

**MLP (Meridian Lossless Packing)**, die auch als **PPCM (packed pulse code modulation)** oder **Dolby Lossless** bekannt ist. Sie wurde vom Unternehmen Meridian Audi entwickelt und wird von den Dolby Laboratories vermarktet. Je nach Anzahl der Kanäle (bis zu 64 mit z.T. unterschiedlicher Auflösung), Art des Inhalts, Sampling-Frequenz (bis zu 192 kHz) und Auflösung (bis zu 24 Bit) ermöglicht sie Packraten von 1,5 bis über 3. Die größte Ersparnis ergibt sich durch Redundanz zwischen den Kanälen. Ihre Vorteile sind: Sie ist leicht zu implementieren, benötigt bei der Dekodierung relativ wenig Rechenleistung, ermöglicht die Korrektur von Fehlern bis zu 2 ms, nach spätestens 30 ms gibt es immer einen Einsprung für den Dekoder und zusätzlich existiert ein Metadaten-Kanal. Die Spielzeit beträgt in allen Varianten mindestens 74 Minuten je Informationsschicht.

Die **SACD (Super-Audio-CD)** wurde von Philips und Sony entwickelt. Sie wird vor allem im Bereich der Klassik produziert. Es wird ein Delta-Sigma-AD-Wandler mit 1 Bit Tiefe und 2,8224 MHz ( $64 \times 44,1$  kHz) benutzt. Er arbeitet mit Gegenkopplung und sein PDM-Signal (pulse duration modulation = Puls-Längen-Modulation, s. Abschnitt 1.6.4) wird als kopiergeschütztes DSD-Signal (**direct stream digital**) von Sony gespeichert. Delta-Sigma-AD-Wandler sind bei gleicher Qualität deutlich einfacher und damit billiger als konventionelle AD-Wandler. Bei der SACD werden ein Störabstand von 120 dB, eine Bandbreite von 100 kHz und eine verlustfreie Kompressionsrate um 2 : 1 benutzt. Der Rahmen ist 75-mal je Sekunde mit je 37 537 Bit aufgezeichnet. Bei zwei Kanälen beträgt die Spielzeit 109, bei mehreren bis zu 80 Minuten. Es wird Surround-Sound mit bis zu sechs Kanälen unterstützt. Die Player besitzen meist nur analoge Ausgänge, in Sonderfällen spezielle digitale auf Firewire-Basis (IEEE1394). Meist werden SACD als Hybrid-DVD produziert.

Die erste **Hybrid –DVD** kam 1998 auf den Markt. Ihren prinzipiellen Aufbau zeigt Bild 17i. Sie ist sowohl CD als auch DVD. Die Schicht in der Mitte trägt das Audio-Signal der SACD. Sie reflektiert hervorragend die kurzwellige Strahlung von 635 bis 650 nm, ist jedoch gut durchlässig für die des langwelligen Lasers von 780 nm. Beide Schichten enthalten das gleiche Musikprogramm. So kann sie sowohl auf SACD- als auch auf üblichen CD-Playern – hier nur in der gewohnten Qualität – abgespielt werden. Leider wird der Begriff Hybrid-DVD auch noch für andere Formate verwendet, z.B. wenn DVD-Video- bzw. DVD-ROM- und Audio-Daten auf die o.g. Weise kombiniert werden. Hierbei sind die besonders gekennzeichneten Ablage-Orte – Unterverzeichnisse AUDIO TS bzw. VIDEO TS – wichtig. Dann gibt es Varianten, bei denen die mittlere Schicht gepresst und die obere beschreibbar ist. Schließlich sei noch eine spezielle **Flip Disc (Dual Disc)** erwähnt. Sie ist ein Sandwich aus einer herkömmlichen Audio-CD und einer DVD-Audio. Wegen der zu großen Dicke – 1,2 + 0,6 mm – sind sie jedoch nicht standardkonform. Daher ergeben sich bei jenen CD-Playern Probleme, welche sie von der Laser-Seite einspannen. Auch einige DVD-Audio-Player können sie nicht wiedergeben. Sie suchen zuerst die DVD-Schicht und finden dort nichts.

#### 4.4.4 Blaue Varianten

Der erste blaue Laser mit 405 nm wurde 1998 in Japan vorgestellt. 2002 wurden bereits 10 000 Betriebsstunden mit 30 mW erreicht. Der Preis betrug aber noch etwa 2 000 Dollar. Er besteht aus etwa 120 Schichten von abwechselnd je 25 nm reinem und 2,5 nm leicht mit Al dotiertem GaN. 30 mW sind nur beim Schreiben notwendig. Beim Lesen genügen wenige mW, wodurch dann eine wesentlich längere Lebensdauer erreicht wird. Für Wellenlängen um 400 nm ist reines Polycarbonat nicht mehr hinreichend lichtdurchlässig. Doch seit 1953 steht hierfür das von der Bayer AG entwickelte Makrolon auf Polycarbonatbasis zur Verfügung. Es besitzt sehr hohe Transparenz, gute Festigkeit, Zähigkeit, Schlag- und Bruchfestigkeit sowie herragende Wärmeform- und Witterungsbeständigkeit. Verarbeiten

lässt es sich in Extrusions- und Spritzgussverfahren. U.a. wird es auch für Brillengläser, in der Lichttechnik, für Scheinwerferstreuscheiben bei Autos sowie in der Medizin- und Haushaltstechnik eingesetzt. Ab ca. 2003 waren so insgesamt die wichtigsten Grundlagen für blaue Speichermedien vorhanden, die wesentlich größere Speicherdichten und Speicherkapazitäten ermöglichen. Obwohl sich gerade die DVD-Video gut etabliert hat, werden daher bereits neue Möglichkeiten erkundet; und schon wieder entstehen zumindest zwei hart konkurrierende Techniken: BD und HD-DVD (s.u.). Außerdem scheiterte die technische Realisierung von entsprechenden Video-Speichern bis jetzt (Mitte 2006) daran, dass der neue Kopierschutz **AACS**<sup>11</sup> (**advanced access content system**) noch nicht fertig ist. Auch die Kopplung des Systems an HDTV (**high definition television**) könnte Probleme ergeben. Denn HDTV ist nur in Japan, Korea und USA hinreichend verbreitet. So kann nicht einmal die ROM mit dem blauen Laser verkauft werden. Durch diese Besonderheiten waren diesmal – was technisch mehr als ungewöhnlich ist – die schwierigeren, *beschreibbaren* Varianten für das Backup vor den einfacheren, gepressten verfügbar. Doch bereits im Herbst 2005 stellte Sony wieder die Produktion der bereits eingeführten PDD ein. Doch Plasmons UDO (s. Abschnitt 4.5.4) hatte sich bereits seit 2003 auf diesem Markt etabliert und beherrscht nun faktisch allein – unter Mitwirkung von Hewlett Packard – diese Technik mit sehr gutem Erfolg. Für die Anwendungen der „blauen Medien“ im Konsum-Bereich werden vorwiegend die beiden Varianten BD und HD-DVD diskutiert. Doch das Spektrum der Möglichkeiten ist erheblich größer. In alphabetischer Reihenfolge sind unten die bekannt gewordenen Systeme aufgezählt. Durch unterschiedlichen Schriftfond wird auf nicht mehr vorhandene oder nicht genauer spezifizierte Varianten hingewiesen. Entsprechend der verfügbaren Information wird anschließend auf besonders wichtige Varianten eingegangen. Einige verfügbare Daten fasst außerdem **Tabelle 14** im Vergleich zur CD und DVD zusammen.

<i>AOD</i>	<b>advanced optical disc</b> , <i>jetzt</i> HD-DVD
<b>AO-DVD</b>	<b>articulated optical DVD</b> , Iomega, Spiegelflächen (Backup)
<b>BD</b>	<b>Blu-ray-disc</b> , Sony/Philips → Blu-ray-Forum
<b>EVD</b>	<b>enhanced versatile disc</b> , chinesische Alternative
<b>FVD</b>	<b>finalized versatile disc</b> , taiwanesisches Alternative
<b>HD-DVD</b>	<b>high density DVD</b> , Toshiba u.a. → Advanced Optical Disc-Consortium
HDV	high-definition digital video, chinesische Alternative, nur Name bekannt
HVD	high-definition versatile disc, chinesische Alternative, nur Name bekannt
<b>HVD</b>	<b>holographic versatile disc</b> , InPhase/(Bayer-Medium?)
<b>MICA</b>	<b>information-multilayered imprinted card</b> , holographisch, NTT (Backup)
<b>MODS</b>	<b>multiplexed optical data storage</b> , asymmetrische Pits, Spiegel, 332 Richtungen
<b>PDB</b>	<b>professional disc for broadcast</b> , Sony
<i>PDD</i>	<b>professional disc for data</b> , Sony, <i>Herbst 2005 beendet</i>
<b>UDO</b>	<b>ultra density optical</b> , Plasmon, Basis BD + Cartridge (Backup, s. Abschnitt 3.8.2.1)

<sup>11</sup> Das digitale Rechtemanagement **DRM** (**digital rights management**) soll über **AACS** (**advanced access content system**) bei beispielbaren und vorbespielten optischen Medien vor allem als Kopierschutz realisiert werden. Es wurde von Intel, Microsoft, Panasonic, Sony, Toshiba, Walt Disney und Warner Brothers entwickelt. U.a. benutzt es eine 128-Bit-Verschlüsselung, gestattet die Laufwerkverifizierung (Hardware-schlüssel) und ermöglicht die Freischaltung von Inhalten per Internet. AACS erlaubt nur dann eine Disc zu kopieren oder im Netzwerk zu streamen, wenn der Anbieter dies per MMC (**mandatory managed copy**) explizit erlaubt.

#### 4.4.4.1 Blu-ray-disc

Die Blu-ray-disc<sup>12</sup> (BD) wird hier aus mehreren Gründen zuerst besprochen. Damit soll keine besondere Hervorhebung, insbesondere gegenüber der HD-DVD, erfolgen. Ihre Spezifikationen wurden am 19.2.02 bekannt gegeben, und bereits 2003 stellte Sony den ersten Speicher vor. Ihre spezielle Auslegung erfordert zudem die höchsten technischen Anforderungen. Außerdem weist sie einige Besonderheiten auf. Dadurch fällt die anschließende Beschreibung der anderen Varianten erheblich einfacher aus. Dies gilt jedoch nicht für die völlig anders funktionierenden Varianten AO-DVD, HVD, MICA und MODS (s.u. sowie Abschnitte 4.6.2 und 4.8).

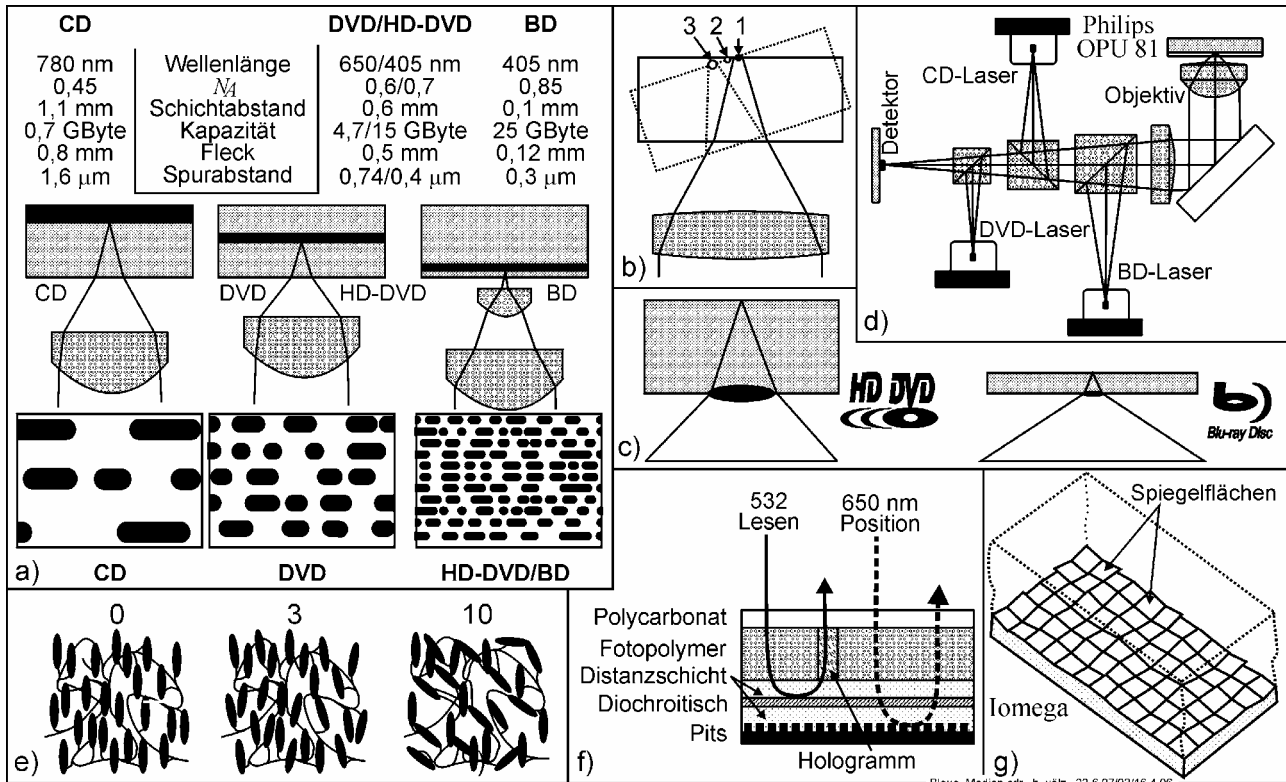
**Tabelle 14.** Verfügbare, wichtige Daten zu ausgewählten blauen Medien im Vergleich zur CD und DVD.  $\varnothing$  betrifft den wirksamen Durchmesser des Laser-Flecks. Statt  $\lambda = 405$  nm wird seit einiger Zeit 401 nm benutzt.

	CD	DVD	EVD/FVD	HD-DVD	BD	HVD
Kapazität in GByte	0,68	4,7	15/10	15	25	200/1000
Deckschicht in mm	1,2	0,6		0,6	0,1	
Spurabstand in $\mu\text{m}$	1,6	0,74		0,40	0,32	
min. Pit-Länge in $\mu\text{m}$	0,83	0,41		0,204	0149	
Laser $\lambda$ in nm	780	650	650	405	405	532 + 650
$N_A$	0,45	0,6	0,6	0,7	0,85	
$\varnothing_{\text{Oberfläche}}$ in mm	0,8	0,5		0,5	0,12	Hologramm
$\varnothing_{\text{Schicht}}$ in $\mu\text{m}$	2,1	1,32		0,6	0,58	
$v_{\text{linear}}$ in m/s	1,3	3,49		5,60	7,36	
Modulation	EFM	8:16		ETM	17PP	
Transfer in MBit/s		11,1		36	54	1000

Gemäß Gl. (1) von S. 528 ist die optische Auflösung proportional  $\lambda/N_A^2$ . Neben der kurzen Wellenlänge  $\lambda$  ist daher auch eine möglichst große Numerische Apertur  $N_A$  verlangt. Bei der BD wurde sie durch zwei asphärische Linsen auf 0,85 erhöht. Solche Objektive verlangen eine erhebliche Korrektur der sphärischen Aberration und sind nicht mehr exakt zu berechnen. Außerdem ist ihre Schärfentiefe recht gering. Daher muss das Objektiv besonders nahe an die Speicherschicht herangebracht werden. Deshalb wurde in der Anfangszeit der Begriff „near-field-recording-techniques“ benutzt und das Objektiv als SIL (solid immersion lens) bezeichnet. Während bei der DVD noch 1,7 mm Abstand benutzt wird, beträgt er bei der BD nur noch 0,3 mm. Dann ist für die Deckschicht oberhalb der Speicherschicht nur ein Wert von 0,1 mm verfügbar, der zu alledem höchstens um 3  $\mu\text{m}$  schwanken darf (vgl. **Bild 20a**, rechts Mitte). Der unsymmetrische Aufbau der Platte bewirkt, dass sich Temperaturschwankungen stärker störend auswirken. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass der Lichtfleck auf der Oberfläche der Platte sehr klein wird. Er sinkt von der CD mit 0,8 über die DVD mit 0,5 auf nur 0,12 mm (vgl. **Bild 20c**). Hierdurch wirken sich bereits Kratzer, Fingerabdrücke usw. erheblich störend aus (vgl. **Bild 12e**). Deshalb besaßen die ersten BDs eine Cartridge aus sehr haltbarem Kunststoff in angenehmem Blau (s.u. **Bild 24h**). Eine ähnliche Cartridge wird beim UDO (s. Abschnitt 4.5.4) weiterhin konsequent benutzt. Für den allgemeinen Gebrauch ist es jedoch sinnvoll, auf sie zu verzichten. Das verlangt nicht nur eine gute Handhabbarkeit, sondern noch mehr die Kompatibilität zur CD, DVD und HD-DVD. So musste eine äußerst kratz feste, harte, schmutzabweisende und extrem dünne Schutzschicht – spezieller 2  $\mu\text{m}$  dicker Lack –

<sup>12</sup> Die Bezeichnung **Blu-ray-disc** ist von der blauen Farbe des Lasers (englisch blue) abgeleitet, da sich aber eine Farbe nicht als Warenzeichen eintragen lässt, wurde das „e“ einfach weggelassen.

entwickelt werden. Diese Schicht konnte zunächst nur manuell hergestellt werden und könnte in der Zukunft den Preis der Disc deutlich erhöhen. 2004 kostete die Herstellung einer Disc 2,8 € soll aber in wenigen Jahren auf 0,30 € fallen.



**Bild 20.** Strahlengang bei den blauen Medien (a - c), eines Objektivs für CD, DVD und BD (d) sowie Schema der HVD (holographic versatile disc) (e, f) und des Vielfachspiegel-Prinzips von Iomega (g).

Die Nähe des Objektivs zur Platte hat auch einen Vorteil. Kippungen der Platte bewirken nämlich eine Aberration gemäß Bild 20b. Ohne Kippung befindet sich der Laser-Fokus bei 1. Bei einer Kippung sollte er bei 2 liegen. Infolge der zusätzlichen Brechung gelangt er nach 3 und wird dabei elliptisch verformt und größer. Dieser Effekt nimmt zwar mit  $N_A$  zu, ist aber umso geringer, je dünner die Schutzschicht ist. Ein weiterer Vorteil der sehr dünnen Schicht zeichnet sich für die mehrlagige BD ab. Sie ist dadurch offensichtlich leichter herzustellen. So konnte die Firma TDK bereits 2005 eine vierlagige, wiederbeschreibbare Disc (BD-RW) mit 100 GByte vorstellen. Im Labor erreichte Sony sogar Varianten mit 8 Lagen und 200 GByte. Die Datenrate ist prinzipiell auf Drehzahlen von 10000 UpM begrenzt. Für 12 cm Durchmesser ist darüber hinaus auch Makrolon (s.o.) nicht mehr ausreichend stabil. Bei der BD erfolgt – erstmalig für eine optische Disc – die Signalerkennung mit einem PRML-Viterbi-Decoder (**p**artial **r**esponse **m**aximum **l**ikelihood, s. Abschnitt 1.8). Bei einer Grundfehlerrate von etwa  $2 \cdot 10^{-4}$  ist nach der Fehlerkorrektur eine maximale Fehlerlänge von 7,1 mm zulässig. Zur weiteren Erhöhung der Sicherheit sind die Spuren für lead-in und lead-out fast doppelt so breit wie die Datenspur. Ferner ist eine interaktive Anwendungsschicht vorgesehen, die auf Java basiert und die DVD-Menüs ersetzen soll. Dies soll hauptsächlich Vorteile für interaktive Filme, Einblendungen, Spiele, Webangebote oder multimediale Zusatzinformationen bringen. Schließlich gibt es auch noch professionelle Varianten, wie PDD und PDB (s.o.) und in geringen Abwandlungen UDO (s. Abschnitt 4.5.4).

Die Daten für die BD werden von der BDA (**B**lu-ray **D**isc **A**ssociation) festgelegt. Hauptsächlich gehören ihr Apple, BenQ, Dell, Hewlett-Packard, Hitachi, LG Electronics, Matsushita (Panasonic), Philips, Pioneer, Samsung, Sharp, Sony und Thomson an. Dennoch ist

das Gremium deutlich kleiner als das Forum für die HD-DVD (s.u.). Die in Tabelle 14 genannten Daten wurden mehrfach geändert. Daher können sie nur als Richtwerte betrachtet werden.

#### 4.4.4.2 HD-DVD und weitere Varianten

Die HD-DVD wurde am 19.11.03 vom DVD-Forum zunächst als AOD (**advanced optical disc**) spezifiziert und später als „HD-DVD-specification for read only discs“ verabschiedet. Auch als Next-generation DVD wurde sie präsentiert. Sie wurde in Konkurrenz der BD entwickelt. Aus dem DVD-Forum ging für sie die HD-DVD Promotion Group hervor, der über hundert Mitglieder angehören, darunter NEC, Microsoft, Toshiba, Intel und IBM. Wichtig für die Verbreitung der HD-DVD ist es, dass Time Warner dem Gremium angehört und von jeder Disc Lizenzgebühren erhält. Vorrangig ist die HD-DVD für das HDTV mit MPEG-2, Windows Media 9, MPEG-4 und AVC (H.264) vorgesehen. Als Kopierschutz wird AASC (s. Fußnote <sup>10</sup>) benutzt. Sie verwendet ebenfalls die Laser-Wellenlänge 405 nm. Im Gegensatz zur BD ist sie jedoch weitgehend abwärtskompatibel zur DVD, denn ihre Speicherschicht liegt weiterhin in der Mitte der 1,2 mm dicken Scheibe (s. Bild 20a und Tabelle 14). Daher ist nur  $N_A = 0,7$  erreichbar. Auch Schräglagen der Disc wirken sich stärker aus (Bild 20b). Der Lichtfleck auf der Oberfläche mit 0,5 mm ist so groß (Bild 20c), dass sich kaum Kratzer und Fingerabdrücke störend auswirken können. Sie benötigt daher weder eine Cartridge noch eine besonders harte Oberflächenschicht. Weiterhin vorteilhaft ist es, dass sie mit nur geringen Änderungen auf den Anlagen der DVD herstellbar ist. Das wirkt sich auch auf den Preis von Rohlingen aus: Schätzwerte von 2006 betragen für die HD-DVD 10 € und die BD 20 €. Die vielen Vorteile der HD-DVD lassen nur 15 GByte je Informationsschicht erreichen (BD 25 GByte). 2004 wurde der erste Rekorder, der auch DVD benutzen kann, beschrieben. Er besitzt einen Schreib-Lesekopf mit einem roten und blauen Laser. 2005 existierte die erste dreilagige Disc. 2006 gab es erste Laufwerke, die für CD, DVD und HD-DVD nur ein Objektiv benötigen. Bei der BD ist dies wesentlich schwerer zu erreichen. Allerdings befindet sich bei Philips bereits ein entsprechendes Objektiv in der Entwicklung (Bild 20d). Die drei Laser werden hier über dichroitische Prismen eingeblendet.

Im asiatischen Raum bahnt sich ein großer Absatz für Filme an. Jedoch sind die Lizenzkosten für die dortigen Firmen viel zu hoch. So haben taiwanesishe und chinesische Unternehmen seit 1999 eigene Entwicklungen begonnen und inzwischen auch vorgestellt. Für die HDV (**high-definition digital video**) und HVD<sup>13</sup> (**high-definition versatile disc**) aus China sind bisher nur die Namen bekannt. Einige Daten sind dagegen für die FVD (**finalized versatile disc**, oft auch **forward**) von Industrial Technology research Institute/Advanced Optical Storage Research Alliance aus Taiwan verfügbar. Sie verwendet  $\lambda = 650$  nm,  $N_A = 0,6$  und erreicht 6,0 GByte je Informationsschicht. Die Videodaten sollen nicht in MPEG-2, sondern mit den effizienteren Codecs VP5 und VP6 der Firma On2 Technologies bzw. Microsofts WMV9 komprimiert werden. Für Audio wird EAC 2.0 (**enhanced audio codec**) eingesetzt. Ähnliche Daten besitzt auch die EVD (**enhanced versatile disc**) der Beijing E-world Technology and Chinese Manufacturers, deren erste Platten bereits am 18.11.2003 vorgestellt wurden. Diese Entwicklung ist staatlich gefördert. In den letzten Mitteilungen wird auch von blauen Lasern und höherer Kapazität berichtet. Bereits 2006 sollen 300 000 FVD-Laufwerke verkauft und rund 1 000 Titel produziert sein. Außerhalb ihres Heimatlandes wird für die EVD und FVD kaum Erfolg erwartet. Für die namhaften westlichen Filmstudios dürfte außerdem der Kopierschutz nicht effektiv genug sein.

<sup>13</sup> Sie entspricht nicht der HVD (**holographic versatile disc**) von InPhase!

Doch neben den 12- und 8-cm-Platten sind auch bereits deutlich kleine Varianten vorbereitet. So existiert von Philips eine Portable Blue **SFFO** (small form factor optical) mit nur 3 cm Durchmesser und 0,1 mm Dicke, die etwa 1 GByte speichert. Das Mini-Laufwerk mit  $5,6 \times 3,4 \times 0,75 \text{ cm}^3$  und blauem Laser (405 nm) soll für Kameras, Mobiltelefone usw. eingesetzt werden. Es besitzt eine extrem kleine Linse. Auch der Aktuator ist stark verkleinert.

Weiter sei noch erwähnt, dass für eine Vielzahl von Informationsschichten u.a. in ersten Laborversuchen zur **Fluoreszenz** einzeln angeregte Schichten erprobt wurden. Durch sie könnten die komplizierten teilreflektierenden Schichten und deren Abgleich entfallen (s. Abschnitt 4.91).

#### 4.4.4.3 Künftige und holographische Platten

Die blauen Medien sind noch nicht fest etabliert, da gibt es schon vielfältige Untersuchungen für die nächste Generation. 2005 stellte Sharp eine spezielle optische Methode vor, mit der auf einer Disk eine Speicherung unterhalb der Beugungsgrenze möglich ist. Es werden Prinzipien benutzt, die bereits in der Halbleiter-Lithographie existieren (s. Abschnitt 2.4). Besonders nahe bei den Discs liegt eine – vorerst nur als Patentanmeldung vorhandene – Lösung mit vielen Spiegelflächen von Iomega (AO-DVD). Ähnlich dürften die MODS funktionieren. Weitere auf Seite 570 aufgezählte Techniken – u.a. AHVD und MICA – nutzen das holographische Prinzip. Der typische digitale holographische Speicher verwendet jedoch Volumen-Kristalle und ist im Abschnitt 4.8 behandelt. Die kontinuierlich arbeitende Holographie betrifft dreidimensionale Bilder und ist im Band 2 behandelt. Ohne weitere Verweise darauf werden hier nur spezielle Ansätze für Platten bzw. Karten berücksichtigt. Dabei sind allein durch die Speicherung im Volumen sehr hohe Fälschungssicherheit und so gut wie keine Kopierbarkeit vorhanden. Für viele Anwendungen sind diese Fakten besonders wichtig.

**MODS** (multiplexed optical data storage) wurde am 27.9.04 von britischen Forschern vorgestellt und erreicht 250 GByte pro Informationsschicht. Dabei werden asymmetrische Pits und Lands benutzt, die den Laser-Strahl in 332 unterschiedliche Richtungen reflektieren können. Sehr wahrscheinlich ist dies eine Vorstufe zum **AO-DVD** (articulated optical) von Iomega, der 450 GByte erreichen soll und mit der herkömmlichen Produktionstechnik (Presstechnik mit Stamper) herstellbar sein dürfte. Statt Pits werden je vier quadratische Spiegel-Flächen benutzt. Sie speichern über ihre unterschiedliche Ausrichtung die Information (vgl. Bild 20g). Dadurch wird der Laser-Strahl in verschiedene Richtungen reflektiert und über ein spezielles Sensorfeld (CCD-Matrix) ausgelesen. Die Neigungsabstufung soll 1,5 Grad betragen. In  $x$ - und  $y$ -Richtung werden so 885 Strahlwinkel erreicht. Ein Speicherelement aus vier Spiegelflächen könnte  $6 \cdot 10^{11} \approx 2^{39}$  verschiedene Zustände repräsentieren. Statt 1 Bit/Pit ergeben sich dann annähernd 40 Bit/Pit. So wird auch die Datenrate enorm vergrößert, jedoch nicht die Zugriffszeit verkürzt. Im gewissen Umfang besteht sogar Abwärtskompatibilität zur CD, DVD usw. Denn wirklich neu müsste nur der Sensor sein. Das Verfahren ist nur für vorbespielte Discs geeignet. Zunächst sind jedoch neue Methoden für das Herstellen des Masters zu entwickeln. Die heute übliche Laser-Belichtung ist hierzu nicht geeignet.

Bei der Holographie ist ein Speichermedium notwendig, das eine extrem hohe Auflösung und hohe Stabilität besitzt. Für eine Disc sollte es als fast 1 mm dicke Schicht im Sinne der Volumenholographie nutzbar sein. Den ersten hierfür geeigneten polymeren Kunststoff stellte die Bayer-Material-Science AG bereits Ende der 90er Jahre her. Er besteht aus zigarren-artigen Molekülen, die durch „Bänder“ verbunden sind. Wenn dieses Medium gelöscht ist, sind alle „Zigarren“ exakt gleich ausgerichtet. Durch Erwärmung (mittels Laser-Strahl) können sie verschieden verdreht werden. Auch diese neuen Zustände sind stabil (s.

Bild 20e). Je nach dem Zustand der gegenseitigen Verdrehung wird linear polarisiertes Licht unterschiedlich absorbiert. So sind mindestens 64 Graustufen erreichbar. Dieses Material benutzt die Firma **InPhase** Technologies, welche 2000 aus Lucent Technologies und Bell Labs hervorgegangen ist, für eine Holographie-Speicherung. Die Technik wurde zunächst *Tapestry* genannt. Ende 2005 gab es ein 300-Gigabyte-Laufwerk mit einer Übertragungsrate von 160 MByte/s. Die dünne durchsichtige Polymer-Schicht liegt zwischen zwei klaren Kunststoffscheiben und bildet gleichzeitig den Leim, der die Scheibe von 1,5 mm Dicke und 13 cm Durchmesser zusammenhält. Die Medien kosten etwa so viel wie ein DVD-Rohling und werden von Hitachi, Maxell hergestellt. Es wird mit Lasern von 407 nm gearbeitet. Im gleichen Volumen – das als Datenseite bezeichnet wird – werden mehrere Informationen durch Drehung der Polarisationssebene um jeweils 0,067 Grad gespeichert. Die Belichtungszeit für jede Datenseite liegt bei knapp 3 ms. Die Laufwerke sollen ca. 1500 US-Dollar kosten. Im Labor wurden bereits Speicherdichten von 10 GByte/cm<sup>2</sup> erreicht. Magnetisch wurden zur selben Zeit nur knapp 6 GByte/cm<sup>2</sup> erreicht.

Eine deutlich andere Variante hat die japanische Firma Optware zusammen mit Fuji Photo and CMC Magnetics entwickelt. Diese **HVD** (**h**olographic **v**ersatile **d**isc) benutzt einen blau-grünen Schreib-Lese-Laser (532 nm) und einen roten Positionierungs-Adressierungs-Laser (650 nm). Der blau-grüne Laser liest/schreibt die holographisch codierten Daten der Polymer-Schicht im oberen Bereich der Disc (Bild 20f). Im Gegensatz zu anderen holographischen Speichern kommen hier der Referenz- und Informations-Strahl aus der gleichen Richtung. Das vereinfacht den Aufbau. Die dichroitische Schicht ist für das blau-grüne Licht gut reflektierend und für den roten Laser mit  $\lambda = 650$  nm weitgehend durchlässig. So gelangt das rote Licht bis zu den Pits, die ihn mittels der dahinter befindlichen Aluminium-Schicht reflektieren. Hier sind Hilfsinformationen gespeichert, die u.a. mit den Sektor-, Kopf- und Segment-Informationen einer normalen Festplatte vergleichbar sind. So wird eine schnellere Adressierung als bei der CD oder DVD erreicht. Denn dort sind diese Informationen zwischen den Daten eingefügt. Die Aufteilung der Aufgaben zwischen dem roten und blau-grünen Laser-Strahl verbessert außerdem die Fehlerfreiheit der Holographie-Daten. Zur Umsetzung dieser Methode haben die Firmen Nippon Paint, Pulstec Industrial und Toagosei eine „HVD Allianz“ gebildet. Die ersten Spezifikationen erfolgten 2004. 2005 schlossen sich weitere Firmen zur Realisierung des Speichers an. Es ist eine Kapazität von 1 TByte und eine Transferrate von 1 GBit/s vorgesehen. In computergenerierten Hologrammen wird das Interferenzmuster des Hologramms z.T. auch berechnet.

Eine dritte holographische Variante stammt von der Firma NTT (Japan). Sie benutzt WORM-Platten von  $25 \times 25$  mm<sup>2</sup> aus Kunststoff, die etwa 1 GByte speichern. Sie werden Info-**MICA** (**m**ultilayered **i**mprinted **c**ard) genannt. Mittelfristig sollen die Karten in über 100 Schichten 10 GByte Daten aufnehmen können. Weil Schichten mit alternierendem Brechungsindex benutzt werden, wirken sie als Wellenleiter. Hervorgehoben wird, dass diese Medien biologisch vollständig abbaubar sind und daher sehr umweltverträglich sind.

Auf Grund der vielen holographischen Aktivitäten hat die Industrievereinigung **ECMA** International 2004 ein technisches Komitee gegründet, das die Standardisierung eines holographischen Speichers vorantreiben soll. Hierbei wird u.a. über eine HVC (**h**olographic **v**ersatile **c**ard) und eine read-only HVD (**h**olographic **v**ersatile **d**isc) diskutiert.

#### 4.4.5 Herstellung von CD und DVD

Bei der Herstellung von CD, DVD und blauen Medien liefert ein Kunde die Daten an das Presswerk. Hieraus ergeben sich unterschiedliche Verantwortungen. Der Kunde ist für den Inhalt der Daten zuständig und muss dem Presswerk u.a. bestätigen, dass alle urheberrechtlichen Bedingungen erfüllt sind. Das Presswerk ist dagegen für die Einhaltung der techni-