

Hans Brümmer¹

Bilddatenspeicherung auf CD-ROM und DVD

1.	Problemstellung	2
1.1	Dateiformate	2
1.1.1	TIFF-Format	3
1.1.2	JPEG	3
1.1.3	RAW-Format	3
1.2	Archive und Bilddatenbanken	4
1.3	Speichermedien und ihre Haltbarkeit	5
2.	CD-ROM und DVD als aktuelle Speichermedien	6
2.1	Aufbau des Datenträgers	7
2.2	Beschreibbare CD	9
2.3	Einige Kenndaten der beschreibbaren CD	9
2.4	Wiederbeschreibbare CD	10
3.	Codierung der Information / Fehlererkennung und Korrektur	10
4.	DVD-Formate	11
5.	Die möglichen Nachfolger der DVD	13
6.	Untersuchungen zur Lebensdauer von CD und DVD	14
7.	Empfehlungen zum Brennen und Beschriften von CD- und DVD-Rohlingen	15
8.	Empfehlungen zur digitalen Langzeitarchivierung	16
8.1	CD-ROM und DVD	16
8.2	Festplatten	17
8.3	USB-Stick	17
8.4	Strategien für eine digitale Langzeitarchivierung	18
9.	Digitale Langzeitarchivierung auf Mikrofilm	19
10.	Quellen	19

Erweitertes Manuskript des Vortrags
 „Lebensdauerprobleme bei der Bilddatenspeicherung auf CD-ROM und DVD“,
 der beim DGPh-Symposium „Photographie – wie geht die Reise weiter?“
 während der photokina 2006 gehalten wurde.

Der Text kann unter <http://home.vr-web.de/hans.brueemmer> als pdf-Datei abgerufen werden.

¹ Prof. Dr.-Ing. Hans Brümmer, Steinberg 12, 31832 Springe (<http://home.vr-web.de/hans.brueemmer>) ist Vorsitzender der Sektion Wissenschaft und Technik der Deutschen Gesellschaft für Photographie (DGPh).

1 Problemstellung

Bei der Langzeitarchivierung analoger fotografischer Bilder kann die natürliche Alterung durch eine sachgemäße Lagerung verlangsamt werden. Da Kopiervorgänge i. a. zu Qualitätseinbußen führen, sollten möglichst Originale für die Nachwelt aufbewahrt werden. Der Vorteil analoger Bilder besteht darin, daß die Information ohne weitere technische Hilfsmittel direkt interpretiert werden kann. Metadaten² können häufig auf dem Medium (z.B. der Bildrückseite) in unmittelbar lesbarer Form festgehalten werden.

Hinsichtlich der Langzeitarchivierung haben digital gespeicherte Bilder gegenüber analogen völlig andere Eigenschaften: Bei der richtigen Handhabung lassen sich digitale Daten beliebig oft kopieren; Original und Kopie sind identisch. Digital gespeicherte Daten können nicht kontinuierlich zerfallen. Digital aufgezeichnete Daten können entweder vollständig (und richtig) gelesen werden, oder es treten Fehler auf, welche im Prinzip den ganzen betroffenen Datensatz wertlos machen. Zur Erkennung und Korrektur von Fehlern lassen sich jedoch spezielle Codierungen und Algorithmen einsetzen. Bei digitalen Archiven kommt noch eine weitere Schwierigkeit hinzu: Die Datenträger selbst lassen sich nur mit technischen Hilfsmitteln lesen und interpretieren.

Bei der digitalen Speicherung fotografischer Bilddaten, ist der Datenträger nur ein Glied der Kette, die aus

- dem Dateiformat, in welchem die Bilddaten gespeichert werden,
- einem geeigneten Archivierungsprogramm oder einer Bilddatenbank
- sowie dem Speichermedium als Datenträger (z.B. Festplatte, Magnetband oder optisches Speichermedium)

besteht.

1.1 Dateiformate

Ein Dateiformat (Dateityp) ist eine Konvention, die angibt, auf welche Weise die in der Bitfolge einer Datei enthaltene Information zu interpretieren ist. Jedes Dateiformat legt zunächst fest, wie der Inhalt in der Datei codiert ist und welche den Inhalt beschreibenden Informationen an welcher Stelle der Datei zu finden sind. Bei Fotografien wird die Bildinformationen punktweise als Bitmap-Grafik gespeichert. Bitmap-Grafiken eignen sich gut zur digitalen Darstellung von Bildern, die weiche Farb- bzw. Graustufenverläufe oder eine sehr komplexe Struktur aufweisen.

Bei Schwarz-Weiß-Bildern wird jeder Bildpunkt durch genau ein Bit beschrieben (schwarz oder weiß); bei Graustufen- und Farbbildern sind mehrere Bits für jeden Bildpunkt (Pixel) nötig. Bei Farbbildern gibt die Farbtiefe die Bits pro Bildpunkt an. Aus der Farbtiefe ergibt sich die Anzahl der Farben, die jedem Bildpunkt zugeordnet werden kann. Bei 8 bit sind dieses zum Beispiel $2^8 = 256$ verschiedene Helligkeitswerte je Farbkanal. Für die drei Farben Rot, Grün und Blau ergeben sich daraus $256 \times 256 \times 256 = 16.8$ Mio. Farben für jeden Bildpunkt. Bei einer Farbtiefe von 16 bit stehen $2^{16} = 65.536$ Helligkeitswerte je Farbkanal zur Verfügung.

² Metadaten sind definiert als Daten, die andere Daten beschreiben. Bei Fotografien können es z.B. eine Beschreibung des Bildthemas, Namen der abgebildeten Personen, Ort und Zeit, Photograph, aber auch technische Informationen wie Filmtyp, Belichtungszeit usw. sein.

Mit wachsender Farbtiefe einer Grafik steigt also auch der Speicheraufwand³. Man versucht daher, insbesondere bei Amateurkameras, die Datenmenge durch Kompressionsverfahren zu reduzieren.

1.1.1 TIFF-Format

Das von Microsoft, Hewlett-Packard und Aldus definierte „Tagged Image File Format“ ist weit verbreitet und bildet das wohl wichtigste Format für den Austausch von Bildern zwischen verschiedenen Plattformen. So wird das TIFF-Format von fast allen gängigen Anwendungsprogrammen unterstützt, die mit Bitmap-Grafiken arbeiten. Nachteilig wirkt sich bei TIFF die große Datenmenge aus, da hier für jeden Bildpunkt (Pixel) $3 \times 8 = 24$ bit oder $3 \times 16 = 48$ bit abgespeichert werden, was etwa 15 bzw. 30 Megabyte⁴ bei einem 5-Megapixel-Bild bedeutet. Daher wird in einfachen Digitalkameras die Datenmenge durch Kompressionsverfahren reduziert.

1.1.2 JPEG

JPEG ist eigentlich kein Dateiformat, sondern ein von der Joint Photographic Experts Group entwickeltes verlustbehaftetes Kompressionsverfahren für digitale Bilder. Die Komprimierungsartefakte⁵ bei einer Kompression von 5:1 (das heißt Reduktion des Datenvolumens auf 1/5) sind nahezu unsichtbar, bei 10:1 je nach Motiv noch akzeptabel. Bei zu starker Komprimierung neigt das Verfahren zur "Klötzchenbildung", besonders bei großen Flächen mit sanften Farbübergängen. JPEG bietet 8 Bit pro Farbkanal (256 Helligkeitsabstufungen).

JPEG-Bilder werden bei jedem Abspeichern neu verlustbehaftet komprimiert, was bei häufiger Bearbeitung zu Qualitätseinbußen führt. Bilddateien die mehrfach bearbeitet werden sollen, sollten deshalb bis zu Erstellung der endgültigen Version in einem verlustfreien Format gespeichert werden. JPEG ist dann geeignet, wenn keine weitere Nachbearbeitung des Bildes vorgesehen ist.

1.1.3 RAW-Format

Nach der Aufnahme liegen die digitalen Rohdaten in der Kamera in einem proprietären⁶ Format – dem Rohdatenformat RAW – vor, das nur mit der Software des jeweiligen Herstellers oder einigen speziellen Anwendungen von Drittanbietern verarbeitet werden kann. In Anlehnung an den Filmstreifen in der Analog-Fotografie spricht man bei RAW-Fotos auch vom „digitalen Negativ“. Diese Daten werden praktisch unbearbeitet direkt auf das Speichermedium geschrieben. Obwohl sich die Funktionsweise der digitalen Bildsensoren verschiede-

³ Siehe auch Brümmer: Auflösungsprobleme in der digitalen Fotografie, <http://home.vr-web.de/hans.bruemmer>.

⁴ Es wird häufig nicht berücksichtigt, dass der Begriff „Mega“ aus dem Zahlensystem mit der Basis 10 stammt und $10^6 = 1.000.000$ bedeutet. In der Digitaltechnik wird das Zahlensystem mit der Basis 2 verwendet, dabei bedeuten: 1 Byte = 8 Bit (Standardeinheit zur Angabe von Dateigrößen). Ein Bit ist die kleinste Informationseinheit in einem Computer. Mit dieser Binarziffer können nur zwei Zustände angegeben werden.
 $1 \text{ KByte} = 1 \text{ KB} = 2^{10} \text{ Byte} = 1.024 \text{ Byte} / 1 \text{ MByte} = 1 \text{ MB} = 2^{20} \text{ Byte} = 1.048.576 \text{ Byte} / 1 \text{ GByte} = 1 \text{ GB} = 2^{30} \text{ Byte} = 1.073.741.824 \text{ Byte}$.

⁵ Artefakte sind kleine Bildelemente, die in dem, was sie darstellen, nicht dem abgebildeten Original entsprechen. Artefakte treten z.B. bei starker Komprimierung von Bildern auf.

⁶ Bezeichnung für herstellereigene Produkte oder Verfahren, für die der Urheber Schutzrechte besitzt.

ner Hersteller im Allgemeinen nicht wesentlich unterscheidet, sind die abgespeicherten RAW-Formate zueinander nicht kompatibel.

Ein Vorteil der RAW-Speicherung besteht darin, dass keine Verluste durch die JPEG-Komprimierung auftreten. Die von der Kamera erfaßten 12 Bit je Sensor können voll genutzt werden. RAW speichert die 12 Bit als Grauwert pro Sensorpunkt (statt der 3 x 8 Bit bei JPEG). Die durch die Verwendung des Bayer-Sensors⁷ notwendige Farbinterpolation wird erst im Computer durchgeführt und nicht durch die Rechenleistung des Prozessors in der Kamera limitiert.

Die Gammakorrektur, der Weißabgleich, die Anpassung der Helligkeit und des Kontrastes, das Nachschärfen des Bildes sowie eine Rauschfilterung können durch den Anwender kontrolliert werden. Viele Digitalphotographen sehen die RAW Technologie als eines der besten Hilfsmittel an, um eine bestmögliche Bildqualität zu erzielen.

Die Expansion der Anzahl proprietärer RAW-Formate und der Übergang zu einer Verschlüsselungspraxis von RAW-Formaten seitens der Kamerahersteller, haben Befürchtungen hinsichtlich der „Haltbarkeit“ von RAW-Formaten für die Langzeitarchivierung laut werden lassen. Einige Hersteller, deren Kameras proprietäre RAW-Formate produzierten, haben ihr Geschäft bereits aufgegeben, mit unbekanntenen Konsequenzen für zukünftigen Zugang zu diesen Digitalbildern. Die internationale OpenRAW-Initiative⁸ bemüht sich um Offenlegung bzw. Standardisierung des RAW-Formats.

1.2 Archive und Bilddatenbanken

Ein *Archiv* ist eine Einrichtung zur systematischen Erfassung, Ordnung, Verwahrung, Verwaltung und Verwertung von Schriftgut, Bild- und Tonträgern (Archivalien). Moderne Archive sind ausschließlich elektronisch aufgebaut. Der Begriff der elektronischen Archivierung wird sehr unterschiedlich benutzt. Durch die sich ständig verändernden Technologien, immer neuer Software, Formate und Standards, ist der Aufbau und die Pflege eine große Herausforderung für die Informationsgesellschaft. Immer mehr Information entsteht digital und die Ausgabe auf Papier ist nur noch eine mögliche Repräsentation des ursprünglichen elektronischen Dokuments.

Eine *Bilddatenbank* ist ein Programm zur Verwaltung digitaler Bilddaten. Bilddatenbankprogramme können eine Vielzahl von Dateiformaten erfassen und ausgeben. Um einen systematischen Zugriff zu ermöglichen, können die Bilder mit Schlagworten und Kategorien belegt oder in Gruppen zusammengefaßt werden. Zur gezielten Suche kann eine Auswahl getroffen und die Bilder können unabhängig vom eigentlichen Speicherort in einem Katalog mit miniaturisierten Ansichten betrachtet und ausgewählt werden. Zur Weiterverarbeitung in anderen Programmen lassen sich die Bilder exportieren. Umfangreichere Bilddatenbanksysteme ermöglichen die Bereitstellung und Verwaltung von Bildarchiven in Intranet oder Internet.

Wir wissen noch nicht, wie man digitale Publikationen, künstlerische Werke, Bild- und Tondokumente usw. so archiviert, dass sie dauerhaft lesbar und damit für alle Zukunft zugänglich bleiben. Bereits heute sind digital gespeicherte Werke auf neuen Medien ein selbstverständlicher, unverzichtbarer Bestandteil der Arbeit in Wissenschaft, Forschung, Kultur und öffentlicher Verwaltung. Wenn dieses kulturelle Erbe für die nachfolgenden Generationen erhalten

⁷ Da CCD-Sensoren ausschließlich auf Helligkeitsunterschiede reagieren, ist der Einsatz von Farbfiltern erforderlich. Die einzelnen Pixel des Matrix-Sensors der Digitalkameras werden mit einem mosaikartigen Muster aus winzigen roten, grünen und blauen Farbfiltern bedampft. Aus farbphysiologischen Gründen setzen sich solche Filter aus 50% grünen und jeweils 25% roten und blauen Anteilen zusammen. Da bei diesem Verfahren jeweils nur ein Farbwert pro Pixel erfaßt wird, ist eine anschließende Farbinterpolation erforderlich.

⁸ <http://openraw.org/survey/>

und die Verfügbarkeit der digitalen Ressourcen auf Dauer sichergestellt werden soll, muß das weltweit ungelöste Problem der langfristigen Zugänglichkeit digitaler Dokumente angegangen werden. Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekt *nestor* bündelt das verfügbare Know-how und die Kompetenzen zur Langzeitarchivierung⁹. Ziel von *nestor* ist es, bestehende Aktivitäten zur Langzeitarchivierung in Deutschland durch Austausch und Kooperation auf nationaler und internationaler Ebene vorwärts zu bringen. Arbeitsgruppen in *nestor* greifen Vorarbeiten auf, die von der internationalen Gemeinschaft begonnen wurden.

Die Arbeitsgruppen befassen sich mit Kriterien und Maßstäben, die an vertrauenswürdige digitale Archive angelegt werden sollen und nach denen diese evaluiert werden können. Beteiligt sind Mitarbeiter aus Bibliotheken, Archiven, Museen, Datenzentren sowie Zertifizierungsexperten. Ziel ist eine kooperative Infrastruktur, in der vielfältige Fachkompetenzen bei der Problemlösung zusammenwirken.

1.3 Speichermedien und ihre Haltbarkeit

Während altes Pergament und Papier bei guter Lagerung viele hundert Jahre haltbar sind, trifft dieses auf neue Speichermedien nicht zu. Die meisten Publikationen aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts sind auf Papier gedruckt, das sich durch Säurefraß zersetzt. Ältere Drucke und Handschriften haben andere Probleme: Bei Verwendung eisenhaltiger Tinte können die Buchstaben bei Feuchtigkeitseinwirkung einfach wegrosten und es entstehen Löcher in den Seiten.

Medium	Erwartete Lebensdauer laut Hersteller (In Klammern die tatsächlich nutzbare Zeit)
Steintafeln und Steinmalereien (Keilschrift)	mehrere tausend Jahre
Bücher und Handschriften aus säurefreiem Papier und mit säurefreier und nicht eisenhaltiger Tinte	mehrere hundert Jahre
Bücher und Handschriften aus säurehaltigem Papier (insbesondere Druckwerke des 19. und frühen 20. Jahrhunderts)	70 - 100 Jahre
Herkömmliche Bücher	100 - 200 Jahre
Zeitungspapier	10 - 50 Jahre
Magnetbänder	bis zu 30 Jahre
Disketten	5 - 10 Jahre
Mikrofilm	rund 500 Jahre (teilweise weniger als 50 Jahre)
Filme auf Zelluloid	mehrere hundert Jahre (oft nur 50 bis 70 Jahre)
Optische Speichermedien CD-ROM / DVD	25 - 100 Jahre (zum Teil weniger als 5 Jahre!)

Tabelle 1: Lebensdauer einiger Datenträger¹⁰

⁹ www.langzeitarchivierung.de

¹⁰ Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Langzeitarchivierung>

Filme, Fotos und Magnetbänder haben ebenfalls eine begrenzte Haltbarkeit. Noch kürzer ist die Lebensdauer digitaler Speichermedien wie Disketten und CDs. Datenträger verlieren ihre Informationen durch Umwelteinflüsse (z. B. durch Magnetfelder in der Nähe von Disketten oder Magnetbändern) oder sie werden durch chemische oder physikalische Einwirkungen so stark verändert, dass sie keine Informationen mehr speichern können oder nicht mehr auslesbar sind (z. B. UV-Strahlung auf CD-ROM). Oft scheidet die Lesbarkeit auch nur daran, daß zu einem späteren Zeitpunkt die passenden Geräte und Programme nicht mehr vorhanden sind.

Da digitale Informationen nicht unmittelbar zugänglich sind, können diese nur gelesen werden, wenn ein Programm und ein Betriebssystem vorliegen, das den Inhalt einer Datei "versteht". Da viele Betriebssysteme und Programme ein proprietäres Verfahren zur Codierung der Daten einsetzen, ist eine Lesbarkeit von Daten nicht mehr gegeben, wenn ein Betriebssystem oder ein Programm nicht weiterentwickelt wird. Verschärft wird dieses Problem durch die Politik einiger Softwarehersteller, neue Programmversionen mit veränderten Datenformaten zu veröffentlichen, die ältere Datenformate des gleichen Programms nicht vollständig nutzen können.

Ähnlich wie bei den Datenformaten ist die Situation bei den Trägerformaten. Eine Datei, die vollständig und in einem noch lesbaren Dateiformat vorliegt, kann von fast allen Computerbenutzern nicht mehr gelesen werden, wenn sie sich auf einer 5,25"-Diskette befindet. Laufwerke, die dieses Format lesen können, sind seit dem Ende der 1990er Jahre kaum noch zu finden.

2 CD-ROM und DVD als aktuelle Speichermedien

Optische Speichermedien haben sich in den letzten Jahren zu bevorzugten Datenträgern für große Datenmengen entwickelt. Wegen der günstigen Kosten sowohl der Datenträger als auch der Geräte werden bevorzugt

- Compact Disc (CD) für kleinere (üblich sind 650–800 MB) und
- Digital Versatile Disc (DVD; versatile = vielseitig verwendbar) für große Datenmengen (4,7–17 GB) eingesetzt.

Von den etwa 10 existierenden CD-Formaten kommen als *Speicher für Bilddaten* die folgenden in Frage:

CD-ROM	<u>C</u> ompact <u>D</u> isc <u>R</u> ead <u>O</u> nly <u>M</u> emory ist ein Nurlesespeicher für Daten. CD-ROM ist die offizielle Bezeichnung für CDs, die als Datenträger eingesetzt werden. Zum Speichern der Daten werden Vertiefungen in einen Polycarbonat-Träger gepreßt und mit einer reflektierenden Aluminium-Schicht hinterlegt.
CD-R	<u>C</u> ompact <u>D</u> isc <u>R</u> ecordable. CD-R sind einmal beschreibbare CD-Medien. Vor einer reflektierenden Schicht befindet sich ein Farbstoff, der beim Erhitzen durch den Laser seine optischen Eigenschaften verändert.
CD-RW	<u>C</u> ompact <u>D</u> isc <u>R</u> ewriteable. CD-RW sind wieder beschreibbare CD-Medien, die bis zu 1000-mal gelöscht und wieder neu beschrieben werden können.

Photo-CD	Foto-CD für die Ablage von digitalen Bildern.
-----------------	---

Tabelle 2: CD-Formate für die Bilddatenspeicherung

Die Photo-CD von Kodak ist eine standardisierte CD-ROM für die Digitalisierung und Archivierung von Fotografien. Sie wurde von der Eastman Kodak Company und Philips entwickelt und 1992 am Markt eingeführt; es existieren Varianten sowohl für die private als auch die professionelle Bildbearbeitung. Die Spezifikation der Photo-CD umfaßt nicht nur die Definition des Datenträgerformats, sondern enthält ein komplettes Verfahren, um Kleinbild-Negative und -Dias in hoher Qualität zu digitalisieren und in verschiedenen Auflösungen zu speichern. Das verwendete Dateiformat IMAGE PAC ist zu keinem der verbreiteten Dateiformate für digitale Bilder kompatibel; es handelt sich vielmehr um eine proprietäre Spezifikation von Kodak, die ausschließlich für die Photo-CD entwickelt wurde und seit der Freisetzung Ende 1998 öffentlich zugänglich ist. Das Format wird von den gängigen Bildbearbeitungsprogrammen unterstützt. Ein Hauptvorteil der IMAGE PAC liegt im medienneutralen Farbraum PhotoYCC. Dieser ist optimal für die digitale Archivierung und Weiterverarbeitung fotografischer Vorlagen; Schwarz/Weiß und Farbbearbeitung sind ohne Konvertierung möglich. Die Photo-CD hatte bisher keine große Verbreitung.

Die DVD ist ein Nachfolgemedium der herkömmlichen Compact Disc mit den gleichen Abmessungen und einer vielfachen Speicherkapazität je Informationsschicht. Neue Entwicklungen verwenden zwei Informationsschichten pro Discseite, so dass sich die Speicherkapazität noch einmal etwa verdoppeln bzw. vervierfachen läßt. Die DVD bietet somit viel Platz für die Speicherung umfangreicher Multimedia-Anwendungen.

Dem Vorteil des geringen Preises stehen Zweifel an der Eignung als Langzeitspeicher für die Archivierung gegenüber. In dieser Übersichtsdarstellung soll zunächst das Speicherprinzip sowohl der verschiedenen CD als auch der DVD soweit dargestellt werden, wie es für einen professionellen Fotografen wichtig erscheint. Danach wird auf die Materialprobleme und die damit zusammen hängenden Einflüsse auf die Lebensdauer eingegangen. Schließlich werden einige logistische Aspekte der Verwaltung der Daten diskutiert.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> – Leicht auswechselbares Medium mit hoher Speicherkapazität. – Keine Störungen durch Magnetfelder. – Laufwerke können verschiedene Standards lesen. – Produktion ist viel billiger als bei Festplatten. – Keine nachträgliche Infizierung mit Viren. 	<ul style="list-style-type: none"> – Hohe Zugriffszeiten und geringe Transferraten im Vergleich zu Festplatten. – Zweifel an der Eignung als Langzeitspeicher.

Tabelle 2: Vor- und Nachteile von CD und DVD

2.1 Aufbau des Datenträgers

Das Trägermedium besteht bei den CD und DVD aus einer Kunststoffscheibe mit einem Brechungsindex von 1,55 mit einem Durchmesser von 12 cm und einer Stärke von 1,2 mm; üblicherweise wird Polycarbonat verwendet. Auf dieser Scheibe befindet sich (wie bei der Schall-

platte) eine spiralförmige Datenspur, die jedoch von innen nach außen verläuft. Bei gepressten CD wird die Information durch Vertiefungen (Pits) und ebene Flächen (Lands) codiert. Diese sind unterschiedlich lang und so konzipiert, dass sie mit Hilfe eines Laserstrahls ausgelesen werden können. Diese Oberfläche wird mit einem dünnen Aluminiumfilm bedampft. Dieser erhält einen bedruckbaren Lacküberzug.

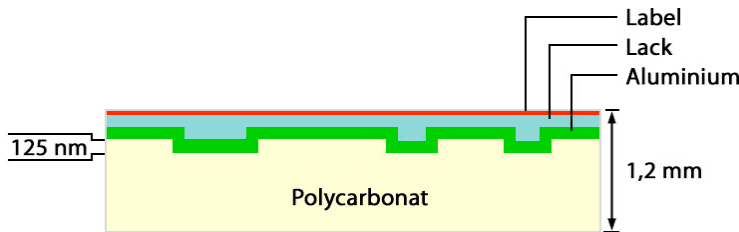


Bild 1: Aufbau einer Compact Disc (nach Wikipedia)

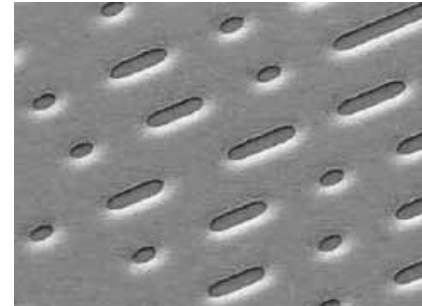


Bild 2: Pits und Lands

Die Information wird im Abspielgerät von einer Galliumarsenid-Laserdiode (Wellenlänge 780 nm oder 790 nm) durch die Trägerschicht hindurch abgetastet. Daraus folgt, dass der Laser die Pits nicht als Vertiefungen, sondern durch das Polycarbonat als Hügel „sieht“ (Bilder 1 bis 3).

Der Lichtstrahl des Lasers wird mittels eines halbdurchlässigen Spiegels in zwei Teile gleicher Stärke aufgespalten (Bild 4). Einer der beiden Teilstrahlen trifft auf die CD, wird dort reflektiert und dann mit dem anderen Teilstrahl überlagert. Der Strahl, der auf die CD trifft, hat bei einem Land eine längere Laufstrecke zurückzulegen als bei einem Pit. Durch Interferenz der Lichtwellen entstehen aus den Laufzeitunterschieden zwei unterschiedliche Lichtintensitäten im Summenstrahl, die mit einer Photodiode erfasst und in elektrische Impulse umgewandelt werden.

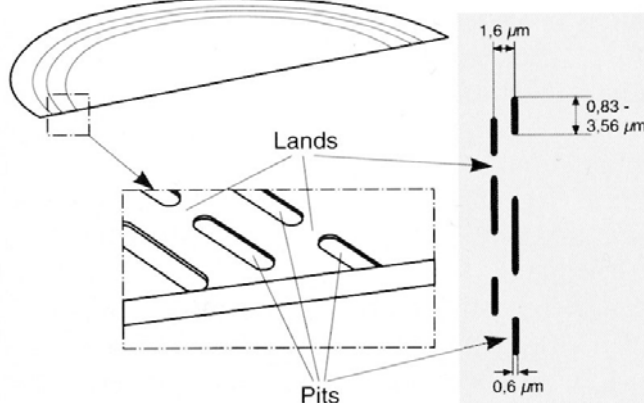


Bild 3: Abmessungen der Pits und Lands bei einer CD

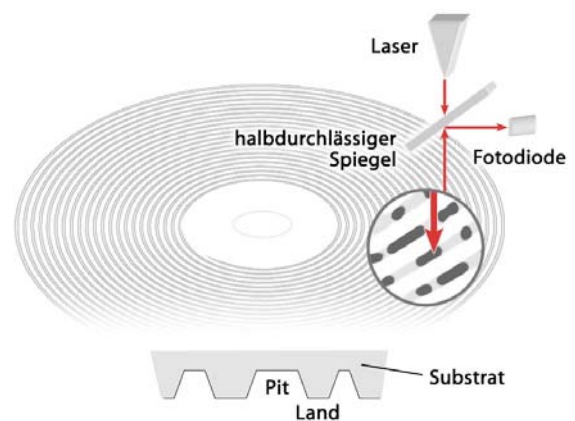


Bild 4: Abtastung der Information durch einen Laser

Zur Veranschaulichung der Feinheit der Strukturen sei hier der Durchmesser des menschlichen Kopfhaares herangezogen, das eine Dicke von etwa 0,07 mm besitzt. Es „passen“ also etwa 40 CD-Spuren (Bild 3) unter ein menschliches Haar. Oder anders ausgedrückt: 600 CD-Spuren (bzw. 1.200 DVD-Spuren) haben eine Breite von etwa 1 mm. Diese Zahlen ergeben

eine Vorstellung davon, wie gering die zulässigen Toleranzen der Datenträger bzw. der Brenner und Abspielgeräte sind und welche Auswirkungen geringe Beschädigungen der Oberfläche, Drehzahlschwankungen oder mechanische Toleranzen haben können.

2.2 Beschreibbare CD

Beschreibbare CD, auch CD-R (Recordable), CD-WO (Write Only) oder CD-WORM (Write Once Read Many) genannt, unterscheiden sich im Aufbau von einer gepreßten CD. Sie bestehen aus einem im Spritzgußverfahren hergestellten transparenten Kunststoffträger, in dessen Oberfläche sich eine mikroskopisch feine, eingepreßte Rille (Pregroove oder Groove)¹¹ befindet. Diese dient der Führung eines energiereichen Lasers, der beim Schreiben (Brennen) der digitalen Information durch Wärmeeinwirkung das Reflektionsvermögen einer organischen Farbschicht (Dye) im Bereich der Pits verändert. Die Ränder der Pregroove sind wellenförmig ausgeführt; diese Wellenstruktur wird ausgelesen. Die dabei gewonnenen Informationen dienen dazu, die Umdrehungsgeschwindigkeit zu steuern. Im Anfangsbereich der Pregroove stehen einige Informationen, etwa zur Steuerung der Laserleistung, über Einsatzmöglichkeiten sowie über den Beginn der Lead-in bzw. der Lead-out Area.

Die Lead-in Area ist der Anfangsbereich einer CD oder einer einzelnen Session. Die Lead-in Area enthält lediglich ein Inhaltsverzeichnis; ihre Größe beträgt ca. 9 MByte. Die Lead-out Area ist der Bereich am Ende der Datenspur einer CD bzw. am Ende einer einzelnen Session, der als Endemarkierung dient. Am Ende einer CD umfaßt diese etwa 13 MByte, am Ende einer einzelnen Session etwa 4,5 MByte.

Beim Lesen der Information wird der Laser mit einer geringeren Leistung betrieben, so dass er die Farbstoffschicht nicht verändert. Hinter der Farbstoffschicht befindet sich bei der CD-R eine dünne Silber- oder Goldschicht, welche die Reflektion des Laserstrahls verbessert. Der Reflektionsgrad wird von den Herstellern mit größer als 65 Prozent angegeben.

2.3 Einige Kenndaten der beschreibbaren CD

Bei den beschreibbaren CD ist der Reflektionskontrast der Pits und Lands geringer als bei den gepreßten CD. Außerdem sind alle Polymere nicht unbegrenzt stabil; unter Einfluß von Licht und Temperatur verlieren sie an Reflektionskontrast, bis schließlich keine Daten mehr lesbar sind. Die CD-R-Hersteller versuchen diesen Schwächen durch besondere Materialkombinationen entgegenzuwirken. Die Unterseite der CD-Rohlinge kann unterschiedliche Farben aufweisen. Je nach verwendetem Farbstoff und Reflektionsschicht (Gold, Silber oder Aluminium) entstehen verschiedene Farbtöne der CD-Unterseiten:

- Phtalocyanin/Gold schimmert golden. Die Haltbarkeit dieser CD-Rs wird von den *Herstellern* mit über 100 Jahren angegeben. Bei ihnen ist der Reflexionskontrast am höchsten.
- Cyanin/Silber schimmert bläulich.
- Cyanin/Gold schimmert grünlich. Die Haltbarkeit der Rohlinge mit Cyanin Beschichtung wird mit ca. 10-15 Jahren angegeben. Grün schimmernde Rohlinge liefern den schwächsten Kontrast und führen bei empfindlichen CD-ROM Laufwerken oft zu Lesefehlern.

¹¹ Der Erfolg eines Brennvorgangs hängt erheblich davon ab, wie genau die geometrischen Abmessungen der Rille sind. Bei hochwertigen Rohlingen verläuft die Groove gleichmäßig über die gesamte Scheibe.

- Azo/Silber schimmert dunkelblau. Diese Rohlinge sind selten anzutreffen. Die Haltbarkeit dieser CD-Rs wird wie bei den goldenen CD von den *Herstellern* mit über 100 Jahren angegeben.

Die von den Herstellern angegebenen Lebensdauern konnten in Tests nicht unbedingt bestätigt werden (siehe Kapitel 7). Rohlingen mit bunter oder schwarzer Unterseite wird ein Farbstoff beigemischt, der keinerlei Auswirkung auf die Qualität hat.

Bei billigen Rohlingen ist der Farbstoff oft nicht gleichmäßig aufgetragen oder es treten Fehler in der Reflektionsschicht auf. Diese mindere Qualität hat Auswirkungen auf die Lesefähigkeit; beschriebene Rohlinge sind oft schon nach 1-2 Jahren nicht mehr vollständig lesbar.

Kleine Risse am Innenring können durch die hohen Drehzahlen der Laufwerke im schlimmsten Fall zur Beschädigung des CD-Laufwerks führen. Am äußeren Ring treten oft kleine Verfärbungen oder eine Art "Ausfransen" der Reflektionsschicht auf, was zu Oxidation führen kann.

2.4 Wiederbeschreibbare CD

Die wiederbeschreibbaren CD-RW können mit geeigneten Brennern nach Herstellerangaben bis zu 1000-mal neu beschrieben werden. Die Technik basiert auf der Phase-Change-Technologie, dabei wird ein Reflektionsgrad von nur 15-25 Prozent erreicht. Das Prinzip der Phase-Change-Technologie beruht darauf, dass ein relativ energiereicher Laserstrahl amorphe¹² Zonen auf der Oberfläche verursacht, die das Licht des lesenden Lasers schlechter reflektieren. Zum Löschen wird ein etwas energieärmerer Laser eingesetzt, unter dessen Einfluß das Oberflächenmaterial wieder kristallin wird und dadurch besser reflektiert. Der Wechsel der Phasen wird durch Änderung der Temperatur hervorgerufen, wobei die Farbschicht zwischen dielektrischen Schichten liegt.

3 Codierung der Information / Fehlererkennung und Korrektur

Die Codierung der Daten ist so gewählt, dass ein Wechsel von Pit nach Land oder umgekehrt einer logischen „1“ entspricht, ansonsten wird eine „0“ gelesen (Bild 5). Um ein einwandfreies Auslesen einer CD zu gewährleisten, müssen zwischen zwei Einsen mindestens zwei Nullen stehen – daher ist eine Umcodierung notwendig. Mit weiteren erforderlichen Zusatzbits erweitert sich ein Datenbyte auf insgesamt 17 Bit.

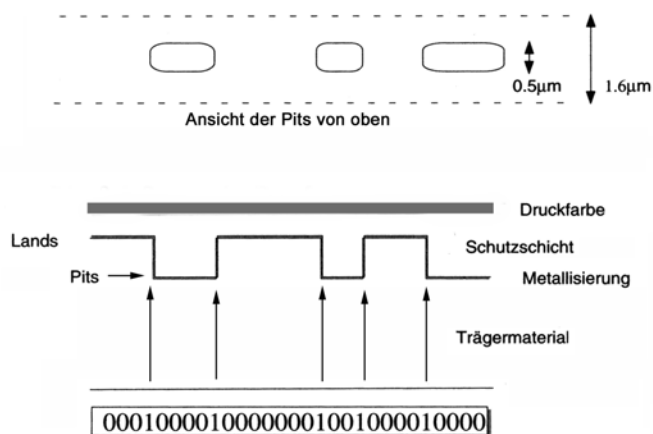


Bild 5: Codierung der Information

– daher ist eine Umcodierung notwendig. Mit weiteren erforderlichen Zusatzbits erweitert sich ein Datenbyte auf insgesamt 17 Bit.

Die Drehzahl wird abhängig von der Stellung des Abtastsystems auf der spiralförmigen Spur reguliert, um eine gleichbleibende Datenrate zu gewährleisten. Viele moderne CD-ROM-Laufwerke lesen CD hingegen mit konstanter Winkelgeschwindigkeit, um das zeitraubende Beschleunigen und Abbremsen der CD beim Hin- und Herspringen der Leseposition zu vermeiden. Dadurch hängt bei diesen Laufwerken die Datenrate von der

¹² Stoff, bei dem die Atome keine geordneten Strukturen, sondern ein unregelmäßiges Muster ausbilden.

Position des Lesekopfes ab.

Bei den heute verwendeten digitalen Aufzeichnungsverfahren sind Aufzeichnungsfehler unvermeidbar, z.B. bedingt durch nicht perfekte Medien (Materialfehler). Diese Fehler werden durch Fehler-Korrekturverfahren aufgefangen, was eine korrekte Wiedergabe der Daten ermöglicht. Erlaubt ein Aufzeichnungsgerät die Bestimmung der erfolgreichen Fehlerkorrekturen, so erhält man ein Maß für die Qualität der Kombination Medium/Lesegerät. Ein regelmäßiges Prüflernen erlaubt festzustellen, ob die Anzahl der Fehler zugenommen hat; dieses ist ein guter Indikator, um schadhafte oder vorschnell alternde Medien frühzeitig zu erkennen.

Bei allen CD und DVD wird eine Fehlererkennung und -korrektur unter Verwendung des Cross Interleave Reed-Solomon Code (CIRC) eingesetzt. CIRC ist ein leistungsfähiger Fehlererkennungscode, der alle Fehler auf einer nicht zu stark zerstörten CD erkennen und korrigieren kann. Dabei werden zwei Prinzipien verwendet. Ein Prinzip ist die Redundanz¹³. Dem Datenstrom werden dabei zusätzliche Bits (z.B. Paritätsbits oder -Bytes) hinzugefügt, um eine Fehlererkennung und die Korrektur dieser Fehler zu ermöglichen.

Das andere Prinzip ist die Verschachtelung. Die Daten werden nicht in ihrer natürlichen Reihenfolge aufgezeichnet, wie z.B. auf Magnetband. Die Daten sind in Blöcken angeordnet (in der CIRC Terminologie "symbols" genannt). Diese Datensymbole, die einem Block angehören, werden über einem ziemlich großen Bereich der Scheibe derart verteilt, dass sie sich mit Symbolen von anderen Datenblöcken "verschachteln". Der Vorteil dieser Technik ist, dass physikalische Fehler (z.B. Kratzer) auf der Scheibe keine vollständigen Datenblöcke zerstören, sondern nur Teile vieler verschiedener Blöcke. Diese teilweise beschädigten Blöcke können dann mit Hilfe der redundanten Information rekonstruiert werden.

Die Fehlerkorrektur hat jedoch Grenzen, die bei den verschiedenen Laufwerken unterschiedlich sind. Es sollten alle Stufen im Brennvorgang (Auswahl der Rohlinge, Qualität des Brenners, Brenngeschwindigkeit, Exzentrizität durch aufgeklebte Label) optimiert werden, damit für den späteren Alterungsvorgang noch „Spielraum“ vorhanden ist.

4 DVD-Formate

Im Jahre 1995 wurde das *DVD-Forum* gegründet. Diese freiwillige Vereinigung von inzwischen mehr als 230 Firmen hatte es sich zum Ziel gesetzt, Industriestandards für die DVD abzustimmen. Dabei entstanden im Laufe der Jahre durch firmenpolitische Ziele sehr große Interessenkonflikte, besonders bei den beschreibbaren DVD-Formaten.

Die *DVD+RW Alliance* ist eine Industrievereinigung, welche preisgünstige Alternativen zu den zwei beschreibbaren DVD-Formaten DVD-R und DVD-RW des *DVD-Forums* anbieten will und deshalb die Alternativformate DVD+R und DVD+RW entwickelte und vermarktet. Es war offensichtlich nicht möglich, sich auf einen gemeinsamen Standard zu einigen. Dieses wird auf dem Rücken des Verbrauchers ausgetragen, dem mit der Vielzahl unterschiedlicher Systeme am wenigsten gedient sein dürfte.

Die DVD wird für folgende drei Verwendungszwecke eingesetzt, für die jeweils eigene DVD-Formate für spezielle Datenstrukturen geschaffen wurden:

¹³ Redundanz: Gehalt an Signalen oder Zeichen, die keine Information vermitteln und eigentlich überflüssig sind. Die Redundanz ermöglicht jedoch prinzipiell die Rekonstruktion einer Nachricht, wenn diese fehlerhaft oder verstümmelt empfangen wird.

- *DVD-Video* ermöglicht die Wiedergabe von Bewegtbildern und Ton mit DVD-Video-fähigen Abspielgeräten.
- *DVD-Audio* ermöglicht die Wiedergabe von Standbildern und Ton in sehr hoher Qualität mit DVD-Audio-fähigen Abspielgeräten.
- *DVD-ROM* ermöglicht das Lesen von allgemeinen Daten (Computerdaten).
-

Die im Vergleich zur herkömmlichen CD erheblich größere Speicherkapazität der DVD erklärt sich aus verringerten Abmessungen. Zum einen sind die Datenspuren schmaler und enger nebeneinander gereiht und die Pits und Lands kleiner. Zum anderen ist es möglich, zwei Datenschichten auf einer Seite übereinander zu lagern. Dieses läßt sich noch einmal verdoppeln, indem man die zweite Seite der DVD ebenfalls doppelartig beschreibt. Die Substratdicke über der Informationsschicht beträgt 0,6 mm, diese Schicht liegt also in der Mitte der Scheibe.

Es ergeben sich folgende Kapazitäten bei den handelsüblichen DVD:

- | | | |
|----------------|---------------|--------|
| – Single Side: | Single Layer: | 4,7 GB |
| | Dual Layer: | 8,5 GB |
| – Dual Side: | Single Layer: | 9,4 GB |
| | Dual Layer: | 17 GB |

Die zweite Informationsschicht wird aus Gründen der Datensicherheit nicht so dicht wie die erste beschrieben. Deshalb verdoppelt sich die Kapazität durch Hinzufügen der zweiten Informationsschicht nicht ganz.

Die Speicherkapazitäten von DVD sind eine Vorgabe der Filmindustrie. Diese geht von einer Standardlänge pro Film von 135 Minuten aus, was einer Datenmenge von etwa 4,7 GByte entspricht. Wenn das nicht ausreicht greift man auf doppelartige DVD zurück.

DVD	Die Bezeichnung <i>DVD</i> tragen alle Scheiben der DVD-Familie.
DVD-ROM	Speichermedium für Computer, ähnlich der CD-ROM.
–	Am „-“ sind alle DVD-Formate erkennbar, welche vom <i>DVD-Forum</i> stammen.
DVD-R	Einmalbeschreibbare DVD wie die CD-R. Das Aufzeichnungsverfahren der DVD-R entspricht dem der CD-R: Vor einer reflektierenden Hintergrundschicht wird ein organischer Farbstoff durch den Laser erhitzt und ändert dadurch seine optischen Eigenschaften. Medien, die nach diesem Verfahren aufgezeichnet werden, haben eine Kapazität von 4,7 GB, können nur einmal beschrieben werden und sind mit nahezu allen DVD-Laufwerken kompatibel.
DL	DL Dual (-) bzw. Double (+) Layer, das heißt zwei Datenschichten pro Seite.
DVD-R DL	Einmalbeschreibbare DVD mit zwei Aufnahmeschichten

DVD-RW	Die DVD-RW ist wie die CD-RW wieder beschreibbar und bedient sich eines ähnlichen Schreibverfahrens, das über die Kristall-Struktur einer Metall-Legierung funktioniert. Die Kapazität entspricht der einer Single-Layer-DVD und das Format ist mit den meisten DVD-Laufwerken kompatibel. DVD-RW-Medien sind gewöhnlich ca. 1.000-mal wieder beschreibbar.
+	Am „+“ sind alle DVD-Formate erkennbar, welche von der <i>DVD+RW Alliance</i> stammen.
±	Mit einem „±“ wird ausgedrückt, dass hier sowohl die DVD-Formate des <i>DVD-Forums</i> als auch der <i>DVD+RW Alliance</i> gemeint sind.
DVD+R	Einmalbeschreibbare DVD und Konkurrenz zur DVD-R.
DVD+R DL	Einmalbeschreibbare DVD mit zwei Aufnahmeschichten
DVD+RW	Wiederbeschreibbare DVD und Konkurrenz zur DVD-RW.
DVD-RAM	R andom A ccess M emory, das heißt freier, direkter Schreib-/Lesezugriff auf alle Daten. Wiederbeschreibbare DVD, ähnlich wie DVD-RW und DVD+RW. Das Format zeichnet sich durch zwei Eigenschaften aus: Einerseits lassen sich die Medien bis zu 100.000-mal wieder beschreiben und andererseits erfordern sie spezielle DVD-Laufwerke.

Tabelle 3: DVD-Typen für die Datenspeicherung

Ganz allgemein liegt der Hauptunterschied von der DVD±RW zur DVD-RAM darin, dass die DVD±RW auf eine *maximale Kompatibilität* mit der DVD-Video und DVD-ROM ausgelegt sind, während die DVD-RAM auf *Datensicherheit* optimiert ist. Die Aufzeichnungsspur der DVD-RAM-Disc ist wie bei der CD eine Spirale, wobei die Information aber nicht nur in der Vertiefung (Groove, Rille) gespeichert wird, sondern abwechselnd im *land* und im *groove*. Obwohl die DVD-RAM als Datenspeicher wesentlich besser geeignet ist als DVD-RW und DVD+RW, verbleibt ihr nur ein Nischendasein, da sie von den normalen DVD-Playern nicht abgespielt werden kann.

5 Die möglichen Nachfolger der DVD

Mögliche Nachfolger der DVD sind die *Blu-Ray Disc* und die *HD DVD*. Die Blu-Ray Disc bietet den größeren Speicherplatz von bis zu 50 GByte – das Fünffache einer DVD. Auf eine HD DVD passen nur 30 GByte, sie ist aber einfacher herzustellen.

Während bei CD-ROM und DVD±RW die Daten mit Hilfe organischer Farbstoffe gespeichert werden, verwendet man bei Blu-Ray Disc anorganische Metallverbindungen. Erste Tests¹⁴ ergaben gute Ergebnisse.

¹⁴ Gieselmann, Hartmut: Die Scharfmacher. Blu-ray Disc und HD DVD sollen die DVD ablösen. Gieselmann, Hartmut: Brenner in blau. Erste Blu-ray-Rohlinge und Brenner im Test. c't magazin für computertechnik, Heft 15, (10.7.2006).

6 Untersuchungen zur Lebensdauer von CD und DVD

Ein großes Problem für die Anwender ist die Unübersichtlichkeit des Rohlingsmarktes. Die Qualität von Datenträgern variiert von Hersteller zu Hersteller. Außerdem wechseln viele Marken häufig den Hersteller und damit auch die Zusammensetzung der Rohlinge, ohne dass dieses für den Kunden sichtbar wäre. Pauschale Aussagen über die Lebensdauer sind unseriös, da der tatsächliche Wert von vielen Faktoren abhängt und mit bisherigen Methoden allenfalls statistisch vorausgesagt werden kann. Die bekannten Testmethoden berücksichtigen auch keine Kratzer und Beschädigungen durch grobe Behandlung der Medien, wie sie im Alltag häufiger zu beobachten sind.

Das US-amerikanische National Institute for Standards and Technology (NIST) prüft in einem Forschungsprojekt die Langlebigkeit und Archivierbarkeit von CD und DVD¹⁵. Archive wie die Library of Congress sind daran interessiert, dass sich die Datenträger auch noch in zehn oder 20 Jahren problemlos lesen lassen. Andernfalls droht die heutige Zeit zu einem weißen Fleck der Geschichte zu werden, wenn digitalisierte Texte, Bilder, Filme und Musik auf den Silberscheiben zerstört sind. Der Zerfallsprozeß der Aufnahmeschicht, die bei einmal beschreibbaren Medien aus einem organischen Farbstoff (Dye) besteht, wird stark von der Temperatur, der Luftfeuchte und evtl. einfallendem Sonnenlicht bestimmt. Außerdem hat der für die Medien verwendete Materialmix einen sehr großen Einfluß auf die Lebensdauer.

In ersten Belastungstests setzten die NIST-Forscher verschiedene CD-R- und DVD-R-Typen mehrere hundert Stunden lang hohen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit aus. Außerdem bestrahlten sie diese mit Metallhalogenid-Lampen, deren Lichtspektrum dem der Sonne ähnelt. Der Farbstoff reagiert auf UV-Bestrahlung besonders empfindlich und verdunkelt sich mit der Zeit. Die wiederbeschreibbaren RW-Medien, deren Aufnahmeschicht aus einem anorganischen Phase-Change-Material besteht, verhalten sich gegenüber solchen Einflüssen weniger empfindlich. Allerdings können bei RW-Medien die gebrannten amorphen Markierungen mit der Zeit kristallisieren, wodurch die Lesbarkeit abnimmt.

Als wichtigsten Parameter für die Leseigenschaften sehen die Forscher den *Jitter* an. Dieser ist ein Zeitfehler, der durch Längenvariationen der *Pits* entsteht. Bei zu großen Werten steigen die Fehlerraten der CD und DVD deutlich an.

Im Belastungstest schnitten CD-R mit Phthalocaynin-Dye und einer Reflexionsschicht aus einer Gold-Silber-Legierung am besten ab. Medien mit Cyanin-Dye waren zwar lichtresistent, reagierten jedoch empfindlich auf hohe Temperaturen und Luftfechtigkeiten.

Besonders empfindlich erwiesen sich CD-R mit einem Azo-Dye. Zwar lassen die Belastungstests keine unmittelbaren Rückschlüsse auf die Haltbarkeit zu, dennoch überrascht das schlechte Abschneiden der Azo-Medien. Dieses steht im Widerspruch zu Aussagen des Medienherstellers Verbatim, der seine Azo-Discs mit einer besonders hohen UV-Beständigkeit und Haltbarkeit bewirbt.

Bei DVD-R sind nach Angaben der NIST-Forscher bisher zu wenige Informationen zu den Zusammensetzungen und den Dyes bekannt, als dass man hier zuverlässige Aussagen machen könnte. Zudem änderten sich derzeit die Dye-Mischungen häufig, da die Hersteller die Produktionsprozesse weiter optimieren.

Die NIST-Forscher gehen nicht auf die Rolle der Brenner ein. So hängen Jitter und Fehlerrate direkt davon ab, wie gut der Laser im Brenner auf den jeweiligen Rohling abgestimmt wurde. Wurden die Toleranzen für diese Werte bereits beim Brennen ausgenutzt, bietet ein schlecht gebrannter Rohling nur wenig Spielraum für weitere Verschlechterungen durch Temperatur-

¹⁵ Gieselmann, Hartmut: Gegen das Vergessen. US-Forscher prüfen Lebensdauer von CDs und DVDs. c't 2005, Heft 1, S. 44

oder Feuchtigkeitseinflüsse. Diese CD oder DVD sind deshalb sehr viel kürzer haltbar als optimal gebrannte Rohlinge.

Zur besseren Vorhersage der Lebensdauer der CD und DVD sind weitere umfangreiche Tests nötig, die auch Aussagen über die Archivierbarkeit zulassen. Dazu wurde eine Arbeitsgruppe mit der Industrie gegründet, die Anforderungen für CD und DVD definieren soll, damit sich Daten für eine gewisse Mindestanzahl von Jahren speichern lassen. Außerdem will das NIST einen relativ einfachen Test entwickeln, mit dem die Hersteller ihre Medien auf diese Anforderungen hin überprüfen können. Bisher sind solche Tests sehr aufwendig und beruhen auf der Messung einer großen Anzahl von Medien, die über mehrere Monate in Klimaschränken aufbewahrt werden. Dieser hohe Meßaufwand übersteigt die Möglichkeiten vieler Institute und Meßlabors.

7 Empfehlungen zum Brennen und Beschriften von CD- und DVD-Rohlingen

Die Suche nach den „richtigen“ Rohlingen ist nicht ganz einfach, wobei sich immer die Frage nach der optimalen Kombination mit dem Brenner stellt. Ein Problem bei Kauf von Rohlingen ist, dass die Anbieter ihre Datenträger weltweit von verschiedenen Herstellern beziehen und unter eigenen Handelsmarken vertreiben. Verschiedene Computerzeitschriften veröffentlichen regelmäßig Untersuchungen zur Brennqualität von Rohlingen¹⁶.

Brennfehler haben oft ihre Ursache in einer vom Brenner zu hoch gewählten Geschwindigkeit. Diese Einstellung erfolgt aufgrund der aus der Herstellerkennung des Rohlings abgerufenen Kenndaten. Untersuchungen einer Rundfunkanstalt ergaben, dass bei Tonträgern die Brennfehler ab einer 16-fachen Brenngeschwindigkeit stark anstiegen. Man sollte also manuell die Brenngeschwindigkeit auf maximal 8-fach begrenzen.

Die genannte Rundfunkanstalt verwendet grundsätzlich Rohlinge mit einer Reflexionsschicht aus Gold¹⁷, um Oxidationsprobleme auszuschließen. Es wurde berichtet, dass auch bei diesen hochwertigen Rohlingen durch die Massenfertigung bedingte Qualitätsprobleme auftreten können.

Für die Beschriftung der Rohlinge gilt:

- Keine normalen Klebe-Etiketten verwenden. Asymmetrisch aufgebrachte Etiketten erzeugen eine Unwucht.
- Es werden spezielle Etiketten für CD angeboten, welche die Oberfläche der Disk bedecken. Diese Aufkleber müssen sehr gut zentriert sein; dafür gibt es verschiedene Zentrierhilfen. Da auch geringste Exzentrizitäten eine Vergrößerung des Jitters bewirken, sollten gar keine Klebeetiketten verwendet werden. Außerdem tritt auch spezieller Etikettenkleber irgendwann aus der Klebefuge aus.
- Für DVD sind Aufklebe-Label grundsätzlich nicht zu empfehlen. Bei Temperaturänderungen wölbt sich die DVD wie bei einem Bimetall, da sich der Aufkleber und die Polycarbonat-Scheibe unterschiedlich stark ausdehnen. Im Gegensatz zu normalen CDs reichen bei einer DVD schon geringste Verbiegungen aus, dass der Player die Daten nicht mehr lesen kann. Dieser Effekt wird durch die Wärme im Inneren des DVD-Players noch verstärkt, so dass beklebte DVDs häufig erst nach einer gewissen Spieldauer ausfallen.

¹⁶ Gieselmann, Hartmut: Keine Frage des Preises. DVD-Rohlinge: Marken- kontra Supemarktware. c't 2005, Heft 14, S. 93.

¹⁷ z. B. MAM-gold (www.mam-e.com) oder EM-TEC, Lieferant Brenner-Foto (www.alles-foto.de)

- Für Laufruhe und Haltbarkeit ist es günstig, die Rohlinge direkt zu beschriften. Es sollten dafür keinesfalls Schreibgeräte mit harten Spitzen verwendet werden; es empfehlen sich spezielle lösungsmittelfreie Faserschreiber.
- Für professionell aussehende CDs und DVDs werden mit Tinten- oder Thermosublimationsdruckern bedruckbare Rohlinge angeboten. Die Rohlinge selbst stammen aus der normalen Produktion; ihre bedruckbare Oberfläche erhalten sie bei speziellen Dienstleistern.
- Eine neue Technologie für das Beschriften von CD- und DVD-Rohlingen nennt sich LightScribe. Dabei wird die Beschriftung mit einem Laser direkt auf das Speichermedium gebrannt. Dasselbe Laufwerk, das die Daten brennt, brennt auch die Beschriftung. Das LightScribe-fähige CD/DVD-Laufwerk enthält einen speziellen Laser, der ein Bild in die Beschichtung der Etikettenseite des LightScribe-Rohlings brennt.

8 Empfehlungen zur digitalen Langzeitarchivierung

8.1 CD-ROM und DVD

Personal Computer der Firma Apple (*Macintosh*) oder PC mit dem Betriebssystem *Windows* enthalten standardmäßig CD/DVD-Brenner und Festplatten, die wegen der großen Verbreitung und Preiswürdigkeit für die Archivierung vorwiegend verwendet werden. Professionelle Speichermedien wie *UDO*¹⁸ oder *Professional Disk for Data*¹⁹ werden wegen der geringen Verbreitung nicht berücksichtigt. Auch Magnetbänder, die 30 Jahre oder länger halten können, kommen in der Bilddatenspeicherung kaum vor.

Bei selbst gebrannten CD erhält man oft schon nach wenigen Jahren die Fehlermeldung "CD nicht lesbar!". Dabei warb man einst für die CD, sie sei unempfindlich und ewig haltbar. Wenn man Langzeitarchivierung betreiben möchte, muß man sich auch mit den Migrationsmöglichkeiten²⁰ auf neue, auf zukünftige Technologien auseinandersetzen. Es ist nicht zu erwarten, daß spätere Computerhardware und die Betriebssysteme noch Rücksicht auf heutige Datenträgerstandards nehmen (siehe die Entwicklung bei den Disketten).

Die folgenden Empfehlungen sind gekürzte Zitate²¹:

Normale im Laden gekaufte Audio-CD, die mechanisch gepreßt werden, haben eine weit höhere Haltbarkeit als die selbst gebrannten CD. Bei diesen kommt es zunächst einmal auf das Brennverfahren an, zum anderen auf das Material der CD. Billige CD vom Stapel („beim Aldi“ oder sonst wo) sollten nach 2 oder 2 ½ Jahren überspielt werden. Bei besseren Brennver-

¹⁸ Die Ultra Density Optical (UDO) wurde vom britischen Hersteller Plasmon entwickelt als Nachfolger der MOD und DVD-RAM. Technisch beruht die UDO auf der Phase-Change-Technologie.

¹⁹ Optisches Speicherformat ähnlich der Compact Disc (CD). Das Verfahren zur Datenspeicherung nutzt ebenfalls die Phase-Change-Technologie. Die PDD gibt es sowohl als WORM-Medium (Write Once Read Multiple times) wie auch als wiederbeschreibbares RW-Medium. Die PDD basiert auf dem potenziellen DVD Nachfolger Blu-ray Disc und konkurriert mit der HD-DVD.

²⁰ Unter Migration versteht man im Rahmen der Informationstechnik den Umstieg eines wesentlichen Teils der eingesetzten Software beziehungsweise den Transfer von Daten aus einer Umgebung in eine andere. Die beiden häufig eng miteinander zusammenhängenden Prozesse lassen sich in Softwaremigration und Datenmigration aufteilen.

²¹ Kutzbach, Carl-Josef: Experten sorgen sich um die Haltbarkeit digitaler Medien.
<http://www.dradio.de/dlf/sendungen/forschak/453943/>

fahren und bei besseren Materialien kann man maximal von fünf Jahren ausgehen. Auch hier wird eine Kopie nach drei Jahren empfohlen.

Billige Brenner und CDs sind also keine tollen Schnäppchen, wie man beim Blick auf den Preis meinen könnte. Im Gegenteil, bei diesen Geräten muß man die gesamte Datensammlung in kürzeren Abständen auf neue Datenträger umkopieren. Wenn man dabei die CDs auf DVD überspielt, bekommt man zwar mehr Platz im Regal, weil manche DVDs riesige Datenmengen in mehreren Lagen speichern, aber das regelmäßige Umkopieren bleibt.

Bei den DVD kommt es darauf an, wie viele Layer diese besitzen. Mehrfachlayer-DVD sind nicht so haltbar wie solche mit nur einem Layer. Hinsichtlich der Lebensdauer sollte man denselben Zeitrahmen ansetzen wie bei CD, auch wieder abhängig von der Qualität der Scheiben und des Brennverfahrens.

Soweit die zusammengefaßten Empfehlungen.

Pauschal sollten diese Aussage nicht übernommen werden, denn die Lebensdauer der Datenträger hängt (wie in der analogen Fotografie) sehr stark von den Lagerbedingungen ab. Die immer wieder zitierte (und selten verstandene) *Arrhenius-Gleichung* besagt anschaulich formuliert: Wird die Temperatur für eine chemische Reaktion um 10K (anschaulich: 10°C) erhöht, dann erhöht sich die Reaktionsgeschwindigkeit um das 2- bis 3-fache. Das bedeutet näherungsweise auf CD und DVD übertragen: Die zerstörerischen Einflüsse von Temperatur, Feuchte, Strahlung usw. verdoppeln bzw. verdreifachen sich, wenn die Temperatur des Datenträgers von 20 °C auf 30 °C erhöht wird. Bei einer Erhöhung von 20 °C auf 40 °C laufen die Vorgänge vier- bis neunmal so schnell ab. Man sollte also seine Scheiben kühl (aber nicht im Kühlschrank!), trocken und im Dunkeln aufbewahren.

Bei den Brennern sollten die besten Geräte (Testergebnisse!) gekauft werden, die angeboten werden. „Geiz ist geil“ ist hier also fehl am Platz.

8.2 Festplatten

Die Speicherung der Bilddaten auf normalen Festplatten löst die Probleme nicht, es sei denn, man verwendet RAID-Systeme²². Zwischen den verschiedenen Festplatten gibt es große Unterschiede. Normale PC-Platten sind im Prinzip so gebaut, dass man von einer Haltbarkeit von fünf Jahren ausgeht, bei einer Betriebsdauer von etwa 3-5 Stunden pro Tag. Die Haltbarkeit ist vor allem von den Lagern für die Plattenaufhängung abhängig. Billige PC-Platten drehen mit 4.500 Umdrehungen/Minute, etwas teurere, die etwas länger halten, mit 7.200 U/min. Profiplatten drehen mit 15.000 Umdrehungen je Minute, dabei besteht aber die Gefahr der Überhitzung.

8.3 USB-Stick

Wer auf mechanisch bewegte Teile verzichten möchte, denkt an Flash-Speicher wie in *MP3-Abspielgeräten* oder beim *USB-Stick*; diese können die Daten drei bis fünf Jahre speichern. Allerdings ist die Lebensdauer der USB-Sticks davon abhängig, wie oft man sie überschreibt. Es wird empfohlen, die USB-Sticks nicht mehr als 50 Mal zu überschreiben, weil sonst die Gefahr besteht, dass die Daten nicht mehr oder nur fehlerhaft auslesbar sind²¹.

²² Ein RAID-System dient zur Organisation mehrerer physikalischer Festplatten eines Computers zu einem besonders leistungsfähigen logischen Laufwerk. Die Festplatten werden gemeinsam betrieben und bilden einen Verbund, der leistungsfähiger ist als die einzelnen Festplatten. RAID Systeme (Level 5 oder 6) besitzen u. a. den Vorteil einer erhöhten Datensicherheit durch Redundanz (siehe auch: Wikipedia).

8.4 Strategien für eine digitale Langzeitarchivierung

Beim gesamten Archivierungsprozess müssen einige gewisse Grundsätze berücksichtigt werden:

- Redundanz auf der Ebene der Datenträger. Die Daten werden nicht nur einmal, sondern identisch auf mehreren Datenträgern gespeichert.
- Geographische Verteilung. Die redundanten Datenträger sollten an geografisch verschiedenen Orten aufbewahrt werden, um das Risiko eines Totalverlustes durch ein katastrophales Ereignis (Feuer, mangelnde Sorgfalt u.s.w.) zu eliminieren.
- Migration. Da eine regelmässige Migration der Daten unumgänglich ist, muß eine langfristige Migrationsstrategie festgelegt werden. Diese Strategie muß folgende Eigenschaften aufweisen:
 - Migrationszeitpunkt: Die Daten müssen früh genug migriert werden, bevor ein Datenverlust durch Alterung des Mediums oder durch Technologiewandel auftreten kann.
 - Zur Erhöhung der Redundanz in Bezug auf den Technologiewechsel sollte der Migrationsprozess von einer Generation von Geräten auf die nächste „rollend“ erfolgen. Eine neue Technologie muß eingeführt werden, bevor die alte Technologie obsolet geworden ist. In anderen Worten: die „aktive“ Generation von Speichermedien verteilt sich auf mindestens zwei Technologien, wobei eine davon „altbewährt“ sein sollte.

Die folgenden Empfehlungen erfordern einen zusätzlichen Aufwand, der nicht immer zur Verfügung steht.

- Prüfllesen. Erlaubt ein Aufzeichnungsgerät, die Anzahl der erfolgreichen Fehlerkorrekturen zu bestimmen, so erhält man damit ein Maß für die Qualität der Kombination von Medium und Lesegerät. Ein regelmäßiges Prüfllesen erlaubt festzustellen, ob die Anzahl der Fehler zugenommen hat, und ist somit ein guter Indikator, um schadhafte oder vorschnell alternde Medien frühzeitig zu erkennen.
- Medienchecks. Die Qualität von Datenträgern variiert von Hersteller zu Hersteller, und kann sich auch beim selben Hersteller mit der Zeit erheblich verändern. Deshalb sollte im Prinzip jede Charge von Medien stichprobenartig auf Qualität überprüft werden, um rechtzeitig herstellungsbedingte Qualitätsmängel (Materialfehler) zu erkennen. Im Falle von CD-R sind gute Ergebnisse (d.h. CD mit sehr wenig Fehlern) nur durch eine optimal aufeinander abgestimmte Kombination von CD-Brenner – Rohling – Schreibgeschwindigkeit erreichbar. Da mit normaler Aufzeichnungshardware kaum Aussagen über die Güte gemacht werden können, muß spezielle Prüfhardware eingesetzt werden, um die optimale Kombination herauszufinden. Dieser Test sollte für jede neue Charge von Medien wiederholt werden.

9 Digitale Langzeitarchivierung auf Mikrofilm²³

Für die Langzeitspeicherung analoger Kulturgüter in Archiven, Bibliotheken und Museen sind optoelektronische und magnetische Datenträger aufgrund der beschriebenen Eigenschaften zur Zeit noch wenig geeignet.

Derartig lange Zeiträume kann bisher nur der analoge Mikrofilm versprechen. Für die Erhaltungsspeicherung sind herkömmliche Filme wegen ihrer beschränkten Haltbarkeit ungeeignet. Der weltweit einzige, für eine farbige Sicherheitsverfilmung in Betracht kommende Filmtyp ist der *Ilfochrome Micrographic*®. Das Filmmaterial ist auch unter seinem früheren Namen *Cibachrome* bekannt. Dieser Farbmikrofilm ist durch seine extrem licht- und alterungsstabilen Azo-Farben nahezu ohne Konkurrenz.

Es gibt derzeit schon marktverfügbare Ansätze, um digitalisierte Bilder und Schriften als analoges Bild²⁴ auf farbigen Mikrofilm auszugeben. Dabei können nicht nur die Inhalte von zeitgeschichtlich wichtigen Dokumenten, sondern auch die Farbigkeit, die Struktur und der optische Zustand bis in kleinste Details und Nuancen langzeitarchiviert werden.

Zur Digitalisierung der Dokumente werden spezielle Großformat-Scanner eingesetzt. Eine Sonderform stellt der CRUSE-Scanner²⁵ dar. Dieser bietet die einzigartige Möglichkeit, strukturierte Oberflächen bei völlig gleichmäßiger Ausleuchtung der gesamten Vorlage „plastisch“ zu scannen, bei einer maximalen Vorlagengröße bis 180 cm x 240 cm. Mit diesen Daten wird der Mikrofilm belichtet.

Zur Filmbelichtung werden Mikrofilmplotter auf Laserbasis eingesetzt, weil nur ein RGB-Laser problemlos die erforderliche hohe Energie pixelgenau aufbringen kann; speziell die Rot-Emulsion stellt beim Ilfochrome-Film hohe Energieansprüche. Die Laserbelichter besitzen derzeit eine Auflösung von 80 Linien/mm (entsprechend 2032 dpi). Aus dem Film lassen sich die Originaldaten nahezu verlustfrei redigitalisieren.

Aus Tests, bei denen der Ilfochrome Micrographic-Film künstlich gealtert wurde, wurde eine Haltbarkeit von "nur" ca. 500 Jahren errechnet, und das nur, weil nach einer 2,5-jährigen Wärmebehandlung mit 75° Celsius der Träger brüchig wurde, die Farben waren auch nach dieser Strapaze noch einwandfrei²⁴.

Fazit: „Digital speichern, analog archivieren?!“

10 Quellen

Die in diesem Text enthaltenen Informationen wurden aus vielen Quellen zusammengestellt, insbesondere aus dem Internet (soweit möglich, mit Quellenangabe). Diese Seiten sind lediglich zur Veranschaulichung im Sinne einer populärwissenschaftlichen Darstellung entstanden. Es wird keinerlei Verantwortung für die Richtigkeit der Inhalte übernommen. Für die Bereitstellung der Information sei den Autoren gedankt.

²³ Roland Dreyer, nestor Newsletter 08/2006, <http://nestor.sub.uni-goettingen.de/newsletter>.

²⁴ www.savedpictures.com

²⁵ www.crusedigital.com