. Weitere Mitglieder dieser Vereinigung sind unter anderem Adobe Systems, Canon Inc., Electronic Arts Inc. Sonic Solutions, Kenwood Corporation uvm.<sup>6</sup>

Die Blu-ray Association ist ein freiwilliger Zusammenschluss der oben genannten und einigen anderen Unternehmen, welche das gemeinsame Ziel haben, die Weiterentwicklung der Blu-ray Disc zu fördern, sowie deren Verbreitung voranzutreiben. Daher gibt es keine Kapitalanlagemöglichkeit wie zum Beispiel Blu-ray Aktien. Um Mitglied der Blu-ray Association zu werden, empfiehlt die Vereinigung sich einfach an ein Mitglied zu wenden.<sup>7</sup>

Bei der Namensgebung der Blu-ray Disc wurde, wie man vermuten könnte, kein Fehler gemacht. Der Grund, warum es nicht „Blue-ray Disc“ heißt,

---

<sup>6</sup> vgl. Blu Ray Association Website: [http://www.blu-raydisc.com/general\\_information/Section-14009/Index.html](http://www.blu-raydisc.com/general_information/Section-14009/Index.html)

<sup>7</sup> vgl. Blu Ray Association Website: [http://www.blu-raydisc.com/general\\_information/Section-14009/Index.html](http://www.blu-raydisc.com/general_information/Section-14009/Index.html)

liegt darin, dass täglich benutzte Termini, wie in diesem Fall eine Farbe, nicht als Warenzeichen eingetragen werden kann.

Geplant sind verschiedene Typen von Blu-ray Discs. Die BD-ROM (Read Only Memory) ist jene Variante, bei welcher die Daten gepresst werden und nur ausgelesen, jedoch nicht beschrieben (gebrannt) werden können. Die Write once Disc, welche mit dem Kürzel BD-R bezeichnet wird, kann einmal beschrieben werden. Auch eine wieder beschreibbare Variante der Blu-ray Disc wurde entwickelt, die so genannte BD-RE.

### 3.2. Erhöhung der Speicherkapazität

Wie zuvor erwähnt, wurde der Standard für die Blu-ray Disc 2002 festgelegt. Die Motivation hinter diesem Standard war die Möglichkeit mehr als zwei Stunden eines digitalen HDTV Signals aufzuzeichnen. Der Speicherbedarf, welcher hierfür benötigt wird, entspricht einer Datenmenge von 22 GB und mehr, was in etwa dem fünffachen Speicherplatz einer DVD entspricht. Diese Erhöhung der Speicherkapazität ist jedoch nicht allein durch die Erhöhung der Datendichte zu erreichen, sondern mehrere Technologien wurden von den Entwicklern der Blu-ray Disc verwendet, um den Anforderungen, welche an den optischen Speicher gestellt wurden, nachzukommen.

Der erste Schritt war, den Laser im Infrarotbereich der DVD durch einen blauvioletten Laser auszutauschen. Die Wellenlänge dieses Lasers beträgt bei der Blu-ray Disc statt den

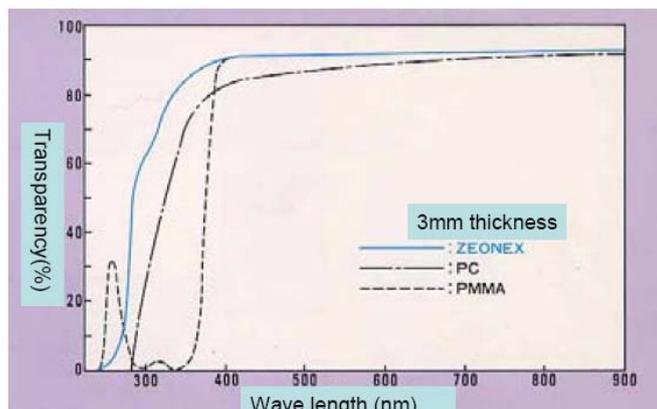


Abb. 3.2.1

650nm der DVD nun 405nm. Zu Beginn der Entwicklung wurde überlegt, eine noch kürzere Wellenlänge für den Laser zu verwenden, was jedoch das

Problem aufwarf, dass viele Kunststoffe bei einem Wert von unter 400nm eine schlechte Transparenz aufweisen (siehe Abb. 3.2.1). Weiters werden einige andere Materialien durch diese Wellenlängenbereiche beeinträchtigt, was in etwa mit dem Effekt eines Sonnenbrandes des jeweiligen Kunststoffes zu vergleichen ist.<sup>8</sup>

Ein weiterer Punkt, welcher bei der Entwicklung berücksichtigt werden musste, war der Durchmesser des Laserstrahls. Der Durchmesser des blauviolettten Lasers beträgt 0.58µm. Im Vergleich misst der Infrarot-Laser der CD 2.11µm, jener der DVD 1.32µm. In Abb. 3.2.2 werden die Unterschiede der Durchmesser eben genannter Laser veranschaulicht.

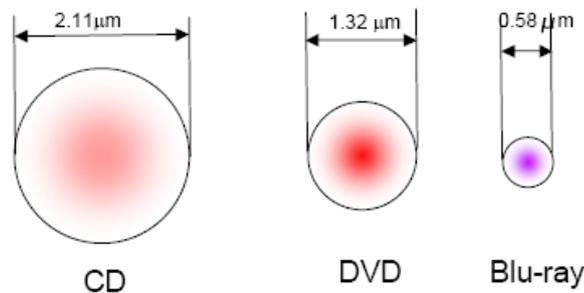


Abb. 3.2.2

Der Durchmesser des Laserstrahls lässt sich mittels folgender Formel errechnen:

$$\text{Beam Diameter} = \alpha * \lambda / \text{NA}$$

$\lambda$  = wavelength,  $\alpha$  = a constant

NA bezeichnet hier die Numerische Apertur (näheres hierzu in Kapitel 2.2.2). Aus der Formel ist ersichtlich, dass der Durchmesser des Strahls sinkt, je höher die NA ist, wobei diese jedoch den Wert von 1.0 in Luft nicht übersteigt. Die höchsten Werte bei CD und DVD, welche während der Massenproduktion erreicht wurden, lagen bei 0.45 und 0.6. Für die Blu-ray Disc wird eine NA von 0.85 erreicht, was zuerst durch das Übereinanderlegen zweier Linsen, welche für NA von 0.6 hergestellt wurden, ermöglicht wurde. Das Funktionieren dieser Linse konnte jedoch nur bei einer Distanz von 0.14mm zur Datenträgeroberfläche garantiert werden, was das Problem aufwarf, dass die

<sup>8</sup> Vgl. White Paper Blu-ray Disc Format, General, S. 12

Linse in Kontakt mit dem Datenträger kommen und diesen beschädigen könnte. Je geringer die Arbeitsdistanz ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit eines Kontakts. Es wurden verschiedene Maßnahmen entwickelt, um diesem Problem entgegenzuwirken. Eine Möglichkeit besteht in Sensoren, welche die Gefahrenmomente erkennen und diesen elektronisch entgegenwirken. Auch das Anbringen eines Dämpfers ist möglich. JVC und andere Hersteller arbeiten weiters an einer neuen Linse, die bei einer Arbeitsdistanz von 0.5mm keine Probleme verursacht.

Der dünne Durchmesser des Laserstrahls birgt nicht nur den Vorteil, dass die Daten mit höherer Dichte geschrieben werden können, sondern auch, dass das Gerät weniger Energie benötigt. Je geringer der Durchmesser des Laserstrahls ist, umso weniger Energie wird für seine Erzeugung benötigt. Dies ist einer der Gründe, warum der Laser der Blu-ray Disc nur 5mW beim Beschreiben des optischen Datenträgers benötigt, während der Energieverbrauch der CD bzw. der DVD bei gleicher Aufnahmegeschwindigkeit bei einem Vielfachen des blauvioletten Lasers liegt. Dieser Umstand verschafft den Entwicklern mehr Raum für den Bereich des Energieaufwands beim Erforschen von Techniken wie Multilayer- oder Highspeedrecording.<sup>9</sup>

Die Objektivlinse des Lasers bei optischen Datenträgern konzentriert die verkrümmte Wellenfront des Laserlichts auf einen Punkt. Um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erzielen, und mit einer Numerischen Apertur von 0.85 arbeiten zu können „musste der Abstand der Linse zur Aufnahmeschicht deutlich verkleinert werden, weshalb die Schutzschicht auf der dem Laser zugewandten Seite nur noch 100µm dick ist [...]“<sup>10</sup> Trifft der Laser auf eine verschmutzte Oberfläche – zum Beispiel Staub – wird der Laserstrahl defokussiert. Darunter versteht man, dass der Querschnitt des eintreffenden Laserstrahls auf der Schutzschicht vergrößert wird. Die erhöhte NA und die dünnere Schutzschicht lassen diesen Defokus-Effekt praktisch verschwinden. Ein Problem, welches sich jedoch ergibt, besteht darin, dass eine dünnere Schutzschicht anfälliger für Kratzer und Schäden ist. Daher wurden und

---

<sup>9</sup> vgl. White Paper Blu-ray Disc Format, General, S. 13f

<sup>10</sup> Hartmut Gieselmann: Brenner in Blau, c't 2006 Heft 15 S. 115

werden auch weiterhin diverse Methoden entwickelt um die Schutzschicht widerstandsfähiger zu machen. Mehr hierzu in Kapitel 3.3. – Aufbau der Blu-ray Disc.

### 3.3 Aufbau der Blu-ray Disc

Rein äußerlich unterscheidet sich die Blu-ray Disc kaum von ihren Vorgängern. Der optische Datenträger besteht aus einer 1.1mm dicken Kunststoffscheibe aus Polycarbonat mit einem Durchmesser von 12cm und einer 0.1mm dicken Schutzschicht. Zwischen diesen beiden Schichten befindet sich die Aufnahmeebene. Wie schon im vorangegangenen Kapitel erwähnt, wurde die Schutzschicht im Gegensatz zu den Vorgängern stark reduziert, was zur Folge hat, dass die Blu-ray Disc anfälliger für Störungen durch Kratzer und Fingerabdrücke ist. Die erste Generation des Datenträgers fand daher ihren Platz in einer Schutzhülle. Um die Produktionskosten zu senken war es jedoch im Sinne der Blu-ray Disc Association einen Weg zu finden, ohne diese Schutzhülle auszukommen. Zuerst wurde die Hard Coating Technologie verwendet, die man schon von den Vorgängern wie der DVD-RW kennt. Vor allem die beschreibbaren Blu-ray Discs benötigen Schutz vor Fingerabdrücken und Kratzern, da Daten, welche zum Beispiel durch Fingerabdrücke hindurch geschrieben werden bei weitem mehr Fehler aufweisen, als Daten, welche durch einen Fingerabdruck hindurch gelesen werden.<sup>11</sup>

Anhand der Abb. 3.3.1 ist der Grundaufbau einer Blu-ray Disc zu erkennen. Mittels der Hard Coating Technologie wurde die Schutzschicht auf 98µm verkleinert und ein 2µm dicker Hard Coat hinzugefügt - der Einfachheit halber wird in dieser Arbeit jedoch der Hard Coat weiterhin in den Terminus Schutzschicht integriert. Der von der DVD über-

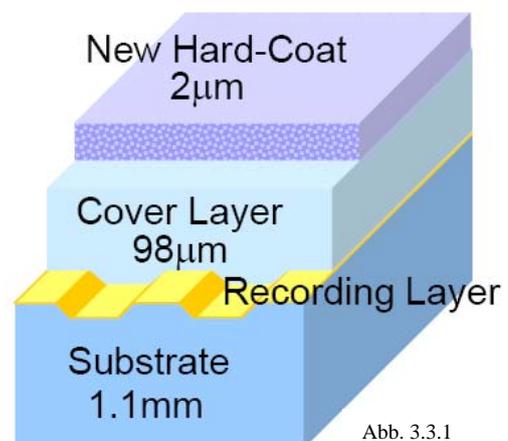


Abb. 3.3.1

<sup>11</sup> vgl. White Paper Blu-ray Disc Format, General, 1.6 Hard Coating S. 29

nommene, aus UV-beständigem Akrylharz bestehende Hard Coat, hat zwar eine gute Widerstandskraft gegenüber Kratzern, doch für die Blu-ray Disc benötigte man einen höheren Härtegrad. Ein viel versprechender Anwärter auf den Platz des neuen Hard Coats ist ein siliziumhaltiges UV-beständiges Harz, welches allen Anforderungen gerecht wird. Die Schutzschicht sowie der Hard Coat können mittels Spin-Coating aufgetragen werden. Hierbei ist es möglich, die ältere Hard Coat Version als die 98µm dicke Schutzschicht zu verwenden. Nähere Informationen zu Spin-Coating finden Sie in Kapitel 2.2 – Begriffserklärung.

In Abb. 3.3.2. ist das Ergebnis eines Versuchsaufbaus der Blu-ray Disc Association zu sehen. Hierbei wurden reines Polycarbonat (a), der herkömmliche Hard Coat (b) die neueste Hard Coat Version (c) durch Kreisbewegungen von #000 Stahlwolle mit einem

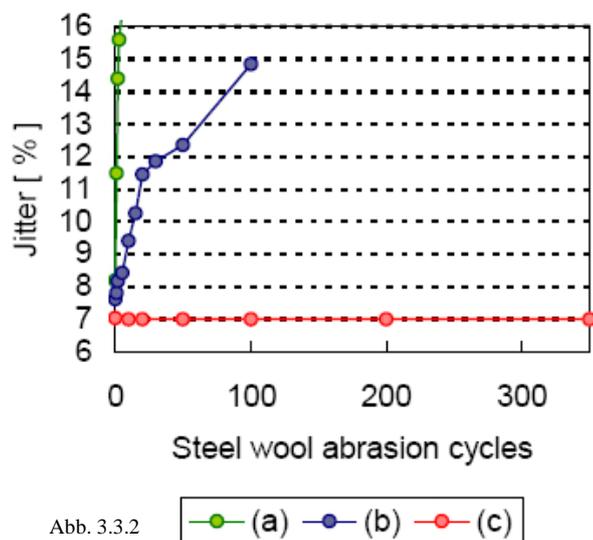


Abb. 3.3.2

Gewicht von 100g/cm<sup>2</sup> zerkratzt, und anschließend eine Fehlermessung durchgeführt. Zu sehen ist hier, dass unbeschichtetes Polycarbonat (a) schon bei geringer Bearbeitung einen sehr hohen Prozentsatz an Fehlern ausweist. Vom Gesichtspunkt der Kratzfestigkeit des herkömmlichen Hard Coats (b) bietet dieser bei normalem Gebrauch genug Schutz für DVDs, da der Verbraucher im Normalfall seine Datenträger nicht mit Stahlwolle bearbeitet. Der neue Hard Coat mit Siliziumanteil hingegen hält sogar mehr als 300 Kreisbewegungen der Stahlwolle stand.<sup>12</sup>

Wie vorher kurz angesprochen sind Fingerabdrücke für die normale BD-Rom ein geringeres Problem als für die BD-RE und die BD-R, weil Daten, die durch Fingerabdrücke hindurch geschrieben werden einen weit höheren

<sup>12</sup> vgl. White Paper Blu-ray Disc Format, General, 1.6 Hard Coating S. 29

Fehleranteil beherbergen als Daten, welche durch Fingerabdrücke ausgelesen werden. Daher war es hier notwendig, eine Schutzschicht zu entwickeln, welche die Auswirkung von Fingerabdrücken so weit wie möglich vermeidet. Diverse Tests mittels AFP (Artificial Fingerprints) zeigten, dass die neu entwickelten Hard Coating Methoden des Blu-ray Disc Formats der Schutzschicht eine bessere Widerstandskraft gegen Fingerabdrücke zukommen lassen. Beispielsweise hat TDK eine Beschichtung entwickelt „von der sich Fingerabdrücke leicht abwischen lassen.“<sup>13</sup>

Weiterführend wird nun ein Einblick in die Aufnahmeschichten der BD-R geboten. Man unterscheidet hier zwei unterschiedliche Aufbautypen. Die anorganische Disc und die organische Disc. Die Aufnahme- und Wiedergabeprozesse unterscheiden sich bei diesen Datenträgern nicht. Einzig die Materialien, aus denen die Aufnahmeschicht besteht, weisen Unterschiede zueinander auf.

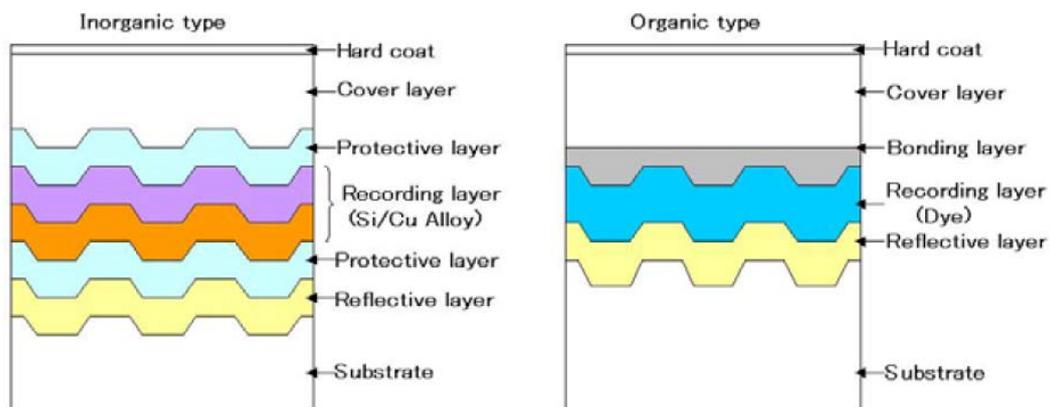


Abb. 3.3.3

In Abb. 3.3.3 sind die Disc-Strukturen zu sehen. Wie aus der Grafik ersichtlich, handelt es sich beim linken Modell um die anorganische BD-R. Die Aufnahmeschicht besteht hier aus Silizium (Si) und Kupfer (Cu). Die Si/Cu – Disc wurde von TDK entwickelt. An jenen Stellen, auf die der Laser trifft, wird durch die entstehende Hitze eine Si-Cu Legierung geschaffen, welche eine geringere Reflexionskraft aufweist, als die getrennten Beschichtungen. Diese Unterschiede in der Reflexionskraft ermöglichen nun das Auslesen von

<sup>13</sup> Hartmut Gieselmann : „Brenner in Blau“, c't 2006, Heft 15

Binärdaten (1 für starke Reflexion, 0 für schwache Reflexion). Diese Methode, bei welcher der Laser dazu benutzt wird um verschiedene Stufen der Reflexion zu erzeugen, wird auch bei den organisch aufgebauten Discs verwendet. Hier handelt es sich jedoch nicht um Legierungen, sondern um Farbstoffe, welche durch die Hitzeeinwirkung des Lasers verändert werden.

Bisher wurde nur der Aufbau der Single-Layer Disc behandelt. In der Entwicklung sind jedoch auch Multilayer-Discs mit mehreren beschreibbaren Ebenen vorgesehen. Im folgenden Abschnitt wird der Aufbau von Dual Layer Discs erläutert.

Mittels Dual Layer Discs kann der Speicherplatz vervielfacht werden. Die Dual Layer Blu-ray Disc kann so bis zu 50 GB an Daten speichern, was in etwa 4 Stunden an HDTV Material entspricht, oder mehr als 20 Stunden SDTV Material. Die Aufnahme kann ohne das Wenden des Datenträgers durchgeführt werden, da die Daten von einer Seite geschrieben, bzw. gelesen werden. Abb. 3.3.4 zeigt den schematischen Aufbau einer Dual-Layer Blu-ray Disc. Jene Datenschicht, welche sich in einer Entfernung von 100µm zur Oberfläche des Speichermediums liegt, wird als L0 bezeichnet, jener im Abstand von 75µm L1.

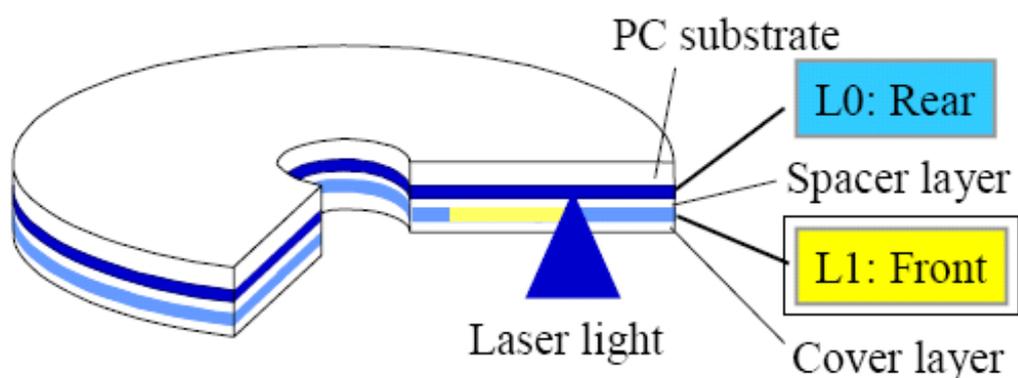


Abb. 3.3.4

Im Gegensatz zur Dual Layer DVD, werden bei der Blu-ray Disc beide Layer durch die Vorderseite abgetastet. Weil hier Daten durch den L1-Layer geschrieben werden, muss dieser eine gewisse Lichtdurchlässigkeit aufweisen, damit der Laser auf dem L0-Layer Daten schreiben kann. Um den

Lichtstrahl für beide Schichten modifizieren zu können wurde der Front-Layer mit einer Lichtdurchlässigkeit von 50% definiert. Um den Front-Layer semi-transparent zu machen muss sowohl der Reflexionsfilm als auch der Aufnahmefilm im Vergleich zu herkömmlichen Discs dünner gehalten werden.

### 3.4 Sicherheitsapplikationen

Die Blu-ray Disc beinhaltet eine Reihe von Sicherheitsapplikationen. Zum einen ist dies der SID Code. SID steht für „Source Identification“, welche durch sichtbare Zeichen dargestellt wird und der Identifizierung des Herstellers des Datenträgers dient. Hier gibt es zwei verschiedene Arten des Codes. Zum einen den Mastering Code, welcher mittels eines Master Recorders bei der Pressung der Disc auf der Datenseite der Scheibe aufgebracht wird. Die zweite Variante, der Mold-Code, besteht aus einer Art Seriennummer, welche auf der den Daten gegenüber liegenden Seite gedruckt wird. Die Positionierung dieser SID-Code Variante ist aus Abb. 3.4.1 ersichtlich.



Abb.3.4.1

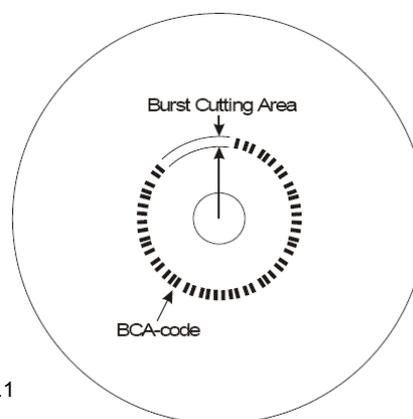


Abb.3.4.2

Jeder Datenträger enthält ebenfalls einzigartige Daten, wie zum Beispiel eine Seriennummer. Diese wird mittels eines starken Lasers in die BCA (Burst Cutting Area) geschrieben. Im Gegensatz zu den bei der DVD gebräuchlichen YAG-Lasern (Infrarotlaser im Bereich von 1064nm), welche teuer in der Anschaffung sind und deren Lebensdauer nicht allzu lange währt, wurde bei der Blu-ray Disc für diesen Zweck eine Hochleistungslaserdiode verwendet,

um die Produktionskosten zu senken. In Abb. 3.4.2 ist die Positionierung der BCA zu erkennen.

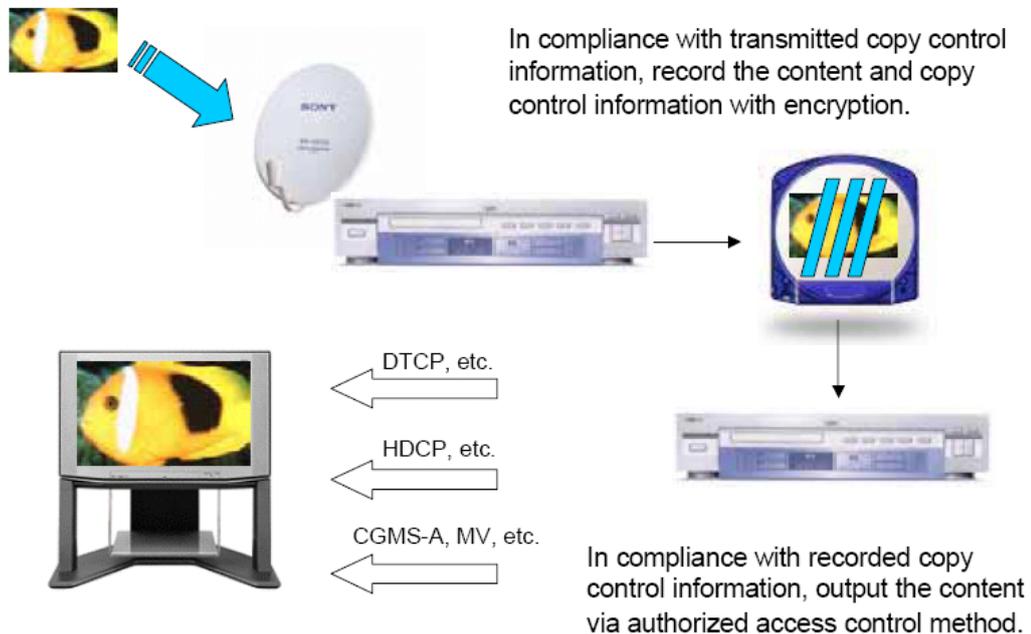


Abb.3.4.3

Da mit der Blu-ray Disc auch die Aufzeichnungen von digitalen HD Übertragungen möglich sind, wurde das „Contents Protection System for Blu-ray Disc Rewritable“ entwickelt. In Abb. 3.4.3 ist die schematische Darstellung dieses Sicherheitssystems zu sehen. Vor der Aufnahme wird eine Copy Control Information, welches mit dem HD-Signal mitgeschickt wird, dahingehend überprüft, ob das Kopieren der Sendung erlaubt ist. Ist dies der Fall, werden die Copy Control Informationen und die Inhalte auf der Blu-ray Disc abgespeichert. In diesem Sicherheitssystem wurde ein Schlüssel des DES (Data Encryption Standard) in der Größe von 56Bits adoptiert. Ein dreifacher DES Schlüssel mit einer Länge von 112 Bits wurde für die Generierung gewählt. Zusätzlich werden RKB -Informationen (Renewal Key Block) und eine einzigartige Disc ID in den ROM-Sektor des Datenträgers geschrieben, um die Verwendung von illegalen Ausgabegeräten ausschließen zu können. Jeder Rekorder oder Player hat einen eigenen Device-Key, welcher je nach Hersteller oder Gerät verschieden ist. Der Entschlüsselungscode wird nun generiert, indem der Device Key des Gerätes und der RKB des Datenträgers kombiniert werden. Weiters werden Raubkopien vorgebeugt, da der Schlüssel auch in Verbindung mit der

einzigartigen Disc ID generiert wird. Eine Bit-für-Bit Kopie ist allerdings nicht im Stande einen Schlüssel zu erzeugen. Es werden auf diese Weise Raubkopien und die Verbreitung der Inhalte via Internet verhindert. MPEG-TS Datenströme werden durch DCTP geschützt, indem ein IEEE 1394 Interface verwendet wird. DCTP steht für Digital Content Transmission Protection, ein Sicherheitssystem nach der Norm IEEE1394, welche von den Unternehmen Hitachi, Intel, Matsushita, Sony und Toshiba vorgeschlagen wurde. Ein weiteres Schutzsystem für die Übertragung eines digitalen Basisbandes für den Gebrauch zu Hause durch HDMI (unterstützt durch die Unternehmen Hitachi, Matsushita, Phillips, Silicon Image, Sony, Thomson und Toshiba) ist HDCP (High-bandwidth Digital Content Protection), welches von Intel bevorzugt wird.

Weiters verwendet die Blu-ray Disc das Advanced Access Content System (AACS). Näheres hierzu findet sich in Kapitel „4.3 Erweiterter Kopierschutz“.

### **3.5 Hybrid Discs**

Der Aufbau einer Hybrid Disc der Blu-ray Familie ähnelt einer Double Layer Disc. Allerdings handelt es sich hierbei um die Kombination eines BD-Rom Layers mit einem CD- oder DVD-Layer. In Abb. 3.5.1 und Abb. 3.5.2 sind die schematischen Darstellungen der Hybrid Entwicklungen zu sehen. Erstere Grafik zeigt eine Verbindung von BD-ROM und DVD-ROM Layer. Die zweite Grafik zeigt den Aufbau einer Kombination aus BD-ROM und CD-ROM. In der Tiefe von 0.1 mm – gemessen von der Oberfläche des Datenträgers – befindet sich der BD-ROM Layer. Der DVD-ROM Layer befindet sich bei 0.6mm und der CD-ROM Layer bei 1.2mm Tiefe. Die Schichten der Hybrid-Disc, welche CD und DVD betreffen, erfüllen die Spezifikationen ISO/IEC 10149 und ISO/IEC 16448/16449, sodass die Abspielgeräte die Schichten als CD und DVD erkennen. Die Voraussetzung für das Funktionieren dieses Systems ist ein fast durchsichtiger BD-ROM Layer für die Wellenlängenbereiche von 780 nm und 650nm jedoch ein ausreichendes Reflexionsvermögen für den Bereich von 405nm. Um dieser Anforderung nachzukommen ist ein maximaler Reflexionsbereich von 12-28 % für Single Layer BD-ROMs erlaubt.

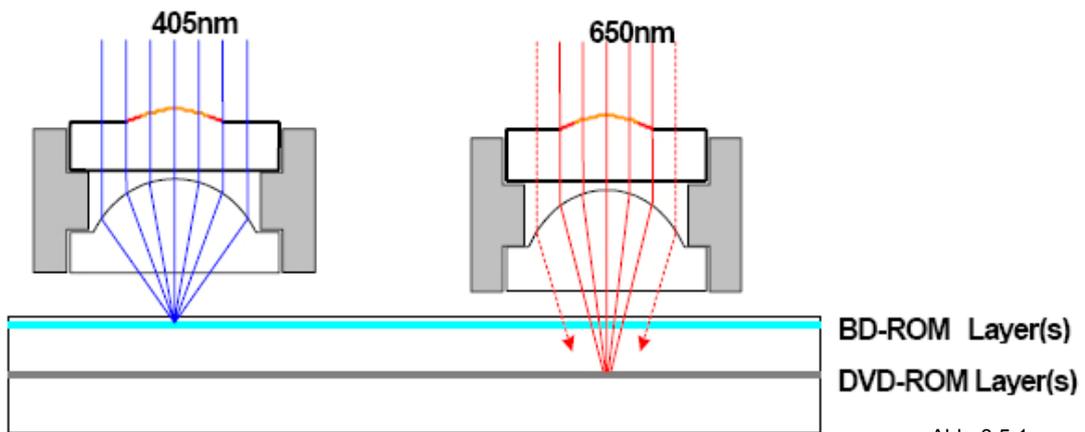


Abb. 3.5.1

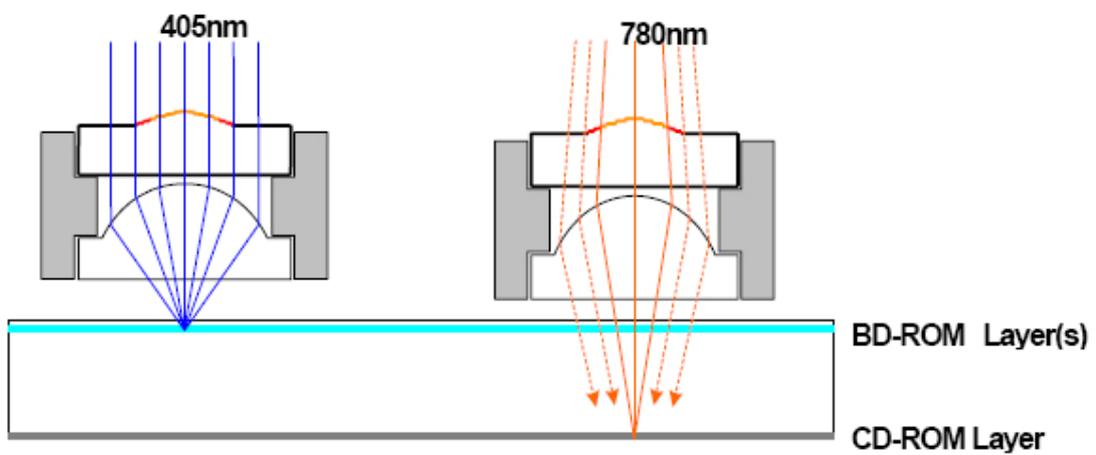


Abb. 3.5.2

Weiters wurden Überlegungen angestellt, in die Hybrid-Familie Dual-Layer Discs aufzunehmen, welche eine Kombination aus BD-ROM und BD-R darstellen. Die Entwicklung dieser Art von Hybriden, welche Intra Hybrid Disc genannt werden, wurde von der Blu-ray Association jedoch noch nicht abgesegnet und befindet sich noch im Forschungsstadium.

## **4. Die HD-DVD**

### **4.1 Die Entwickler**

Die Entwicklung und Verbreitung der HD-DVD liegt im Aufgabenbereich der HD DVD Promotion Group. Den Vorstand dieser Vereinigung bildet die Toshiba Corporation, zusammen mit Memory-Tech Corporation, NEC Corporation und SANYO Electric Co., Ltd. Unter den Mitgliedern der HD DVD Promotion Group finden sich auch Größen wie die Microsoft Corporation, Kenwood, Konica Minolta und die restliche Toshiba Firmengruppe.<sup>14</sup>

Neben den vier Vorstandsunternehmen gehören 62 weitere Unternehmen der HD DVD Promotion Group an (Stand: Juni 2007), sowie 70 unterstützende Mitglieder wie Cyberlink Corp., Nero AG, Sonic Solutions, etc.

Die Vereinigung arbeitet eng mit dem DVD Forum, welches 1995 zur Distribution und Entwicklung der Technologien um die DVD gegründet wurde, zusammen. Das DVD Forum definierte die HD DVD als Nachfolger des DVD Standards für hochdichte optische Speichermedien mit hoher Speicherkapazität.

### **4.2 Höhere Speicherdichte**

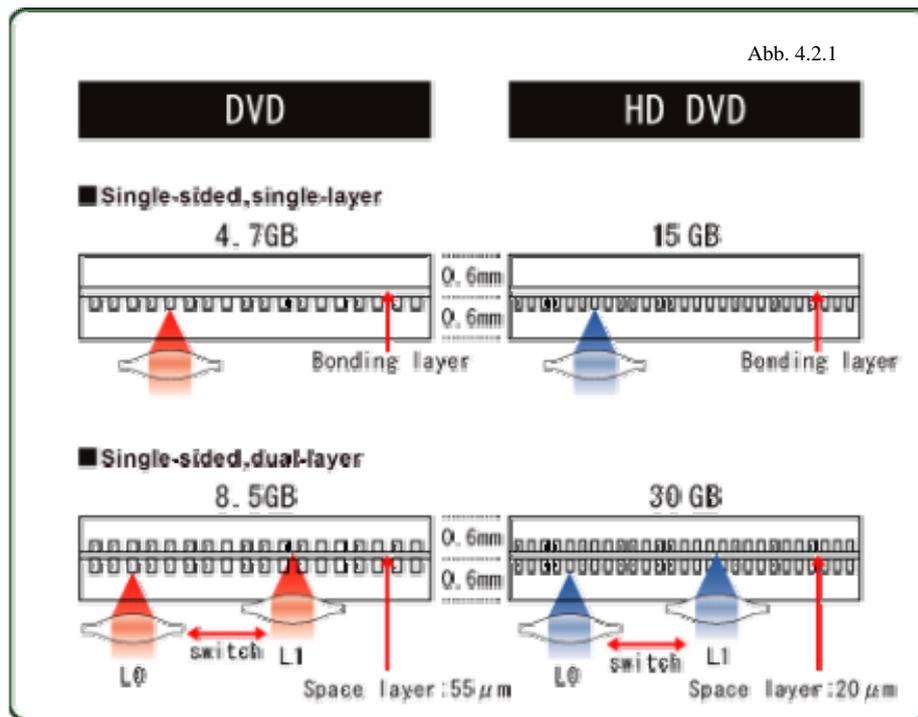
Im Gegensatz zur Blu-ray Disc beruht die Entwicklung der HD-DVD auf den Prinzipien der DVD. Allerdings werden auch bei diesem Datenspeicher einige Neuerungen verwendet, welche bei dem von der Blu-ray Association entwickelten Datenträger ebenfalls verwendet werden. Dies ist einerseits die Verwendung eines blau-violetten Lasers, andererseits die Verwendung neuer Videokompressionen.

---

<sup>14</sup> vgl. <http://www.hddvdprg.com/eng/about/member.html>

Der blauviolette Laser ermöglicht bei der HD-DVD, dass die digitalen Speicherabbilder der Daten durch weitaus kleineren Laserpunkt auf der Oberfläche des Datenträgers dichter geschrieben werden können. Die Kapazität der HD-DVD kann somit bei Single Layer Discs auf 15GB erhöht werden, bei Dual Layer Discs auf 30 GB. Der große Vorteil liegt hier im Kostenfaktor der Produktion. Die Produktionsstätten für HD-DVD müssen nicht von Grund auf neu konzipiert werden, denn bestehende DVD-Produktionsanlagen lassen sich in kurzer Zeit umrüsten.

Wie zuvor erwähnt ist die HD DVD die Weiterentwicklung des DVD Standards. Der Durchmesser des Datenträgers beträgt 12 cm mit einer Datenschicht zwischen zwei Substraten (für Single Layer) mit einer Stärke von jeweils 0.6mm. Es wurden jedoch verschiedene Ansätze ins Auge gefasst, um die Speicherkapazität zu erhöhen. Einer dieser Ansätze ist der Einsatz des blauviolettten Lasers, dessen verringerter Strahldurchmesser etwas größer ist als jener der Blu-ray Disc. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Numerische Apertur von 0.6 der DVD auf 0.65 erhöht wurde. Eine höhere Apertur war nicht möglich, da in diesem Fall die Rohstruktur der DVD verändert, und der Abstand des Lasers zur Aufnahmeschicht verkürzt hätte werden müssen. Die Datenschicht der HD DVD blieb jedoch in einem Abstand zu 0.6mm zur Discoberfläche. In Abb. 3.2.1 sind die Strukturen der DVD und der HD DVD dargestellt. Hieraus ist ersichtlich, dass die Grundstruktur erhalten und nur die Dichte der Daten erhöht wurde.



In Hinsicht auf die Datenkomprimierung setzen die Entwickler der HD DVD auf die Verwendung neuer Videokompressionen. Zum einen ist dies die Verwendung von MPEG 2 HL Codecs, welcher eine Weiterentwicklung der derzeit für DVDs gebräuchlichen MPEG 2 ML Kompression mit höherer Auflösung ist. Eine weitere Videokompressionsstrategie besteht in „AVC [MPEG-4], womit eine vergleichbare Qualität bei deutlich niedrigerer Bitrate verwendet wird“.<sup>15</sup> Die Dritte gebräuchliche Videokompression nennt sich VC-1 basierend auf Microsofts Windows Media 9. Der MPEG-4 AVC und VC-1 Codec ermöglichen es Daten auf etwa ein Drittel der MPEG-2 Codierung der DVD zu schrumpfen.

### 4.3 Erweiterter Kopierschutz

Der von der DVD verwendete Kopierschutz – Content Crambling System, kurz CCS – wurde rasch entschlüsselt und die damit geschützten Filme illegal über das Internet verbreitet. Daher wurde ein besseres System zum Schutz der Inhalte von optischen Speichermedien entwickelt. Das

<sup>15</sup> „HD DVD – Eine Einführung in die Technik“ S. 2

Advanced Access Content System, kurz AACS, unterscheidet hier zwischen dem Schutz für beschreibbare und bereits gepresste Medien (ROMs).

### 4.3.1 AACS für gepresste Medien

Das AACS für bereits beschriebene Medien wurde spezifiziert um folgende Kriterien zu erfüllen:

- Schutz für „offline“ Wiedergabe und optional für das durch das Internet unterstützte Abspielen des Inhalts.
- Unterstützung für eine erweiterte Verwendung wie das Herstellen genehmigter Kopien.
- Unabhängigkeit des Kopierschutzes vom jeweiligen Speicherformat
- Abspielgeräten soll es möglich sein Inhalte zu authentifizieren, welche von einem autorisierten und lizenzierten Hersteller repliziert wurden.

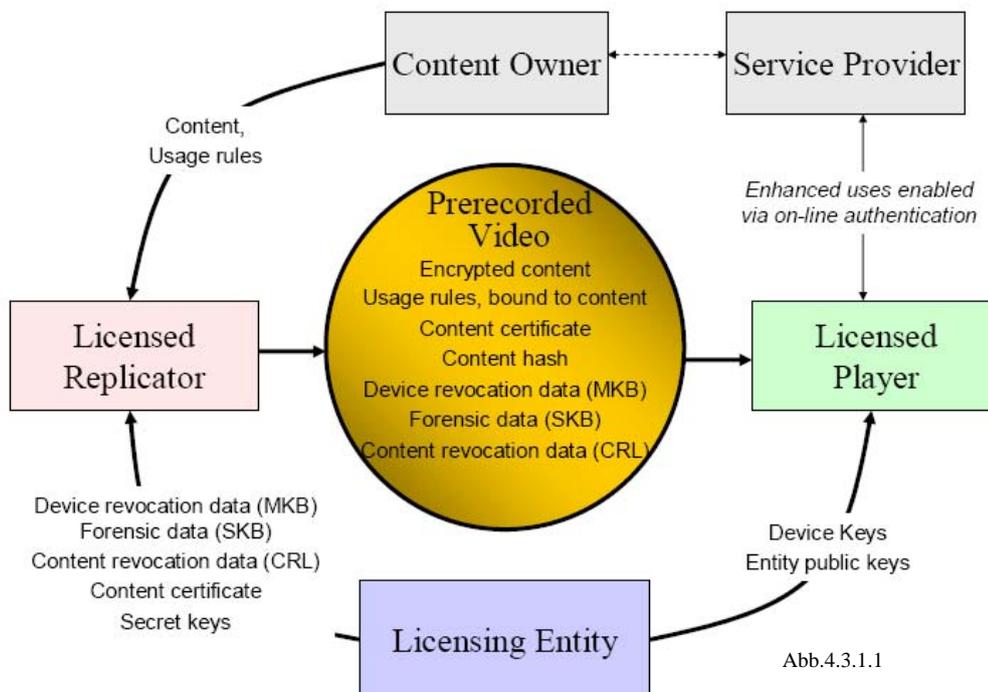


Abb. 4.3.1.1 zeigt den schematischen Aufbau der Funktionsweise des AACS für gepresste Datenträger. Der Besitzer des Inhalts (Content Owner) stellt die

Inhalte einem lizenzierten Hersteller zur Verfügung und legt die Gebrauchsrichtlinien fest. Ein Media Block Key (MBK), eine Content Revocation List (CRL), ein Sequence Key Block (SKB) sowie das Zertifikat für die Inhalte und Geheimschlüssel werden von der zur Lizenzierung beauftragten Instanz dem Hersteller zur Verfügung gestellt. Dieser ist nun berechtigt das Material zu vervielfältigen. Die hergestellten Datenträger beinhalten die vom Besitzer des Inhalts bereitgestellten Daten sowie die verschiedenen Sicherheitsschlüssel der Lizenzierungsinstanz. Weitere Schlüssel, wie der Geräteschlüssel und ein öffentlicher Datensatzschlüssel werden von dieser Instanz an lizenzierte Abspielgeräte vergeben. Das Abspielgerät überprüft mittels dieser Schlüssel die Gültigkeit und die Echtheit der Datenträger, gleichzeitig wird hier überprüft, ob diese manipuliert wurden. Aus diesen verschiedenen Schlüsseln wird nun ein Authentifizierungscode zur Überprüfung der Lizenz generiert. Im Folgenden ist nun eine Beschreibung der wichtigsten Elemente zu finden, welche für die Sicherheit und Zertifizierung des Inhalts der Datenträger sorgen.

#### Content Revocation List (CRL)

Die CRL ist Teil eines Mechanismus, welcher dafür sorgt, dass individuelle Medien für ungültig befunden werden können, um zu verhindern, dass nicht genehmigte Inhalte wiedergegeben werden. Die CRL beinhaltet eine Liste, welche Daten eine gültige Signatur vorweisen konnte, und welche für ungültig befunden wurden. Hier wird jedoch nicht direkt der Inhalt ungültig, sondern das Zertifikat zum Abspielen. Diese Liste wird im permanenten Speicher der Abspielgeräte abgelegt und laufend ergänzt. Welche Umstände dazu führen können, dass der Inhalt ungültig wird, ist in den Lizenzvereinbarungen definiert.

Die Abspielgeräte enthalten einen öffentlichen Datenschlüssel, welche die Grundlage für die Genehmigung der Inhalte, die auf dem Datenträger gespeichert werden, sind. Diese Genehmigung enthält die Elemente Content Certificate, Content Hash Table und die CRL. Alle drei Elemente werden auf dem Datenträger gespeichert, und die Informationen so zum Abspielgerät

gebracht. Der Content Hash Table (CHT) verfügt über eine Reihe von Teilen verschlüsselter Werte, die über die Daten des Datenträgers verteilt sind. Bei Multilayer Discs benötigt jede Schicht einen eigenen CHT. Zusammen mit dem Content Certificate kann nun die Genehmigung zum Abspielen des Datenträgers ermittelt werden.

### Sequence Key Block (SKB)

Jedes AACS konforme Gerät, welches fähig ist bereits beschriebene Datenträger auszulesen erhält bei der Herstellung einen Satz Sequence Keys. Diese werden benötigt um im Sequence Key Block verarbeitet zu werden. Die Schlüssel können einzigartig sein, oder allgemein gehalten, und für mehrere Geräte zur Verfügung stehen. Es gibt zwei verschiedene Wege, wie diese Sequence Keys vergeben werden können. Entweder erhält jedes Gerät 256 24-bit Schlüssel oder einen einzigen Schlüssel, aus welchem mittels eines Media Keys ein Media Sequence Key errechnet werden kann. In diesem Fall werden die Daten nicht durch den Sequence Key entschlüsselt, sondern mit dem Media Key kombiniert. Das bedeutet, dass auch der SKB einem Media Key Block (MKB) zugeordnet wird.

Der SKB wird von dem Lizenzgeber generiert und erlaubt den standardisierten Geräten durch die Verwendung der geheimen Sequence Keys und dem Media Key eine Variant Data zu erzeugen. Wird ein Sequence Key nun ohne Genehmigung verändert, kann der SKB erneuert werden. Ein neuer SKB tritt an die Stelle des ursprünglichen Schlüsselblocks, welcher dadurch als ungültig verifiziert wird.

Sämtliche Schlüssel werden benötigt, um die Abspielerlaubnis der verschiedenen Medien zu erhalten. Kurz zusammengefasst erhalten sowohl der Datenträger als auch das Abspielgerät verschiedene Schlüsselsequenzen, aus denen sich eindeutige Verifikationsschlüssel errechnen. Durch Die CRL wird überprüft ob der endgültig errechnete Schlüssel gültig ist. Ist dies nicht der Fall, werden die Schlüssel zurückgerufen und können durch den Lizenzgeber erneuert werden.

Weiters ermöglicht das AACS die Erstellung einer „Managed Copy“, also einer lizenzierten Kopie des Datenträgers. Diese Kopie wird in voller Auflösung durch eine Bit-für-Bit-Kopie des Originalmaterials durchgeführt. Mit einigen wenigen Ausnahmen verfügen alle durch AACS geschützten Medien diese Möglichkeit. „Managed Copy“ bedeutet also die Erstellung einer Kopie von geschütztem Material mittels externer Genehmigung. Der Prozess um zu einer „Managed Kopie“ zu gelangen, sieht den Einsatz eines Managed Copy Servers (MCS) und einer Managed Copy Machine (MCM) vor. Unter einer MCM versteht man Software oder Hardware eines Verbrauchers, welche den Kopiervorgang durchführt. Dies kann ein Standalone Gerät sein oder eine mit einem lizenzierten Abspielgerät kombinierte Funktion sein.

Wird eine „Managed Copy“ erstellt, so stellt die MCM eine Verbindung zum MCS her, um die Freigabe für die Kopie zu bekommen. Die URL, welche den MCS identifiziert, ist auf dem Datenträger gespeichert. Ist keine gespeicherte URL auf dem Datenträger vorhanden, benutzt das Gerät eine für diesen Fall vorgesehene Standard URL, um eine Verbindung mit dem Server aufzubauen. Über diese Webverbindung ist es dem Nutzer nun möglich das gewünschte Angebot und den gewünschten Transaktionsweg zu wählen. Danach wird die Erlaubnis zur Durchführung der Kopie an die MCM gesandt.

#### **4.3.2 AACS für beschreibbare Medien**

Neben den Spezifikationen des Kopierschutzsystems für gepresste Datenträger, wurde auch ein System für jene Datenträger entwickelt, welche für die Aufzeichnung von HD-Material vorgesehen sind. Diese Spezifikationen erfüllen folgende Anforderungen:

- ) Ein robuster Schutz für die Aufnahme von HD-Material
- ) Schutz für erweiterten Gebrauch des aufgezeichneten Materials (z.B.: Pay for Copy)

- ) Unabhängigkeit des Kopierschutzes vom jeweiligen Speicherformat
- ) Das Beinhalten von aktualisierbaren Verwendungsvorschriften, die mit dem Inhalt der Aufzeichnungen verbunden werden.

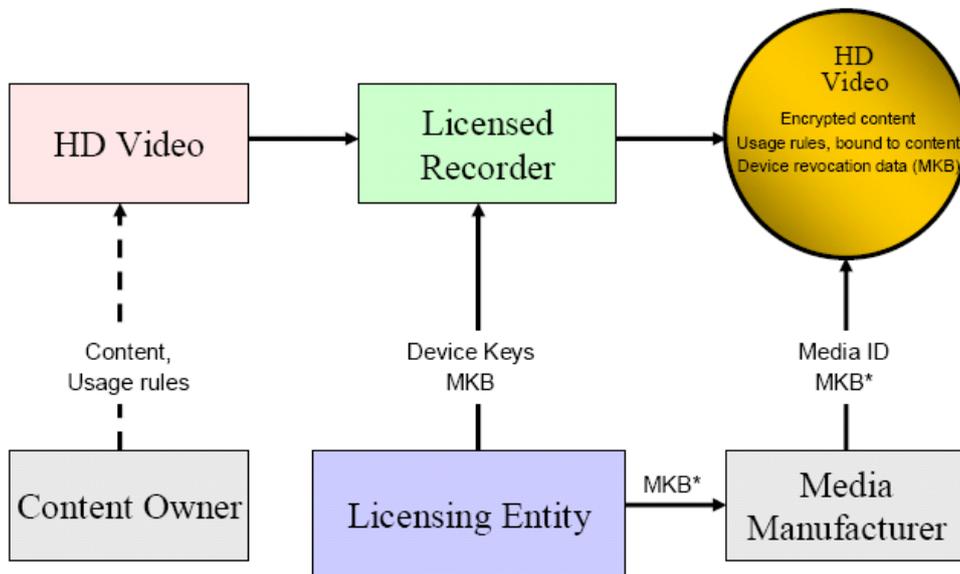


Abb. 4.3.2.1

Die Funktionsweise dieses Systems ähnelt der des Systems für gepresste Medien, weist jedoch einige Unterschiede auf. In Abb. 4.3.2.1 ist die schematische Darstellung des AACS für beschreibbare Medien zu sehen. Das HD-Material, welches aufgezeichnet werden soll, enthält in diesem System ebenfalls die Benutzervorschriften. Die schon aus dem vorhergegangenen Kapitel bekannten Schlüssel werden auch in diesem System verarbeitet. Wird ein aufnahmefähiges Speichermedium in ein lizenziertes Aufnahmegerät eingelegt, verwendet der Recorder seine Geräteschlüssel um den MBK, welcher vom Lizenzgeber bereitgestellt wird, zu verarbeiten. Das Aufnahmegerät schreibt einen Titel Key um das aufgenommene Material zu verifizieren auf den Datenträger. Dieser wird zusammen mit den Benutzervorschriften sowie einem Message Authentication Code, kurz MCA, welcher sich zur Überprüfung aus dem Title Key und der Media ID berechnet, auf den Datenträger geschrieben. Sämtliche Schlüssel werden auch hier zur Verifizierung der Gültigkeit des Inhalts verwendet.

Wie auch bei gepressten Medien enthält dieses System eine Revocation List, mit der ungültige Schlüssel aussortiert und gegebenenfalls durch gültige

Schlüssel ersetzt werden. Die Funktionsweise der Revocation List ist die gleiche, wie bei bereits gepressten Medien beschrieben wurde.

## 4.4 Die Familie der HD DVDs

### 4.4.1 Zwillings- und Kombinationsformate

Bei der Entwicklung der HD DVD wurden verschiedene Formate des Speichermediums ausgearbeitet. Augenmerk wurde auch auf die Kompatibilität von DVD und HD DVD gelegt, und ein Zwillingsformat sowie ein Kombinationsformat wurden entwickelt.

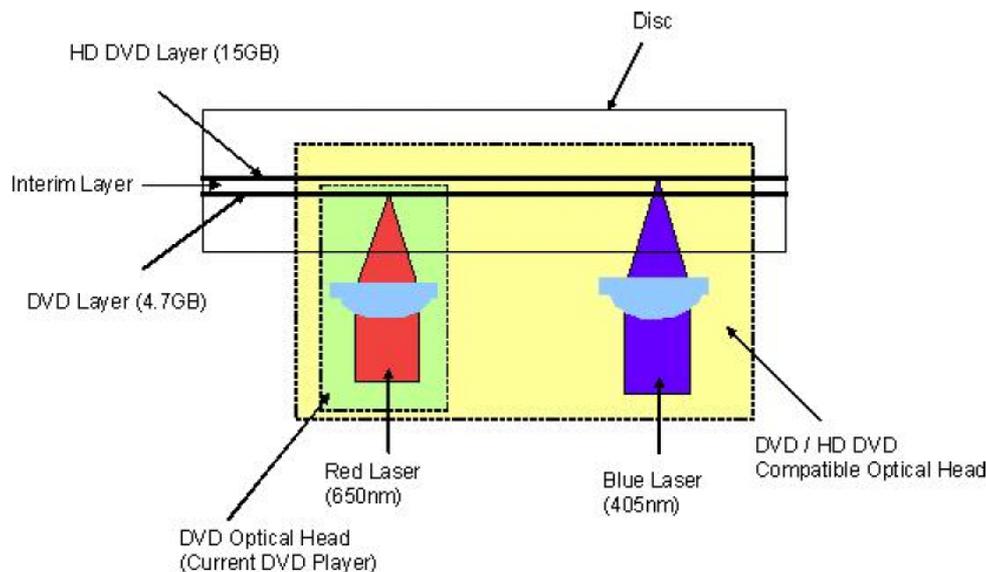


Abb.4.4.1

Abb. 4.4.1 zeigt die schematische Darstellung der Funktionsweise des entwickelten Zwillingsformats. Hier werden DVD Layer und HD DVD Layer von derselben Seite des Datenträgers ausgelesen. Der rote Laser liest einen DVD-5 Layer aus, während der Laserstrahl den DVD Layer durchdringt und die auf der dahinter liegenden Datenschicht geschriebenen Daten ausliest.

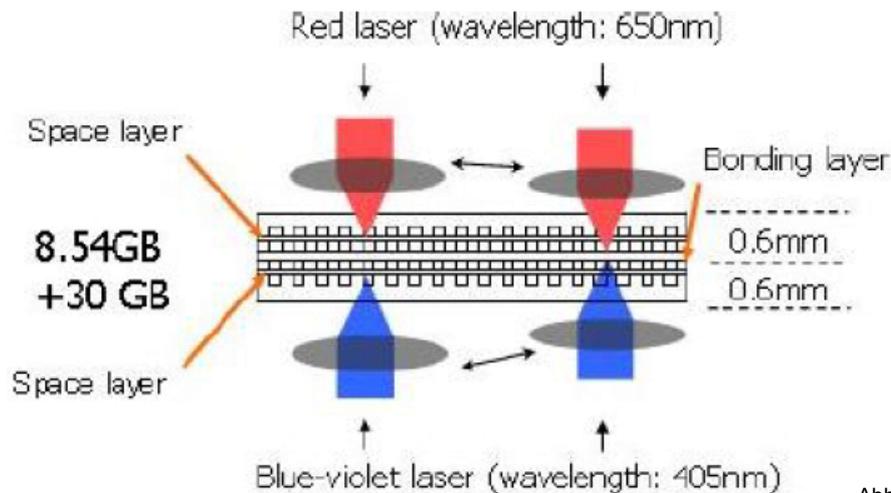


Abb.4.4.2

Abb. 4.4.2 stellt die schematische Darstellung der Funktionsweise des Kombinationsformats von DVD und HD DVD dar. Hier liegt eine doppelseitige HD DVD-Rom/DVD-Rom Hybrid vor. Die untere Seite des Datenträgers besteht aus einer Dual Layer HD DVD ROM mit einer Speicherkapazität von 30 GB. Die obere Seite besteht aus einer gängigen Double Layer DVD-Rom mit einer Speicherkapazität von 8.7 GB. Die so erreichbare Speicherkapazität des Kombinationsformates beträgt daher 38.7 GB.

Beide Entwicklungen sind darauf ausgerichtet, dass ein normaler DVD Player die herkömmlichen Datenschichten beider Datenspeicher auslesen kann und gleichzeitig die Möglichkeit gegeben ist, die Disc als hochoptischen Datenspeicher zu verwenden.<sup>16</sup>

Weiters wurden natürlich auch Standardformate wie die wieder beschreibbare, oder Read-Only-Variante der HD DVD entwickelt. Näheres hierzu ist aus den nächsten Punkten dieser Arbeit zu entnehmen.

#### 4.4.2 HD-DVD-ROM

Die HD DVD ROM ist die Read Only Variante der HD DVDs. Die Single Layer Version dieses Datenspeichers verfügt über eine Kapazität von 15GB,

<sup>16</sup> vgl. „HD DVD The Next Generation of Home Entertainment Version 1.0“ S. 23

als Double Layer verdoppelt sich diese auf 30 GB. Es ist auch möglich, eine doppelseitige Variante zu erstellen, bei der die Daten sowohl an der Ober- als auch an der Unterseite untergebracht werden können, womit sich die Kapazität auf 30GB, bzw. 60 GB bei 2 Double Layer Seiten erhöht.

#### **4.4.3 HD-DVD-R**

Die HD-DVD Recordable ist die einmal beschreibbare Variante mit einer Speicherkapazität von 15GB. Eine doppelseitige Variante ist ebenfalls erhältlich, bei der die Speicherkapazität verdoppelt wird.

#### **4.4.4 HD-DVD-RW**

Die wieder beschreibbare Variante dieser Entwicklung ist – wie die HD-DVD-R – doppelseitig beschreibbar. Jede dieser Seiten ist in der Lage eine Datenmenge von 20Gb aufzunehmen, was eine maximale Gesamtkapazität von 40GB bietet

#### **4.3.5 „3x DVD ROM“**

Die 3x DVD Rom, ist im Grund keine Neuentwicklung. Das System macht sich eine Standard DVD zu Nutze und birgt eine Kapazität von 4.7Gb, bzw. 8.5GB für Dual Layer 3x DVD ROM. Der Unterschied zur konventionellen DVD ist die Verwendung der neuesten CodecEntwicklungen wie zum Beispiel des AVC – MPEG-4 Codecs, was es ermöglicht HD-Inhalte in der Länge von bis zu 135 Minuten auf einer konventionellen DVD unterzubringen.

#### **4.3.6 „8cm Mini HD-DVD“**

Die 8cm Mini HD DVD ist sozusagen der kleine Bruder der HD DVD. Der Durchmesser dieses Datenträgers beträgt statt den üblichen 120mm nur

80mm. Der verfügbare Speicher dieser Version der HD DVD beträgt in der einlagigen Ausführung 4.7GB, bzw. 9.4GB als zweilagige Ausführung.

## **5. Übersicht der technischen Parameter und Marktsituation**

### *5.1 Übersicht der technischen Parameter*

In den vorhergehenden Kapiteln wurden die neuesten Entwicklungen im Bereich der optischen Speichermedien behandelt und die Technologie, die hinter den beiden Datenträgern Blu-ray Disc und HD DVD steckt, behandelt. Diese Datenspeicher wetteifern nun um das Erbe der DVD. Bevor die derzeitige Marktsituation näher beleuchtet wird, werden nun beide Datenträger gegenübergestellt, um sowohl die Vor- als auch die Nachteile dieser beiden Entwicklungen zu verdeutlichen.

Ein wichtiges Kriterium, welches auch großen Einfluss auf die Entscheidung des Verwendungszweckes der Datenträger hat, ist der zur Verfügung gestellte Speicherplatz. Durch die Weiterentwicklung der für die DVD entwickelten Technologie ist es möglich bis zu 15 GB Daten auf einer einschichtigen HD-DVD unterzubringen. Die Blu-ray Disc hingegen wurde von Grund auf neu konzipiert und stellt 25GB Speicherplatz in der einschichtigen Version zur Verfügung. Trotz verschiedenen Produktionsweisen, haben beide Technologien Gemeinsamkeiten. So arbeiten sowohl die Blu-ray Disc als auch die HD DVD mit einem blau-violetten Laser, welcher es ermöglicht die binären Daten in wesentlich kleinerer Form zu schreiben, als dies mit dem Laser der DVD möglich ist. Dafür verantwortlich ist der geringere Durchmesser des Laserstrahls, welcher auf die Oberfläche des Datenträgers trifft. Durch die komplette Neuentwicklung des Datenträgers der Blu-ray Association wurde der Abstand der Linse zum Datenträger verkürzt, was wiederum zur Folge hatte dass man eine neue Schutzschicht entwickeln musste, da die auszulesende Datenschicht näher an der Oberfläche liegt.

Dies führt zu einem nächsten wichtigen Kriterium. Die Produktionskosten und die Verkaufspreise. Während für die Blu-ray Disc komplett neue Produktionsmaschinen entwickelt werden mussten, war es möglich die Produktionsstätten der DVD kostengünstig umzurüsten indem der

Standard Stamper gegen einen HD-Stamper getauscht wurde. Hier müssen zwar gegenüber der DVD geringere Toleranzen beachtet werden, dennoch ist das Umrüsten der Produktionsstätten kostengünstiger. Daraus resultieren natürlich preisliche Unterschiede. Genauer zur Marktsituation ist im nächsten Kapitel 5.2 zu finden.

Durch die Verringerung des Abstandes der Datenschicht zur Linse des Lasers bei der Blu-ray Disc, wurde die Schutzschicht auf dem Datenträger dünner gemacht und auf 0,1 mm geschrumpft, was diese Schutzschicht anfälliger für Störungen durch Kratzer und Verschmutzungen macht. Daher entwickelte das Team um die Blu-ray Disc eine Versiegelung für die Schutzschicht, den Hard Coat. Dies macht die Blu-ray Disc im Gegensatz zur HD DVD widerstandsfähiger gegenüber äußeren Einwirkungen, welche die Beständigkeit des Datenträgers schädigen. Ebenfalls ist diese neue Beschichtung verlässlicher, wenn es darum geht Fingerabdrücke zu vermeiden, was die Handhabung der Blu-ray Disc erleichtert.

Beide Speichermedien bedienen sich des neu entwickelten AACSKopierschutzes. Dies ist die Weiterentwicklung des bei der DVD verwendeten Kopierschutzes, welcher jedoch relativ schnell geknackt werden konnte. Die Blu-ray Disc bietet außerdem weitere Sicherheitsapplikationen, wie einzigartige Disc ID's, die sich auf der Disc selbst und nicht unter den Daten befinden, und ein Copy Protection System für Blu-ray Discs. Dieses höhere Maß an Sicherheit macht die Blu-ray Disc attraktiver für die Filmindustrie. Wie aus dem nächsten Kapitel ersichtlich ist, hat die Blu-ray Disc beim Kampf um den Titel des Marktführers bereits jetzt bessere Chancen. Auch wenn der Techniker der Blu-ray Disc den Vorzug gibt, ist die HD DVD aus der Sicht des Kaufmannes die bessere Entscheidung, da der geringere Preis im besseren Verhältnis zum verfügbaren Speicherplatz steht.

Die Entwickler der HD DVD sehen für ihren Datenträger neben den üblichen ROM, Recordable und RW Varianten auch noch weitere Variationen vor. So gehören neben diesen optischen Datenträger – Standards auch die 3xDVD und die 8cm Mini HD DVD zur Familie. Die 3xDVD besteht aus einer

üblichen DVD, auf der jedoch mit Hilfe neuer Videocodierung das HD-Material auf einer normalen DVD untergebracht wird. Die 8cm Mini HD DVD ist sozusagen der kleinen Bruder der HD DVD. Es handelt sich hier um eine HD DVD Scheibe mit geringem Durchmesser, die einen Speicherplatz von 4,7 GB zur Verfügung stellt.

Weiters entwarfen beide Entwicklungsteams Kombinations- und Hybridformate, die es ermöglichten Blu-ray Discs und konventionelle DVDs oder CDs auf einem Datenträger unterzubringen. So stellte die Blu-ray Association einen BD/DVD- sowie einen BD/CD-Hybrid vor. Ebenso wird es diese Formate bei der HD DVD geben, mit dem Unterschied, dass die Kombinationsformate bei der HD DVD wechselseitig vorhanden sein werden. Das bedeutet, dass eine Seite den HD DVD Layer beherbergt, die Rückseite hingegen den DVD oder CD Layer.

Im Folgenden werden die hier gegenübergestellten Fakten zur besseren Übersicht in einer Tabelle untergebracht, um die Unterschiede auf einen Blick leichter erkennen zu können:

	<b>Blu-ray Disc</b>	<b>HD DVD</b>
<b>Laserlicht / Wellenlänge</b>	Blauviolett bei 405nm	Blauviolett bei 405nm
<b>Speicherplatz (Single Layer)</b>	25 GB	15 GB
<b>Formate</b>	BD-R, BD-RE, BD-ROM	HD DVD – ROM, HD DVD – R, HD DVD- RE, 3xDVD, 8cm Mini DVD
<b>Zwillingsformate</b>	DVD, CD	DVD, CD
<b>Sicherheitsapplikationen</b>	AACS, SID-Code, BCA-Code, "Contents Protection System for Blue-ray Disc Rewriteable"	AACS
<b>Produktionskosten</b>	HOCH (Durch komplett neue Produktionsstätten)	NIEDRIG (Durch Umrüstung bestehender DVD-Produktionsstätten)

	<b>Blu-ray Disc</b>	<b>HD DVD</b>
<b>Stabilität</b>	Verbesserte Schutzschicht, beständiger gegen Fingerabdrücke und Kratzer	Wie DVD

## 5.2 Die Marktsituation

Sowohl Die Blu-ray Disc als auch die HD DVD haben starke Vertreter an ihrer Seite. Im Falle der Blu-ray Disc ist dies das Unternehmen Sony, welches die Blu-ray Disc für ihre neue Spielkonsole Sony Playstation 3 verwendet. Für die HD DVD ist dies Microsoft. Sony Pictures Home Entertainment veröffentlichte den 19-seitigen „Next Generation Disc Tracking Report“ basierend auf Zahlen, die vom Marktforschungsinstitut Nielsen bis zum 18ten März 2007 zusammengetragen wurden. Die Daten beziehen sich auf die bei beiden HD-Disc Formaten veröffentlichten Filmen in den USA.<sup>17</sup>

Aus diesem veröffentlichten Bericht ist ersichtlich, dass die Blu-ray Disc gegenüber der HD DVD bis dato einen Vorsprung aufweisen kann. Mit einem Verhältnis von 2,3:1 von den verkauften Blu-ray Titeln zu den verkauften HD DVD Titeln, gerechnet seit Jahresbeginn, liegen die Verkaufszahlen des Datenspeichers der Blu-ray Disc Association deutlich über denen ihres Konkurrenten. Diese Zahlen sprechen allerdings nur für das Verhältnis der Verkaufszahlen zueinander. Allgemein betrachtet befinden sich die absoluten Verkaufszahlen für beide Entwicklungsteams weit unter den Erwartungen. „Einer der Gründe ist für US-Händler, dass sich Studios selten an die versprochene gleichzeitige Filmveröffentlichung auf DVD und auf HD-Disc halten. Aufgrund der Verzögerungen von bis zu mehreren Tagen würden Videofans oftmals zur verfügbaren DVD Version greifen“<sup>18</sup>. Das Erscheinen von Blu-ray Discs kann sich hingegen sogar um Wochen verzögern, da ein neuer Mechanismus, genannt „BD+“, als Antwort auf Angriffe auf den

<sup>17</sup> vgl. Nico Jurrán: „Hochauflösender Schein“ c't Heft 10 2007 S. 31

<sup>18</sup> Nico Jurrán: „Hochauflösender Schein“ c't Heft 10 2007 S. 31

Kopierschutz der Blu-ray Disc auf den zukünftig produzierten Discs untergebracht wird. Dieser Mechanismus besteht aus einem Programm, welches „im Hintergrund überprüft, ob der Ausgabestrom manipuliert wird“<sup>19</sup>

Aber nicht nur bei den verkauften Datenträgern, sondern auch bei den Abspielgeräten blieben die erwarteten Verkaufszahlen aus. Im Schnitt wurden mehr HD DVD Player verkauft, doch die Verkaufszahlen von DVD-Abspielgeräten übersteigt diese Zahl immer noch bei Weitem. Als Antwort auf diesen Umstand senkte Toshiba die Preise für die bereits auf dem Markt erschienenen Abspielgeräte. „Bei Standalone Playern fürs Blu-ray Format ist ein ähnlicher Preisverfall zu beobachten. Zudem müssen die Hersteller fürchten, auf Modellen ohne Internet-Anschluss und Bild-in-Bild-Funktion sitzen zu bleiben, nachdem die Spezifikation diese Features für den 31. Oktober erscheinende Geräte vorschreibt und erste Hollywood Studios bereits angekündigt haben, diese künftig nutzen zu wollen.“<sup>20</sup>

Das Fazit aus den bisherigen Verkaufszahlen ist, dass nach den getätigten Investitionen die erhofften stabilen Preise auf hohem Niveau ausgeblieben sind und die Filme in Kleinstauflagen produziert werden müssen, um das jeweilige Format voranzutreiben, was dazu führt dass spätere Großauflagen entsprechend günstiger verkauft werden müssen. Samsung kündigte für Weihnachten 2007 das Erscheinen eines Standalone Players an, der beide Formate, sowohl Blu-ray Disc als auch HD DVD vollwertig unterstützt, was es den HD-Speichermedien vielleicht ermöglicht zu einem Massenmedium zu werden.<sup>21</sup>

---

<sup>19</sup> Nico Jurrán: „Hochauflösender Schein“ c't Heft 10 2007 S. 31

<sup>20</sup> Nico Jurrán: „Hochauflösender Schein“ c't Heft 10 2007 S. 31

<sup>21</sup> vgl. Nico Jurrán: „Hochauflösender Schein“ c't Heft 10 2007 S. 31

## 6. Forschung

Die Entwicklung von High Definition und der immer weiter steigende Bedarf an Speicherplatz in der Datenverarbeitungsindustrie machten eine Weiterentwicklung von optischen Datenträgern notwendig. Zwei Formate von verschiedenen Entwicklungsgruppen wurden definiert. Die Blu-ray Disc und die HD DVD. Während die Blu-ray Disc von der Blu-ray Association von Grund auf neu entwickelt wurde, schließt die Entwicklung der HD DVD durch die HD DVD Promotion Group an die Grundlagen der DVD an. Beide Entwicklungsteams hatten das Ziel einen hochdichten optischen Speicher zu entwickeln, welcher genügend Speicherplatz für Filme in High Definition bietet. Die DVD bietet in diesem Fall nicht die erforderlichen Kapazitäten, um diesen Ansprüchen gerecht zu werden.

Im Folgenden werden die Forschungsfragen noch einmal übersichtlich zusammengefasst und behandelt.

### Wie funktioniert die Technologie der Blu-ray Disc?

Die Definitionen der Standards für die Blu-ray Disc Familie wurde 2002 festgelegt. Der Datenträger wurde von der Blu-ray Association vollständig überarbeitet und neu entwickelt, obwohl die äußeren Merkmale von optischen Datenträgern erhalten blieben. Der Datenspeicher ist – wie auch die CD oder DVD - eine Kunststoffscheibe mit einem Durchmesser von 12 cm und einer Dicke von 1,2mm. Zu einem hochdichten optischen Speicher wird der Datenträger durch die Verwendung eines blauvioletten Lasers zum Auslesen und Schreiben der Daten. Diese Entscheidung wurde getroffen, da der Durchmesser des Laserpunktes von der Wellenlänge des Lichts abhängig ist. Der blauviolette Laser arbeitet im Bereich von 405nm. Für einen Laser im darunter liegenden Wellenlängenbereich wäre die Anwendung nicht möglich, da Kunststoffe bei einer Wellenlänge von weniger als 400nm eine unzureichende Transparenz aufweisen. Um ein maximales Ergebnis zu erzielen, wurde auch der Abstand der Datenschicht zur Linse des Lasers verkürzt. Dies hatte das Ziel, dass der Laserstrahl auf einen kleineren Punkt

fokussiert werden konnte, um die Größe der Bit-Informationen auf ein Minimum zu reduzieren. Der Laserstrahl eines Blu-ray Laufwerkes hat einen Durchmesser von  $0,58\mu\text{m}$ . Ein weiterer Vorteil eines dünneren Laserstrahls liegt im Energieverbrauch. Ein schmalerer Laserstrahl verbraucht weniger Energie, wodurch den Laufwerken mehr Energie für geplante Entwicklungen wie Multilayer- und Highspeedrecording zur Verfügung steht.

Durch die Verkürzung des Abstandes der Linse zur Datenträgeroberfläche steigt auch das Risiko, dass die Linse den Datenträger berührt und dadurch beschädigt wird. Die eingesetzte Linse besteht im Grund aus 2 übereinander liegenden Linsen, welche zusammen die Anforderungen erfüllen. Entwicklungsansätze, um das Problem des Kontakts der Bauteile zu vermeiden reichten von Dämpfern, welche um die Linse angebracht werden, bis hin zu Sensoren, welche den Gefahrenmoment erkennen, und einem möglichen Kontakt elektronisch entgegenwirken. Verschiedene Unternehmen arbeiten auch an einer neuen Linse, mit der ein Arbeitsabstand von  $0,5\text{mm}$  möglich ist.

Es wurde jedoch nicht nur der Abstand des Lasers zur Oberfläche verändert. Um eine weitere Verkürzung des Abstands zur Datenschicht zu erreichen, wurde diese ebenfalls näher zur Oberfläche des Datenträgers gebracht. Lag die Datenschicht bei der CD und der DVD in einem Abstand von  $1,2\text{mm}$ , bzw.  $0,6\text{mm}$  zur Oberfläche, so liegt die Datenschicht der Blu-ray Disc nur  $0,1\text{mm}$  unter der Oberfläche. Dies hatte auch Auswirkungen auf die Schutzschicht des Datenträgers. Sie wurde von den  $0,6\text{mm}$  ebenfalls auf  $0,1\text{mm}$  reduziert, was eine höhere Anfälligkeit für Beschädigungen mit sich zog. Die herkömmliche Schutzschicht war für diesen Datenträger nun nicht mehr ausreichend, und man musste neue Materialien entwickeln, welche eine sichere Handhabung des Datenträgers garantierte, da die ersten Versionen der Blu-ray Disc, welche mit einer Cartridge Schutzhülle versehen waren, unhandlich und teurer in der Produktion waren. So wurde eine neue beständige Schutzschicht entwickelt – der so genannte Hard Coat. Dieser besteht aus siliziumhaltigem UV-beständigem Kunstharz, welches eine höhere Festigkeit und Widerstandskraft gegenüber Kratzern aufweist, als das bei der

DVD verwendete Akrylharz. Der Hard Coat ist nur ein 2µm dicker Schutzfilm auf der Schutzschicht, und wird daher in den Terminus Schutzschicht integriert und nicht extra angegeben. Durch die geringe Dicke ist es problematisch diese Schutzschicht zu pressen, daher werden bei der Herstellung der Blu-ray Disc diese Komponenten durch Spin-Coating aufgetragen. Tests der Blu-ray Disc Association, bei denen die verschiedenen Schutzschichttypen mit Stahlwolle bearbeitet wurden, zeigten, dass die neu entwickelte Schutzschicht auch nach 300 Kreisbewegungen mit der Stahlwolle keine Beeinträchtigung aufwies. Ebenso zeigten die Tests, dass die entwickelten Schutzschichten eine höhere Beständigkeit gegenüber Fingerabdrücken aufweisen konnten.

Es wurden 2 verschiedene Typen von Aufnahmeschichten für die Blu-ray Disc entwickelt. Die anorganische Aufnahmeschicht bedient sich der Materialien Kupfer und Silizium, während die organische Aufnahmeschicht mit Farbstoffen arbeitet. Die Funktionsweise beider Schichten ist jedoch die Gleiche. Durch die Einwirkung des Laserstrahls ändert sich das Reflexionsvermögen der beleuchteten Stellen. Im Falle der anorganischen Disc verschmelzen die Materialien zu einer Kupfer-Silizium-Legierung, bei den organischen Datenträgern wird das Reflexionsverhalten der Farbstoffe verändert.

Wie schon bei der DVD, sind auch in den Spezifikationen der Blu-ray Disc Multilayer Datenträger vorgesehen. Hier liegt der Front-Layer, also jene Schicht die näher an der Oberfläche der Disc liegt, in einem Abstand von 75µm zur Oberfläche. Der Rear Layer, also die rückwärtige Datenschicht befindet sich im Abstand von 100µm zu der dem Laser zugewandten Seite. Der Front-Layer wurde mit einer Lichtdurchlässigkeit von 50% definiert, damit der Laserstrahl so modifiziert werden kann, um auf beide Schichte zuzugreifen.

Neben dem Aufbau wurden auch neue Sicherheitsapplikationen für die Blu-ray Disc entwickelt, um einen starken Kopierschutz zu gewährleisten. Einerseits ist dies die Verwendung des AACS Kopierschutzsystems, welches durch eine Reihe von zusammenspielenden Schlüsseln, einer Art Datenbank für gültige Datenschlüssel und eine Widerrufsliste für nicht verifizierte

Datenschlüssel ein hohes Maß an Schutz vor illegalen Kopien bietet. Ein Satz Sicherheitsschlüssel ist einerseits durch den Hersteller auf dem Datenträger. Andererseits auch durch Sicherheitsschlüssel in den lizenzierten Abspielgeräten vorhanden sein. Aus beiden Schlüsselpaaren berechnen sich schließlich die Authorisationsschlüssel, welche der Verifizierung des Inhalts dienen. Gebrauchsbestimmungen des Inhaltes werden ebenfalls auf dem Datenträger mitgeliefert. Das AACS System bietet auch die Möglichkeit eine „Managed Copy“ zu erstellen. Hier wird der Verbraucher ermächtigt gegen Bezahlung Kopien des auf dem Datenträger gelieferten Materials herzustellen, wobei in diesem Fall jedoch die Verbindung zu einem MCS (Managed Copy Server) hergestellt werden muss, um die Erlaubnis an das Kopiergerät, genannt MCM (Managed Copy Machine), zu senden.

Neben dem neuen Kopierschutzverfahren verfügt die Blu-ray Disc noch über weitere Sicherheitsmerkmale. Eines dieser Merkmale ist der Source Identification Code (SID-Code), welche der Identifizierung des Herstellers des Datenträgers dient. Weiters verfügt der Datenträger über einzigartige Seriennummern, welche mittels eines starken Lasers in die Burst Cutting Area der Discs gebrannt werden. Zudem wurde ein „Content Protection System for Blu-ray Disc Rewriteable“ entwickelt, mit dem es möglich ist, legale Aufzeichnungen von gesendetem HD-Material zu erstellen. Die Genehmigungen zur Aufzeichnung und die Gebrauchsbestimmungen werden in diesem Fall zusammen mit dem HD-Material übermittelt und von diesem System ausgelesen und interpretiert. Werden alle Voraussetzungen erfüllt, nimmt der Recorder das unverschlüsselte Material auf.

Die Spezifikationen sehen auch Hybride vor. Hiermit ist gemeint, dass Kombinationen von Blu-ray Discs und den althergebrachten Systemen DVD und CD ermöglicht werden. Das Laufwerk zum Auslesen dieser Hybride besitzt sowohl den ultravioletten als auch den roten und infraroten Laser der alten Systeme. Da die Datenschicht der Blu-ray Disc im Abstand von nur 0,1mm zur Oberfläche des Datenträgers liegen, die Datenschichten der alten Systeme jedoch in einem Abstand von 0,6mm kann der rote Laser bei einer Durchlässigkeit von 12-28% des Blu-ray Layers problemlos die Schichten von

CD und DVD auslesen, was auch bedeutet, dass diese Schicht von den „alten“ Laufwerken erkannt und ausgelesen werden können. Die Familie der Blu-ray Disc umfasst die schon von der DVD bekannten Mitglieder ROM (die nur lesbare Variante), RW (die wieder beschreibbare Variante) und RE (die einmal beschreibbare Variante). Weitere Forschungen im Hybridbereich gehen in die Richtung sowohl BD-Rom als auch BD-R Schichten zu kombinieren. Diese Weiterentwicklung wurde jedoch von der Blu-ray Association noch nicht abgesegnet und befindet sich weiterhin in der Entwicklungsphase.

### Wie funktioniert die Technologie der HD DVD?

Die Entwicklung der HD DVD liegt im Aufgabenbereich der HD DVD Promotion Group. Die Spezifikationen beruhen auf der Technik der DVD. Der hochdichte optische Speicher besteht aus einer Kunststoffscheibe von 12cm Durchmesser und einer Dicke 1.2mm. Die Datenschicht befindet sich wie schon beim Vorgänger in einem Abstand von 0,6mm zur Oberfläche.

Zur Erhöhung der Datendichte wird bei diesem Datenträger ebenfalls der Einsatz eines blauvioletten Lasers im Wellenlängenbereich von 405nm bevorzugt. Der blauviolette Laser verfügt über einen schmäleren Laserstrahl also der bei der DVD verwendete infrarote Laser, was einen geringeren Fokus der Laserspitze mit sich bringt, wodurch die Bit-Bilder der Daten wesentlich dichter auf das Speichermedium geschrieben werden können als bei der DVD. So kann bei der HD DVD eine Kapazität von 15GB erreicht werden.

Durch die Entwicklung von Multilayer Discs kann diese Speicherkapazität jedoch vervielfacht werden. So wurden Dual Layer HD DVDs entwickelt, bei denen beide Datenschichten von derselben Seite ausgelesen werden. Das System definiert den Front Layer (jene dem Laser zugewandten Seite) mit einer Durchlässigkeit für starkes Laserlicht, sodass der dahinter liegende Rear Layer ausgelesen werden kann. Diese Anordnung der Datenschichten ermöglicht eine Kapazität von 30GB. Es wurde ebenfalls eine doppelseitige Version dieser Technik entwickelt, wobei sich auf der Rückseite

des Datenträgers weitere zwei Layer befinden, die in der oben genannten Arbeitsweise verfahren. Dadurch erhält man eine 4-Layer HD DVD, welche eine Datenmenge von 60GB aufnehmen kann.

Die Familie der HD DVD beherbergt neben den Standardformaten HD DVD – ROM (die lesbare Variante), HD DVD – R (die einmal beschreibbare Variante) und der HD DVD – RW (die wieder beschreibbare Variante) eine weitere Variante der DVD, die so genannte 3xDVD-ROM. Hier wird HD-Material mittels neuer Videocodierung untergebracht. Die Speicherkapazität und Funktionsweise ist die einer herkömmlichen DVD. Weiters beherbergen die Spezifikationen eine 8cm Mini HD DVD. Dies ist eine HD DVD mit dem Durchmesser von 8cm und einer Speicherkapazität von 4,7 GB, welche auch als Double Layer Version verfügbar ist.

Weiters wurden auch Kombinations- und Zwillingsformate entwickelt. Unter diesen Begriffen versteht man die Verschmelzung der HD DVD Technologien mit jenen von CD und DVD. Kombinationsformate bauen auf einen Datenträger auf, bei dem sowohl Vorder- als auch Rückseite verwendet werden. Eine Seite wird mit der neu entwickelten HD DVD Technologie ausgelesen, während die andere Seite eine CD- oder DVD-Datenschicht enthält. Sowohl die HD DVD- als auch die DVD- oder CD Schicht liegt in einer Double Layer Version vor, womit sich im Falle eines HD DVD/DVD Hybrides eine Speicherkapazität von insgesamt 38,7GB ergibt. Das Zwillingsformat beherbergt ebenfalls die Datenschichten zweier Technologien, welche jedoch von der gleichen Seite aus gelesen werden können. Ziel dieser Entwicklung war es, dass gängige DVD Player den für sie vorgesehenen Layer auslesen können, der Datenträger jedoch auch als hochdichter optischer Datenspeicher benutzt werden kann.

Für die HD DVD ist auch ein neuer Kopierschutz vorgesehen, da die Sicherheitsmechanismen der DVD schnell geknackt worden sind und die Inhalte der Datenträger kopiert und illegal verbreitet wurden. Dieser Sicherheitsmechanismus ist das AACS Kopierschutzsystem, welches durch eine Reihe von zusammenspielenden Schlüsseln, einer Art Datenbank für

gültige Datenschlüssel und eine Widerrufsliste für nicht verifizierte Datenschlüssel ein hohes Maß an Schutz vor illegalen Kopien bietet. Ein Satz Sicherheitsschlüssel wird einerseits durch den Hersteller auf dem Datenträger; andererseits durch Sicherheitsschlüssel in den lizenzierten Abspielgeräten vorhanden sein. Aus beiden Schlüsselpaaren berechnen sich schließlich die Authorisationsschlüssel, welche der Verifizierung des Inhalts dienen. Gebrauchsbestimmungen des Inhaltes werden ebenfalls auf dem Datenträger mitgeliefert. Das AACS System bietet auch die Möglichkeit eine „Managed Copy“ zu erstellen. Hier wird der Verbraucher ermächtigt gegen Bezahlung Kopien des auf dem Datenträger gelieferten Materials herzustellen, wobei in diesem Fall jedoch die Verbindung zu einem MCS (Managed Copy Server) hergestellt werden muss, um die Erlaubnis an das Kopiergerät, genannt MCM (Managed Copy Machine) zu senden.

Welche dieser beiden Datenträger hat die besseren Chancen das Erbe der DVD anzutreten?

Um diese Frage zu analysieren, muss man die beiden in dieser Arbeit vorgestellten Datenträger zuerst gegenüberstellen um einerseits einen Überblick zu bekommen, was jeder einzelne hochdichte optische Datenträger leisten kann, und andererseits worin die Nachteile der beiden Entwicklungen liegen. Zudem ist es von Vorteil die aktuelle Marktsituation zu beleuchten, da man so einen Einblick darauf nehmen kann, inwiefern sich die beiden Technologien bereits in den Markt integriert haben.

Gegenüberstellung:

Beide Entwicklungen bedienen sich der Verwendung eines blau violetten Lasers, dessen wichtigste Eigenschaft darin besteht, dass der Laserpunkt, welcher zum Auslesen, bzw. Schreiben der Daten verwendet wird, einen geringeren Durchmesser besitzt als der bei der DVD gebräuchliche rote Laser. Dieser ermöglicht das dichtere Schreiben der digitalen Daten mittels des kleineren Durchmessers des Laserpunktes auf dem Datenträger. Bei der Blu-

ray Disc wurde zusätzlich der Abstand der Linse zur Datenschicht des Speichers verringert, was den Durchmesser des Laserpunktes noch weiter verringert. Hierzu musste aber die Struktur der Blu-ray Disc neu entwickelt werden. Da die HD DVD den gleichen Aufbau wie bei der DVD hat, befindet sich die Datenschicht in einem Abstand von 0.6mm zur Oberfläche der Deckschicht des Datenträgers. Bei der Blu-ray Disc wurde dieser Abstand der Oberfläche zur Datenschicht auf 0.1mm verringert.

Dies führt zu einem verfügbaren Datenvolumen von 15GB Speicherplatz seitens der HD DVD, während durch die komplette Neustrukturierung des Datenträgers bei der Blu-ray Disc eine Speicherkapazität von 25GB pro Schicht (Layer) möglich ist. Beide Speichermedien bieten die Kombination von mehreren Layern, womit die Speicherkapazität weiter erhöht werden kann. Die Blu-ray Disc bietet übereinander liegende Schichten, welche ausgelesen werden können, wobei die dem Laser nähere Schicht ein gewisses Maß an Lichtdurchlässigkeit bietet und mittels Intensitätsmodulation des Laserstrahls die hintere Schicht ausgelesen bzw. beschrieben werden kann. Die HD DVD bietet zusätzlich zu dieser Technik auch die Möglichkeit die Vorder- und Hinterseite der Disc zu beschreiben, wobei eine Vierfach Layer HD DVD eine Datenkapazität von 60 GB zur Verfügung stellt. Eine Double Layer Blu-ray Disc erreicht somit eine Kapazität von 50 GB. Die Blu-ray Disc Association erforscht jedoch weiterhin Techniken um weitere Multilayer Discs mit noch höherem Speichervolumen zu entwickeln. Im Bereich des Speicherplatzes punktet somit die Blu-ray Disc, da diese einen höheren Speicherplatz pro Datenschicht zur Verfügung stellen kann.

Bei der Entwicklung beider Datenträger wurde das Augenmerk darauf gelegt, dass sowohl die Discs selbst als auch die Abspielgeräte mit den althergebrachten Datenspeichern CD und DVD kombinierbar sind. Die Blu-ray Association stellt hier Hybrid Discs vor, eine Kombination aus Blu-ray Disc Layer und CD-, bzw. DVD Layer. Die Voraussetzung hierfür ist, dass die Aufnahmeschicht nahezu durchlässig für Laserstrahlen mit der Wellenlänge von 780nm bzw. 650nm (der Infrarot Laser der CD und der rote Laser der DVD) ist. Die Datenschicht für den Blu-ray Bereich befindet sich hier im

Abstand von 0.1mm zur Oberfläche während sich die Schicht für CD im Abstand von 1.2 mm und bei der DVD im Abstand von 0.6 mm befindet. Daher ist es wohl auch möglich ein Drillingsformat zu entwickeln. Voraussetzung hierfür sind jedoch durchlässige Datenschichten für die entsprechenden Wellenlängenbereiche. Die HD DVD entwickelte an dieser Stelle ein Zwillingss- und ein Kombinationsformat. Beim Zwillingssformat wird, wie zuvor bei der Blu-ray Disc beschrieben der DVD- und der HD DVD Layer kombiniert, wobei die Datenschicht für den blauen Laser hinter der des roten Lasers liegt. Der blaue Laser durchdringt den DVD-Layer und liest die dahinter liegende Datenschicht aus. Das Kombinationsformat basiert auf der Technik, dass eine Seite des Datenträgers für das Auslesen durch den blau-violetten Laser der HD DVD konstruiert wurde, während die gegenüberliegende Seite der Disc wie eine konventionelle DVD gestaltet wurde. Um zwischen DVD und HD DVD Schicht zu wechseln muss daher nur die Disc im Laufwerk umgedreht werden. Beim Kombinationsformat ist es auch möglich beide Seiten als Dual-Layer zu gestalten, somit lässt sich insgesamt eine maximale Datenmenge von 38.7 GB unterbringen. In dieser Hinsicht ist es wichtig, wie der Datenträger verwendet werden soll. Die Handhabung eines Kombinationsformates der HD DVD ist etwas umständlicher, da die Disc im Laufwerk gewendet werden muss, um die benötigte Datenschicht auszulesen. Die Hybride der Blu-ray Disc oder die Kombinationsformate bieten den Vorteil dass die Disc nicht umgedreht werden muss. Das hierfür benötigte Laufwerk muss allerdings über die benötigten Laser verfügen. Alle in diesem Absatz beschriebenen Formate haben jedoch den Vorteil, dass die Spezifikationen daraufhin ausgelegt sind, dass auch die „alten“ Laufwerke die jeweiligen Schichten ohne Probleme auslesen können.

Dadurch dass der Abstand der Datenschicht zur Oberfläche des Datenträgers verringert wurde, ist die Blu-ray Disc auch empfindlicher gegenüber der Beeinflussung der Abtastung des Lasers durch Fingerabdrücke und Beschädigung durch Kratzer oder Staub. Daher musste eine neue Art der Schutzschicht entwickelt werden, da diese nur mehr eine Dicke von 0.1mm aufweist. Die herkömmliche Schutzschicht, wie sie bei der DVD verwendet wurde, war nicht mehr ausreichend, also entwickelte man einen neuen Hard Coat, der sich nur durch hohen Kraftaufwand beschädigen lässt und von dem

Fingerabdrücke leicht abzuwischen sind. Dieser Hard Coat ist nur 2µm dick und besteht aus siliziumhaltigem Kunstharz. Der alte Hard Coat, welcher für die DVD verwendet wurde kann hier als zusätzlicher Schutzfaktor unter dem neuen Hard Coat als Schutzschicht verwendet werden. Die HD DVD benutzt die herkömmlichen Schutzschichten, und ist im Bezug auf die Empfindlichkeit gegenüber äußerlichen Einwirkungen mit der DVD zu vergleichen. Die Neuentwicklungen der Blu-ray Disc verschaffen diesem Datenträger hier den Vorteil durch die geringere Beeinflussung des Lese- bzw. Schreibverhaltens. Allerdings ist die Produktion teurer, da die Schutzschicht zu dünn für eine fehlerfreie Pressung ist. Daher muss diese mittels einer Spin-Coating Technik ausgeschleudert werden.

Beide Entwicklungsteams erkannten auch die Notwendigkeit eines verbesserten Kopierschutzsystems und erweiterten Sicherheitsapplikationen. Das Kopierschutzsystem CCS (Content Scrambling System), das für den Schutz der DVD entwickelt wurde, ist bald umgangen worden und die Daten wurden illegal im Internet verbreitet. Das Advanced Access Content System (AACS) ermöglicht es, von den Herstellern verifizierte Geräte und geschützte Datenträger zu kombinieren. Hier werden die Daten unter anderem durch einen 128bit Schlüssel, dem Media Block Key (MBK) geschützt, welcher vom Lesegerät auf seine Gültigkeit geprüft wird und die Daten wieder entschlüsselt werden. Das System beinhaltet jedoch eine Reihe weiterer Sicherheitsschlüssel, aus denen sich die benötigten Authentifizierungsschlüssel zur Verifizierung des Inhalts der Datenträger berechnen. Bei Softwareplayern wird dieser Entschlüsselungsmechanismus durch Updates ständig aktualisiert. Zusätzlich wurde eine Widerrufliste integriert, welche Buch darüber führt, welche Schlüssel erfolgreich verifiziert wurden, und welche ungültigen Schlüssel verwendet wurden. Ungültige Schlüssel können durch den Lizenzgeber erneuert werden. Dem Lager der Blu-ray Disc wurden noch weitere Sicherheitsmechanismen hinzugefügt, wie eindeutige ID's, welche Informationen über den Hersteller enthalten, oder einzigartige Seriennummer, welche in der Burst Cutting Area mittels starken Lasern eingebrannt werden. Die Blu-ray Disc Spezifikationen beinhalten ebenfalls ein „Contents Protection System for Blu-ray Disc Rewriteable“, welches die Aufzeichnung von

lizenzieren TV-Programmen gestattet. Die Hardware überprüft hier ob das Material, in welchem Daten wie die Benutzungsvorschriften eingebettet sind, zur Aufzeichnung freigegeben ist. Diese Aufzeichnungsfreigabe wird mit dem HD-Signal übertragen und im Falle der Freigabe auf dem Datenträger gespeichert. Die Sicherheitsmaßnahmen verhindern ein Kopieren von Inhalten ohne Autorisation, da selbst eine Bit-für-Bit Kopie die Sicherheitsschlüssel nicht von einem Datenträger auf den anderen übertragen kann. Hier bietet die Blu-ray Disc besseren Schutz vor Vervielfältigung, da die Spezifikationen der Blu-ray Association einen besseren Kopierschutz gewährleisten.

In der Computerfachzeitschrift c't hat man jedoch herausgefunden, wie man diesen Kopierschutz umgehen kann. Dies wird durch die Screenshotfunktion von WinDVD ermöglicht. Hier kann man einfach per Tastendruck Fotos vom aktuellen Frame in voller Auflösung der abgespielten Filme erstellen. Diese Bilder können wieder zusammengestellt werden, und mit extern aufgezeichnetem Sound unterlegt werden.<sup>22</sup> Weiters schafften es Hacker inzwischen auch die Titelschlüssel auszulesen, um die Verschlüsselung zu umgehen. Die Blu-ray Association kündigte kurz darauf die Entwicklung der „BD+“ an, eine Variante der Blu-ray Disc mit einem aktiven Programm, welches in die Disc eingebunden ist und nach Programmen, welche im Hintergrund der Applikationen laufen, „schnüffelt“. Die BD+ befindet sich jedoch noch in der Entwicklung, doch kann auch hier die Blu-ray Disc einen Punkt für sich beanspruchen.

Durch die Neustrukturierung der Blu-ray Disc sind die Produktionskosten um einiges höher, als bei der HD DVD, da hier neue Geräte entwickelt werden mussten, welche neben der Pressung das Auftragen der dünnen Schutzschicht unterstützen mussten. Im Gegensatz dazu ist es bei der Herstellung der HD DVD nur notwendig bestehende DVD-Produktionsstätten umzubauen, indem der herkömmliche Stamper durch einen HD-Stamper ersetzt wird, um die Produktion der Datenträger durchführen zu können. Dies führt dazu, dass die Blu-ray Disc teurer in der Anschaffung ist. Mit den niedrigeren Produktionskosten, weist die HD DVD einen wichtigen Vorteil auf, denn wenn

---

<sup>22</sup> vgl. Der Standard: „HD-DVD und Blu-ray Kopierschutz geknackt“, 09. Juli. 2006

die Produktionskosten niedrig gehalten werden können, ist auch die Möglichkeit gegeben, dass das Endprodukt im Handel günstiger angeboten werden kann. Über den weiteren Preisverlauf dieser Technologien im Handel sind sich Experten jedoch uneinig. Manche meinen, dass die derzeitigen Preise sich auf dem Markt halten werden, während andere Meinungen ein Einpendeln des GB-Preises wie bei der DVD prognostizieren. Auch bei diesem „alten Standard“ lagen die Preise zu Beginn höher als erwartet, sanken jedoch nach kurzer Zeit rapide.

Eine weitere Neuerung der in dieser Arbeit beschriebenen hochoptischen Datenträger ist die Verwendung von neuen Videocodecs. Die DVD verwendet die MPEG-2 Videokompression. Für die Blu-ray Disc und die HD DVD sind verschiedene Videokompressionen in den Spezifikationen integriert. VC-1, AVC [MPEG - 4] komprimieren Videomaterial besser als der herkömmliche MPEG - 2 Codec bei gleich bleibender Videoqualität. In dieser Hinsicht sind beide Entwicklungen gleich zu sehen, da beide hochdichte optische Datenträger die gleichen Videocodierungen verwenden.

Sowohl die Blu-ray Disc als auch die HD DVD bieten die schon von der DVD bekannten -ROM, die lesbare Variante, welche nicht beschrieben werden kann, die -RE, die wieder beschreibbare Variante des Datenträgers und die – R, eine einmal beschreibbare Disc Version. Die Familie der HD DVD umfasst zusätzlich eine Weiterentwicklung der DVD, die so genannte 3xDVD ROM, bei der weiterhin der rote Laser zum Einsatz kommt, jedoch mehr HD-Material durch die zuvor erwähnten Videokompressionen untergebracht werden kann. Eine andere Variante ist die „8cm Mini HD DVD“, ein Datenträger mit einem Durchmesser von 8cm und einer Speicherkapazität von 4.7Gb in der einlagigen Variante. Weiters wurden – wie zuvor beschrieben - verschiedene Datenträger entwickelt, welche die Vereinigung von den althergebrachten optischen Datenträgersystemen wie CD und DVD mit den neuen hochoptischen Datenspeichern zum Ziel haben. Ob die von der HD DVD Promotiongroup entwickelten Formate der 3xDVD und der 8cm mini HD DVD einen nennbaren Einfluss auf dem Markt haben werden, bleibt noch abzuwarten.

Die bisher behandelten Fakten können auf zweierlei Arten interpretiert werden. Der Techniker würde sich eher der Blu-ray Disc widmen, da diese trotz hoher Produktionskosten über ein besseres Kopierschutzsystem verfügt. Ein Kaufmann hingegen würde das Augenmerk auf das bessere Verhältnis vom Speicherplatz zu den Kosten der HD DVD richten. Daher wird nun die aktuelle Marktsituation der hochdichten optischen Datenträger genauer beleuchtet.

Sony veröffentlichte dieses Jahr den „Next Generation Disc Tracking Report“. In diesem Bericht werden die Marktforschungsdaten für Blu-ray Disc und HD DVD seit der Markteinführung bis zum 18. März 2007 dargelegt. Aus den Daten geht hervor, dass die Verkaufszahlen sowohl von der Blu-ray Disc als auch von der HD DVD weit unter den Erwartungen der Hersteller und Promoter liegen. Allerdings scheint die Blu-ray Disc mit einem Verhältnis von 2,3:1 gegenüber den HD DVD Titeln bei dem Rennen um den Marktführer in Führung zu liegen. Die Gründe dafür, dass der Absatz der HD-Titel weit hinter den Erwartungen beider Entwicklungsteams liegt, sind einerseits, dass die angegebenen Release-Zeiten der Datenträger meist nicht eingehalten werden, aber auch darin, dass die entwickelten Systeme noch nicht vollständig ausgereift sind. Da die Datenträger erst später als angegeben erscheinen, wird vom Verbraucher oft zu den gebräuchlichen DVD Titeln gegriffen. Im Falle der Blu-ray Disc sind Verspätungen von Wochen möglich, da nach Angriffen auf den Kopierschutz die „BD+“ in Entwicklung ist, welche die Datenströme im Hintergrund auf unerlaubte Zugriffe überprüft. Die nicht zufrieden stellenden Verkaufszahlen beziehen sich jedoch nicht nur auf die Datenträger selbst, sondern auch auf die Absätze der Abspielgeräte. Obwohl bei den Abspielgeräten die HD DVD fähigen Player mehr Verkaufszahlen gegenüber den Blu-ray Playern aufweisen können, wurden dennoch bei weitem mehr DVD-Player verkauft als Abspielgeräte für hochdichte optische Speicher. Die Hersteller der Hardware befürchten inzwischen, dass sich jene Abspielgeräte, die über keinen Internetanschluss verfügen oder eine Bild-in-Bild Funktion aufweisen, nicht mehr verkaufen lassen. Zusätzlich wird die Nachfrage für All-in-One Geräte, die neben CDs und DVDs sowohl Blu-ray Discs als auch HD

DVDs abspielen können immer größer. Aus den Verkaufszahlen kann man also sehen, dass beide Technologien noch nicht vollständig ausgereift sind, und der Markt weiter beobachtet werden muss.

Das Fazit aus den vorliegenden Fakten ist, dass die Blu-ray Disc allem Anschein nach der HD DVD ein paar Schritte voraus ist, wenngleich das Rennen um die Vorherrschaft auf dem Markt noch lange nicht entschieden ist. Die schlechten Verkaufszahlen machen es notwendig, dass die Filme in High Definition in Kleinauflagen produziert werden, um das jeweilige Format auf dem Markt voranzutreiben. Die Folge ist jedoch dass zukünftige Großauflagen dieser Filme entsprechend günstiger angeboten werden müssen. Aber welches Format sich letztendlich durchsetzen wird, zeigt die Zeit. Das Erscheinen erster All-in-One Player kann einen Umschwung im Markt hervorrufen, doch ist es wahrscheinlicher, dass Filmproduzenten dank der besseren Sicherheitsmechanismen der Blu-ray Disc, eben dieses Medium unterstützen werden. Weiters stellt sich die Frage inwiefern sich diese hochdichten optischen Speichermedien in anderen Bereichen wie Datenspeicherung durchsetzen werden. Die DVD fand bei vielen Anwendern Platz im Bereich der Sicherheitskopien und Backup-Kopien. In dieser Hinsicht wird die HD DVD sich größerer Beliebtheit erfreuen, da sie ein besseres Verhältnis zwischen Preis und zur Verfügung gestellten Speicherplatz bietet. Außerdem benötigt sie für diverse Backup-Kopien und das Speichern für private Daten in den Haushalten in den meisten Fällen keinen Kopierschutz.

## 7. Zusammenfassung

Nachdem die DVD durch die Entwicklung von High Definition Formaten nicht mehr den Anforderungen der Unterhaltungsindustrie nachkommen kann, da sie zu wenig Speicherplatz für High Definition Filme bietet, wurden zwei potentielle Nachfolger entwickelt. Sowohl die Blu-ray Disc als auch die HD DVD bieten durch die Verwendung eines Lasers, dessen Strahlendurchmesser geringer ist als der von DVD-Laufwerken, die Möglichkeit die Daten dichter auf die Speichermedien zu schreiben und diese wieder auszulesen. Jeder dieser Nachfolger hat sowohl Vor- als auch Nachteile, welche wichtig für die Entscheidung des Verbrauchers sind, ob er den gewünschten Film nun auf Blu-ray Disc oder HD DVD mit nach Hause nimmt.

Die Blu-ray Disc bietet mehr Speicher als ihr Konkurrent. Die Folge sind jedoch höhere Preise, da für diese Menge an Speicherplatz der Datenträger von Grund auf neu entwickelt werden musste und ebenso auch die Produktionsanlagen neu entwickelt werden mussten. Die HD DVD hingegen ist billiger in der Produktion, da die Entwicklungen dieses Datenspeichers auf den Grundlagen der DVD beruht. Der Aufbau der HD DVD ähnelt dem der DVD, die Laufwerke verwenden jedoch ebenfalls den neuen blauvioletten Laser. Auch die Produktionsanlagen müssen nicht neu gebaut werden, sondern erfordern lediglich den Ersatz des Standard-Stampers durch einen HD-Stampfer. Mit diesem altbewährten Aufbau erreicht die HD DVD jedoch nicht die Menge an verfügbarem Speicherplatz wie die Blu-ray Disc. Dies bedeutet, dass der Blu-ray Disc mehr Speichervolumen für Zusatzfunktionen, wie mehr Bonusmaterial, aufwendigere Menüs, etc, zur Verfügung steht.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist auch, welche Vorteile für die Unternehmen, die die Filme auf dem Markt anbieten, geboten werden. Hier ist der Kopierschutz ein wichtiges Kriterium. Beide Datenträger verwenden den neu entwickelten AACS Kopierschutz. Dieser berechnet mittels einer Reihe von Sicherheitsschlüsseln, die sowohl an die Datenträger als auch an die Abspielgeräte und –Software vergeben werden den Authentifizierungscode, um dem Abspielgerät die Freigabe zum Abspielen des Datenträgers zu

erteilen. Weiters wurde ein Kopierschutzsystem speziell zum Aufnehmen von HD-Material für die Blu-ray Disc entwickelt, welche es verhindert unerlaubte Aufnahmen von gesendetem Filmmaterial zu machen.

Auf dem Markt ist die Frage, wer das Erbe der DVD in der Unterhaltungsindustrie antreten wird, noch nicht geklärt. Aus dem von Sony veröffentlichtem „Next Generation Disc Tracking Report“ ist ersichtlich, dass die Verkaufszahlen beider Datenträger weit hinter den Erwartungen der Entwickler liegen. Dies hängt vor allem damit zusammen, dass die gleichzeitige Veröffentlichung von Filmen auf DVD, Blu-ray Disc und HD DVD nicht wie angekündigt funktioniert. Durch die Verzögerungen bei der Veröffentlichung der Filme auf hochdichten optischen Datenträgern greifen die Käufer oft zur herkömmlichen DVD-Version des Films. Die Verzögerungen der Blu-ray Association sind noch größer, da diese an einem neuen Format, der „BD+“ arbeiten, welche ein Kopieren durch im Hintergrund laufende Programme nicht zulässt.

Obwohl die Blu-ray Disc bessere Verkaufszahlen bei den Datenträgern aufweisen kann, wurden im Vergleich mehr Abspielgeräte für HD DVDs verkauft. Allgemein gesehen sind jedoch auch diese Zahlen hinter den Erwartungen und der Verkauf von Abspielgeräten für DVDs dominiert noch immer den Markt. Dies hat zur Folge dass nur Kleinstauflagen von Filmen auf hochdichten optischen Datenträgern verkauft werden können, und spätere Großauflagen günstiger angeboten werden müssen.

Wer nun die Vorherrschaft auf dem Markt übernimmt, ist noch nicht abzusehen. Da beide Technologien mit vielen Geräten noch nicht kompatibel sind und auch der Preisverfall der DVD durch die neuen hochdichten optischen Speicher attraktiv auf den Verbraucher wirkt, wird es noch einige Zeit dauern, bis sich der Erfolg der Neulinge im Bereich des Home Entertainment herauskristallisiert. Großen Einfluss auf den Erfolg haben schließlich auch die Vertreter der Filmindustrie, da diese sich ebenfalls für die Unterstützung eines Speichermediums entscheiden werden.

Weiters werden die zukünftigen Verkaufszahlen auch durch die Rohlinge der Datenspeicher bestimmt werden. Inwiefern diese sich auf das Gleichgewicht der Verkaufszahlen auswirken, lässt sich im Moment noch nicht sagen, da nur ein Bruchteil der Computer bereits mit Blu-ray oder HD DVD Laufwerken ausgerüstet sind. All-In-One Laufwerke – Laufwerke, die sowohl Blu-ray Discs als auch HD DVDs auslesen können – werden den Markt wiederum beeinflussen. Jedoch sind Standalone Geräte die sowohl Blu-ray- als auch HD DVD-fähig sind noch in der Entwicklung.

## 8. Aussichten

### 8.1 Die Holodisc

Natürlich endet die Entwicklung zukünftiger Speichermedien nicht mit der Entwicklung der in dieser Arbeit vorgestellten Datenträger. Eine der neuesten Entwicklungen ist die Herstellung des holografischen Datenspeichers. Die Idee hinter dieser Art der Datenspeicherung ist etwa 40 Jahre alt. Zu dieser Zeit waren die Materialien zur Herstellung dementsprechend teuer, heutzutage sind die benötigten Utensilien zu einem wesentlich günstigeren Preis zu erhalten.

Die grundlegende Funktionsweise besteht darin, dass ein Objekt durch einen Objektstrahl beleuchtet wird. Die Reflexionen werden abgelenkt und überlagern sich mit einem Referenzstrahl und ergeben so Wellenberge und –täler. Dieses Interferenzmuster wird auf einem Film gespeichert. Wird dieser Film nach der Aufnahme wieder beleuchtet, wird das Licht gebeugt und dieselbe Wellenform, die das Objekt abgestrahlt hat, wird wiedergegeben und der Betrachter sieht die dreidimensionale Figur.

„Um digitale Daten als Hologramm zu speichern, werden statt der Figur die „Nullen“ und „Einsen“ – die Bits – in einem Flüssigkristall als Muster aus lichtdurchlässigen und -undurchlässigen Bildpunkten dargestellt – ähnlich einer Lochkarte. An diesem Lochmuster wird der Objektstrahl gebeugt, und in Überlagerung mit dem Referenzstrahl entsteht wieder ein Interferenzmuster.“<sup>23</sup> Hier werden nicht die einzelnen binären Daten abgebildet, sondern das komplette Interferenzmuster. Durch Beleuchtung dieses Musters wird es mittels eines Detektors in ein elektronisches, binäres Signal umgewandelt.

Die Vorteile dieser Technik liegen im schnellen Schreiben und Auslesen der Daten, einer hohen Speicherkapazität von etwa 300GB und einer hohen

---

<sup>23</sup> Bayer: „Forschung Aktuell“ Ausgabe 18, S.

Datensicherheit, da die gleichen Lichtverhältnisse wie bei der Erstellung des Datenträgers für das Auslesen bekannt sein müssen. Die Technik der holografischen Datenspeicherung ist jedoch ein kostspieliges Unterfangen, wodurch es noch einiger Entwicklungszeit bedarf, um die Holodisc im breiten Markt konkurrenzfähig zu machen.

## 8.2 Lochkarten

Eine weitere Entwicklung, welche jedoch ebenfalls noch nicht ausgereift und für den Massenabsatz bereit ist, ist die Weiterentwicklung der althergebrachten Lochkarte, welche zu den Entwicklungszeiten der ersten Computersysteme eine wichtige Rolle als Datenspeicher spielten. Auf den damals verwendeten Lochkarten waren Löcher enthalten, die ausgelesen werden konnten. Durch die Werte „Loch“ oder „Nicht Loch“ ergab sich so der zu verarbeitende binäre Code des auf den Lochkarten enthaltenen Programms. Jedoch war der Speicherplatz sehr gering und man hatte ganze Behälter voll mit Lochkarten, die in der geordneten Reihenfolge zu verwenden waren, was eine umständliche Arbeitsweise darstellte.

Der IBM Wissenschaftler Gerd Binnig entwickelte ein System um diese Lochkarte zu verbessern. Der Durchmesser der Löcher dieser neuen Karte liegt im Nanometerbereich, was den zur Verfügung gestellten Speicherbedarf extrem erhöht. „Mit einer Speicherdichte von einer Billion Bit pro Quadratzoll (= ca. 20 GByte/cm<sup>2</sup>) könnte eine klassische Hollerith-Lochkarte mit Millipede etwa 24 Terabit statt der eingelochten 1000 Bit (80 Zeilen, 12 Spalten) aufnehmen.“<sup>24</sup>

Die Entwicklungen starteten Mitte der 90er Jahre. Das System arbeitet mit mehreren Spitzen. Auf der Microtech 2000 stellten die Entwickler einen Chip vor, welcher mit Silizium-Federzungen arbeitet, die eine Dicke von 0,5µm und eine Länge von 70µm aufweisen. Geschrieben werden die Daten durch 400°Celsius heiße Spitzen, die kleine Dellen in das Trägermaterial brennen.

---

<sup>24</sup> Heise Online News: „Revival der Lochkarte im Terabit-Bereich“, 11.06.2002.

Das Auslesen dieser Dellen geschieht mit geringeren Temperaturen, wobei die Unterschiede der Wärmeleitfähigkeit der Dellen und jenen Stellen, die keine Vertiefungen aufweisen ausgelesen werden.

Die Probleme, welche dazu führen, dass diese Entwicklung noch nicht marktreif ist, liegen in den Lese- und Schreibgeschwindigkeiten. Obwohl der von IBM entwickelte, quadratische Testchip mit einer Kantenlänge von 3mm x 3mm eine Speicherdichte von 200 Gigabit pro Quadratzoll aufweist, liegt die Geschwindigkeit zum Schreiben und Auslesen der „Nano-Löcher“ bei nur wenigen Kilobits/Sekunde für jede Spitze. IBM ist sich jedoch sicher diese Schwäche des Systems verbessern zu können und die Lese- und Schreibgeschwindigkeiten in den MBit/Sekunde – Bereich zu verlagern.

## 9. Literatur- und Abbildungsverzeichnis

### 9.1 Literaturverzeichnis

AACS: „**Advanced Access Video Content System (AACS) Pre-recorded book**”

[http://www.aacsla.com/specifications/specs091/AACS\\_Spec\\_Prerecorded\\_0.91.pdf](http://www.aacsla.com/specifications/specs091/AACS_Spec_Prerecorded_0.91.pdf)

Zugriff: 27.07.2007

AACS: „**Advanced Access Video Content System (AACS) Recordable Book**”

[http://www.aacsla.com/specifications/specs091/AACS\\_Spec\\_Recordable\\_0.91.pdf](http://www.aacsla.com/specifications/specs091/AACS_Spec_Recordable_0.91.pdf)

Zugriff: 27.07.2007

Bayer: „**Forschung aktuell**” Ausgabe 18 – Holografische Datenspeicher

[http://www.research.bayer.de/Unterrichtsmaterialien\\_Holographie.pdf](http://www.research.bayer.de/Unterrichtsmaterialien_Holographie.pdf)

Zugriff: 21.07.2007

Blu-ray Disc Association: „**White paper Blu-ray Disc 1.A Physical Format Specifications for BD-RE 2nd Edition February, 2006**”

<http://www.blu-raydisc.com/assets/downloadablefile/BD-REwhitepaper20060227clean-13321.pdf>

Zugriff: 09.04.2007

Blu-ray Disc Association: „**White paper Blu-ray Disc 1.C Physical Format Specifications for BD-ROM 5th Edition March, 2007**”

<http://www.blu-raydisc.com/assets/downloadablefile/BD-ROMwhitepaper20070308-13652.pdf>

Zugriff: 09.04.2007

Blu-ray Disc Association: „**White Paper Blu-ray Disc Format General August 2004**”

[http://www.blu-raydisc.com/assets/downloadablefile/general\\_bluraydiscformat-12834.pdf](http://www.blu-raydisc.com/assets/downloadablefile/general_bluraydiscformat-12834.pdf)

Zugriff: 09.04.2007

Blu-ray Disc Association: „**White Paper Blu-ray Disc Recordable Format Part 1 Physical Specifications February, 2006**”

[http://www.blu-raydisc.com/assets/downloadablefile/BD-R\\_Physical\\_3rd\\_edition\\_0602f1-13322.pdf](http://www.blu-raydisc.com/assets/downloadablefile/BD-R_Physical_3rd_edition_0602f1-13322.pdf)

Zugriff: 09.04.2007

Camgaroo.com: „**Was ist MPEG-4? Technische Hintergründe**“

<http://www.camgaroo.com/modules.php?name=News&file=article&sid=92>

Zugriff: 18.06.2007

Cost Effective Equipment: „**Spin Coat Theory**”

<http://www.cise.columbia.edu/clean/process/spintheory.pdf>

Zugriff: 23.05.2007

DerStandard.at: „**HD DVD und Blu-ray – Kopierschutz geknackt**“

<http://derstandard.at/?url=/?id=2508488>,

09. Juli 2006

Zugriff: 15.06.2007

DVD Forum: „**HD DVD – Eine Einführung in die Technik**“

[http://www.dvdforum.org/images/Forum\\_HD\\_DVD\\_Universal\\_24German.pdf](http://www.dvdforum.org/images/Forum_HD_DVD_Universal_24German.pdf)

Zugriff: 09.04.2007

DVD Forum: „**HD-DVD The Next Generation of Home Entertainment**”

[http://www.dvdforum.org/images/HDDVD\\_White\\_Paper\\_1-0.pdf](http://www.dvdforum.org/images/HDDVD_White_Paper_1-0.pdf)

Zugriff: 09.04.2007

Hartmut Gieselmann: „**Brenner in Blau**“, c't 2006, Heft 15

Hartmut Gieselmann: „**Zerstrittene Erben**“, c't 2005, Heft 22

Martin Laurenzis: „**Laserinduzierte Phasenumwandlung in Ge-Sb-Te**

**Verbindungen für die hochdichte optische Datenspeicherung**“

Shaker Verlag, Aachen 2006

Nico Jurrán: „**Hochauflösender Schein**“, c't 2007 Heft 10

Sony: „**Next Generation Disc Tracking Report**“

<http://www.truehd.fr/wp-content/uploads/2007/04/next-generation-disc-tracking-report-we-031807-v3.pdf>

Zugriff: 29.07.2007

Timur Kurnatz, Benno Willemsen: „**Laser Funktionsweise und Anwendungen**“

[http://www.rz.rwth-](http://www.rz.rwth-aachen.de/mata/downloads/seminar_dv/2004_05/Laser_Skript.pdf)

[aachen.de/mata/downloads/seminar\\_dv/2004\\_05/Laser\\_Skript.pdf](http://www.rz.rwth-aachen.de/mata/downloads/seminar_dv/2004_05/Laser_Skript.pdf)

Zugriff: 03.07.2007

U. Schmidt: „**Professionelle Videotechnik**“

3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2003

Uli Plank, Thomas Köke: „**DVDs produzieren und gestalten**“,

Galileo Press GmbH, Bonn 2002

Wikipedia: „**Numerische Apertur**“:

[http://de.wikipedia.org/wiki/Numerische\\_Apertur](http://de.wikipedia.org/wiki/Numerische_Apertur)

Zugriff: 14.05.2007

## 9.2 *Abbildungsverzeichnis*

**Abb. 2.3.1:** Group of Picture Management

[http://www.camgaroo.com/media/artikelbilder/christoph/03013\\_1\\_mpeg.jpg](http://www.camgaroo.com/media/artikelbilder/christoph/03013_1_mpeg.jpg)

**Abb. 2.4.1:** Aufbau des Lasers

Laser Funktionsweise und Anwendungen, S. 9

**Abb. 2.5.1:** Spin-Coating: Auftragung der Flüssigkeit

CEE – Spin Coat Theory S.1

**Abb. 3.2.1:** Materialtransparenz bei verschiedenen Wellenlängen

White Paper Blu-ray Disc Format General August 2004 S.12

**Abb. 3.2.2:** Vergleich der Durchmesser der Laserpunkte von CD, DVD und Blu-ray Disc

White Paper Blu-ray Disc Format General August 2004 S.13

**Abb. 3.3.1:** Grundaufbau der Blu-ray Disc

White Paper Blu-ray Disc Format General August 2004 S.29

- Abb. 3.3.2:** Vergleich der Widerstandskraft von Hard Coat Versionen  
White Paper Blu-ray Disc Format General August 2004 S.30
- Abb. 3.3.3:** Aufbau von organischen und anorganischen Datenträgern  
Blu-ray Disc Whitepapers Blue-Ray Disc Recordable Format  
S.6
- Abb. 3.3.4:** Aufbau einer Dual Layer Disc  
White Paper Blu-ray Disc Format General August 2004 S. 23
- Abb. 3.4.1:** Die Positionierung des Mold Codes  
White paper Blu-ray Disc 1.C Physical Format Specifications for  
BD-ROM 4th Edition November, 2005, S.30
- Abb. 3.4.2:** Positionierung der Burst Cutting Area  
White paper Blu-ray Disc 1.C Physical Format Specifications for  
BD-ROM 4th Edition November, 2005, S.31
- Abb. 3.4.3:** Content Protection System  
White Paper Blu-ray Disc Format General August 2004 S.27
- Abb. 3.5.1:** Hybrid BD-ROM – DVD-ROM  
White paper Blu-ray Disc 1.C Physical Format Specifications for  
BD-ROM 4th Edition November, 2005, S.34
- Abb. 3.5.2:** Hybrid BD-ROM – CD-ROM  
White paper Blu-ray Disc 1.C Physical Format Specifications for  
BD-ROM 4th Edition November, 2005, S.34
- Abb. 4.2.1:** Vergleich DVD und HD DVD Disc Strukturen  
<http://www.hddvdprg.com/eng/hddvd/img/3-1.gif>
- Abb. 4.3.1.1:** Schematischer Aufbau des AACCS für gepresste Medien  
Advanced Access Video Content System (AACCS) Pre-recorded  
book S.2
- Abb.4.3.2.1:** Schematischer Aufbau des AACCS für beschreibbare Medien  
Advanced Access Video Content System (AACCS) Recordable  
Book S.2
- Abb. 4.4.1:** Zwillingsformat  
HD DVD – The Next Generation of Home Entertainment S.22
- Abb. 4.4.2:** Kombinationsformat  
HD DVD – The Next Generation of Home Entertainment S.23