

PROBLEME BEI DER BILDDATENSPEICHERUNG AUF CD-ROM UND DVD

Wie lange leben meine

Wenn Sie Ihre Bilddaten auch noch im Jahr 2030 nutzen wollen, sollten Sie Ihre Daten sorgfältig hegen, pflegen und eher für das Fünf-Jahres-Archiv geeignet. Hans Brümmer analysiert für FineArtPrinter die Archiv-Tauglichkeit der Lebensdauer von 20 Jahren



Serie
LANGZEITARCHIVIERUNG
TEIL I

Alle Dokumente, die wir der Nachwelt überliefern, sind einem Alterungsprozess ausgesetzt. Bei der Langzeitarchivierung analoger fotografischer Bilder kann die unaufhaltsame Alterung durch sachgemäße Lagerung zumindest verlangsamt werden. Sinnvoll ist es, möglichst Originale für die Nachwelt aufzubewahren. Bei digital gespeicherten Bildern sind Original und Kopie identisch. Das heikle an den digitalen Daten ist, dass sie 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 Codes und Algorithmen einsetzen. Wir wissen noch nicht, wie man digitale Publikationen, künstlerische Werke, Bild- und Ton-dokumente usw. so archiviert, dass sie für alle Zukunft zugänglich bleiben. Nur wenn die Langzeitarchivierung digitaler Daten für Jahrhunderte lösbar ist, kann unser kulturelles Erbe für nachfolgende Generationen erhalten und die Verfügbarkeit der digitalen Ressourcen auf Dauer sichergestellt werden. Während altes Pergament und Papier

bei guter Lagerung viele Hunderte Jahre haltbar sind, erreichen wir bei den neuen Speichermedien allenfalls Jahrzehnte (siehe Tabelle S. 52). Im Vergleich zum Medium Papier haben gerade digitale Speichermedien wie Diskette und CD eine sehr begrenzte Haltbarkeit. Einerseits werden die Datenträger durch chemische oder physikalische Einwirkungen so stark verändert, dass sie nicht mehr speichern können oder nicht mehr lesbar sind. Andererseits scheitert die Lesbarkeit häufig auch daran, dass die Innovationszyklen die für die Lesbarkeit erforderlichen Programme oder Geräte schlichtweg innerhalb kürzester Zeit verdrängt haben. Wer könnte heute beispielsweise eine Anfang der 90er Jahre noch markfähige »5,25«-Diskette lesen, oder wer ist in der Lage am heimischen PC eine externe SCSI-Festplatte anzuschließen?

WARUM AUCH CD-ROM UND DVD KEINE LANGZEITSPEICHERUNG ERMÖGLICHEN

Optische Speichermedien haben sich in den letzten Jahren zu bevorzugten Datenträgern für große Datenmengen entwickelt. Wegen der

Bilddaten auf der CD?

spätestens nach fünf Jahren umkopieren. Die CD als Datenspeicher jedenfalls ist verschiedenen Datenträger. Glücklicherweise gibt es solche mit einer möglichen

günstigen Kosten sowohl der Datenträger als auch der Geräte werden bevorzugt Compact Disc (CD) (650–800 MB) sowie Digital Versatile Disc (DVD; versatile = vielseitig verwendbar; 4,7–17 GB) eingesetzt. Von den verschiedenen CD-Formaten kommen als Speicher für Bilddaten die in Tabelle 2 aufgeführten in Frage. Die nicht genannte Photo-CD ist eine standardisierte CD-ROM für die Archivierung von Fotografien; sie hatte bisher keine große Verbreitung. Die DVD ist ein Nachfolgemedium der herkömmlichen Compact Disc mit den gleichen Abmessungen und einer größeren Speicherkapazität. Dem Vorteil des geringen Preises der Datenträger stehen Zweifel an der Eignung als Langzeitspeicher gegenüber.

AUFBAU DES DATENTRÄGERS

Der Träger besteht aus einer Polycarbonatscheibe mit einem Durchmesser von 12 cm und einer Dicke von 1,2 mm. Auf dieser befindet sich eine spiralförmige Datenspur, die von innen nach außen verläuft. Bei den gepressten Scheiben aus der Serienproduktion wird die Information

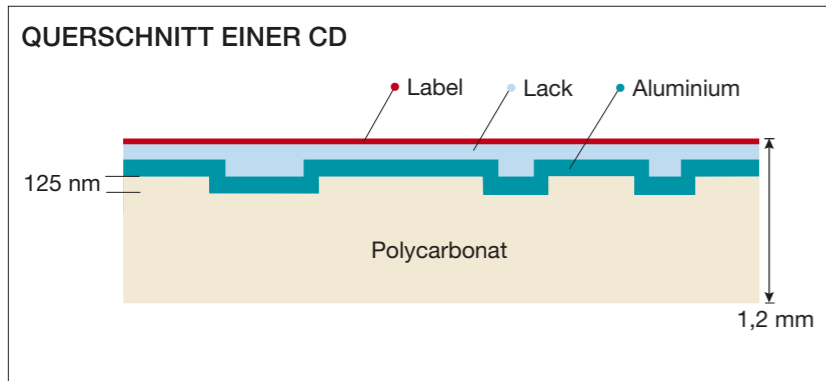
durch Vertiefungen (Pits) und ebenen Flächen (Lands) codiert. Die Pits und Lands werden mit einem dünnen Metallfilm bedampft. Die informationstragende Schicht befindet sich bei der CD direkt unter dem Label, während sie bei der DVD in der Mitte der Scheibe angeordnet ist. Die Information wird von einer Laserdiode durch die Trägerschicht hindurch abgetastet (siehe Abbildungen auf S. 50/51). 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 oder mechanische Toleranzen haben können.

BESCHREIBBARE CD-R

Die CD-R (R=recordable) besteht aus einer Polycarbonatscheibe, in deren Oberfläche sich eine mikroskopisch feine Rille (Groove) befindet. Diese dient zur Führung eines Lasers, der beim Schreiben (Brennen) durch Wärmeeinwirkung das Reflektionsvermögen einer organischen Farbschicht

Autor

Prof. Dr.-Ing. Hans Brümmer ist Vorsitzender der Sektion Wissenschaft und Technik der Deutschen Gesellschaft für Photographie (DGPh). Grundlage des Artikels ist ein Vortrag, den Brümmer anlässlich des DGPH-Symposiums in Köln unter dem Motto: »Photographie – wie geht die Reise weiter?« gehalten hat.
<http://home.vr-web.de/hans.bruegger>



Der Wechsel von »Pit« (Erhebung) auf »Land« (Vertiefung) oder »Land« auf »Pit« wird vom Laser als »1« ausgelesen. Der Wert »0« wird registriert, wenn »Land/Land« oder »Pit/Pit« vom Laser erkannt werden

(Dye) im Bereich der Pits verändert. Das Lesen der Information erfolgt mit geringerer Laserleistung, so dass die Farbstoffschicht nicht verändert wird. Die Farbstoffe verlieren unter dem Einfluss von Licht und Temperatur an Reflektionskontrast, bis schließlich keine Daten mehr lesbar sind. Die CD-R-Hersteller versuchen dem durch besondere Materialkombinationen entgegenzuwirken. Hier folgen einige Beispiele:

- Phtalocyanin/Gold schimmert golden. (Haltbarkeit lt. Hersteller über 100 Jahre). Bei ihnen ist der Reflektionskontrast am höchsten.
- Cyanin/Silber schimmert grün-blau.
- Cyanin/Gold schimmert grünlich. Die Haltbarkeit wird mit ca. 10-15 Jahren angegeben. Sie liefern den schwächsten Kontrast und führen bei empfindlichen CD-ROM-Laufwerken oft zu Lesefehlern.
- Azo/Silber schimmert dunkelblau. Die Haltbarkeit dieser CD-Rs wird von den Herstellern ebenfalls mit über 100 Jahren angegeben.

Die Herstellerangaben zur Lebensdauer konnten in Tests nicht bestätigt werden. Bei billigen Rohlingen ist der Farbstoff oft nicht gleichmäßig aufgetragen, oder es treten Fehler in der Reflektionsschicht auf. Diese Rohlinge sind oft schon nach ein bis zwei Jahren nicht mehr 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.

WIEDER BESCHREIBBARE CD-RW

Diese können bis zu 1000mal neu beschrieben werden. Die Technik basiert auf der Phase-Change-Technologie. Das Prinzip beruht darauf, dass ein relativ energiereicher Laserstrahl amorphe Zonen auf der Oberfläche verursacht, die das Licht des lesenden Lasers schlechter reflektieren. Zum Löschen wird eine geringere Laserleistung eingesetzt, unter deren Einfluss das Oberflächenmaterial wieder kristallin wird und dadurch besser reflektiert. Der mit dieser Technik erreichbare Reflektionsgrad ist wesentlich geringer als bei den CD-R, was größere Anforderungen an Auswerteelektronik stellt.

FEHLERERKENNUNG UND -KORREKTUR

Bei der digitalen Aufzeichnung sind Fehler unvermeidbar, z.B. durch Materialprobleme. Diese Fehler können durch Korrekturverfahren in begrenztem Umfang beseitigt werden. Die Darstellung der Bits auf der Informationsschicht ist so gestaltet, dass ein Wechsel von Pit nach Land oder umgekehrt einer logischen »1« entspricht, ansonsten wird eine »0« gelesen. Bei den CD und DVD erfolgt die Fehlererkennung und -korrektur unter Verwendung des Cross Interleave Reed-Solomon Code. Dabei werden zwei Prinzipien verwendet. Ein Prinzip ist die Redundanz; dem Datenstrom werden dafür zusätzliche Bits hinzugefügt. Das andere Prinzip ist die Verschachtelung. Die Daten werden nicht in ihrer natürlichen Reihenfolge aufgezeichnet, wie z.B. auf Magnetband. Daten, die einem Block angehören, werden über einen ziemlich großen Bereich der Scheibe derart verteilt, dass sie sich mit Daten von anderen Datenblöcken »verschachteln«. Da-

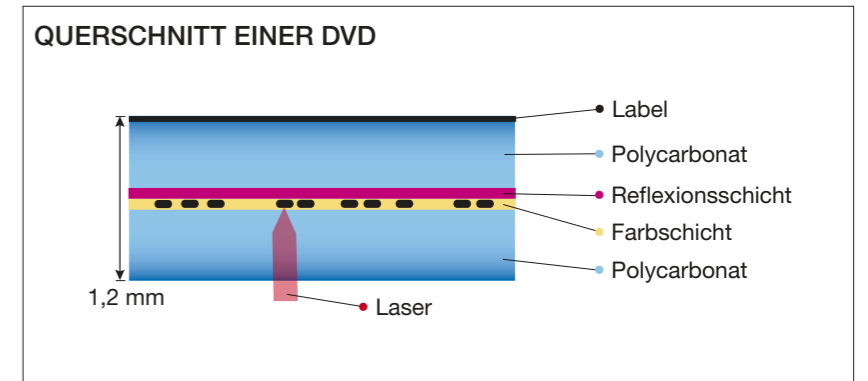
durch können Fehler (z.B. Kratzer) auf der Scheibe keine zusammenhängenden Datenblöcke zerstören, sondern nur Teile vieler verschiedener Blöcke. Diese teilweise beschädigten Blöcke lassen sich dann mit Hilfe der redundanten Information rekonstruieren. Die Fehlerkorrektur hat jedoch Grenzen, die bei den 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.

DVD-FORMATE

Im Jahre 1995 wurde das *DVD-Forum* gegründet. Diese Vereinigung hatte das Ziel, Standards für die DVD abzustimmen. Die *DVD+RW Alliance* ist eine Industriegruppe, die Alternativformate entwickelt und vermarktet (Tabelle rechts). Es gelang nicht, sich auf einen gemeinsamen Standard zu einigen. Die größere Speicherkapazität der DVD resultiert aus verringerten Abmessungen. Zum einen liegen die Datenspuren enger nebeneinander, und die Pits sind 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 zweilagig 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 DVDs:

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

Die DVD±RW sind auf maximale Kompatibilität mit der DVD-Video und der DVD-ROM ausgelegt, während die DVD-RAM auf Datensicherheit optimiert ist. Obwohl die DVD-RAM als Datenspeicher wesentlich besser geeignet ist als die DVD±RW, bleibt ihr nur ein Nischendasein, da sie von den normalen DVD-Playern nicht abgespielt werden kann.



UNTERSUCHUNGEN ZUR LEBENSDAUER

Die Qualität von Datenträgern ist sehr unterschiedlich. Pauschale Aussagen über die Lebensdauer sind unseriös, da der tatsächliche Wert von vielen Faktoren abhängt. Das amerikanische National Institute for Standards and Technology (NIST) prüfte in einem Forschungsprojekt die Langlebigkeit von CD und DVD¹. Der Zerfallsprozess der Aufnahmeschicht wird stark von der Temperatur, der Luftfeuchte und einfallendem Sonnenlicht bestimmt. Außerdem hat der verwendete Materialmix einen sehr großen Einfluss auf die Lebensdauer. Die Forscher setzten verschiedene CD-R- und DVD-R-Typen mehrere hundert Stunden lang hohen Temperaturen und

Eingebettet in Lagen aus Polycarbonat liegen Farbschicht und Reflexionsschicht einer DVD. Hohe Temperaturen und Licht verändern den Reflexionsgrad. Letztlich können die vom Laser eingebrannten Pits/Lands unleserlich werden

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

CD-FORMATE FÜR DIE BILDDATENSPEICHERUNG

CD-ROM	Compact Disc Read Only Memory ist ein Nurlesespeicher für Daten. Zum Speichern der Daten werden Vertiefungen in einen Polycarbonat-Träger gepresst und mit einer reflektierenden Aluminium-Schicht hinterlegt.
CD-R	Compact Disc Recordable. 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	Compact Disc Rewriteable. CD-RW sind wieder beschreibbare CD-Medien, die bis zu 1000mal gelöscht und wieder neu beschrieben werden können.

DVD-TYPEN FÜR DIE DATENSPEICHERUNG

-	Am »-« sind alle DVD-Formate erkennbar, welche vom <i>DVD-Forum</i> stammen.
+	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	Einmal beschreibbare DVD wie die CD-R. Das Aufzeichnungsverfahren der DVD±R entspricht prinzipiell dem der CD-R.
DVD±RW	Wieder beschreibbare DVD wie die CD-RW. Die Kapazität entspricht der einer Single-Layer-DVD. Die Medien sind ca. 1.000mal wieder beschreibbar.
DVD-RAM	Random Access Memory. Freier, direkter Schreib-/Lesezugriff auf alle Daten. Wieder beschreibbare DVD, ähnlich wie DVD-RW und DVD+RW. Die Medien lassen sich bis zu 100.000mal wieder beschreiben, sie erfordern spezielle DVD-Laufwerke.

LEBENSDAUER EINIGER DATENTRÄGER

Medium	Erwartete Lebensdauer
Steintafeln und Steinmalereien (Keilschrift)	mehrere tausend Jahre
Bücher und Handschriften aus säurefreiem Papier und mit säurefreier und nicht eisenhaltiger Tinte	mehrere hundert Jahre
Magnetbänder	bis zu 30 Jahre
Disketten	5 bis 10 Jahre
Mikrofilm	Lt. Hersteller rund 500 Jahre (teilweise weniger als 50 Jahre)
Optische Speichermedien CD-ROM / DVD	Lt. Hersteller 25 bis 100 Jahre (zum Teil weniger als 5 Jahre!)

hoher Luftfeuchtigkeit aus. Außerdem bestrahlen sie diese mit Metallhalogenid-Lampen, deren Lichtspektrum dem der Sonne ähnelt. Der Farbstoff verdunkelt sich durch UV-Bestrahlung mit der Zeit. Die wieder beschreibbaren RW-Medien, deren Aufnahmeschicht aus einem anorganischen 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 auch abnimmt. Als wichtigsten Parameter für die Leseigenschaften sehen die Forscher den Jitter an. Dieses 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 Phthalocyanin-Farbstoff und einer Reflexionsschicht aus einer Gold-Legierung am besten ab. Medien mit Cyanin waren zwar lichtresistent, reagierten jedoch empfindlich auf hohe Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Besonders empfindlich erwiesen sich CD-R mit einem Azo-Farbstoff. Dieses steht im Widerspruch zu Aussagen eines Herstellers, der seine Azo-Discs mit einer besonders hohen UV-Beständigkeit bewirbt. Die Forscher gehen nicht auf die Rolle der Brenner ein. Jitter und Fehlerrate hängen direkt davon ab, wie gut der Laser im Brenner auf den jeweiligen Rohling abgestimmt ist. Werden die Toleranzen für diese

Werte bereits beim Brennen ausgenutzt, bietet ein schlecht gebrannter Rohling nur wenig Spielraum für weitere Verschlechterungen durch Temperatur- oder Feuchtigkeitseinflüsse.

SO BRENNEN UND BESCHRIFTEN SIE IHRE CDs SACHGEMÄSS

Die Brennqualität hängt immer von der optimalen Kombination von Rohling und Brenner ab. Computerzeitschriften veröffentlichen regelmäßig Untersuchungen zu diesem Thema². Brennfehler haben oft ihre Ursache in einer zu hoch gewählten Geschwindigkeit. Untersuchungen ergaben, dass die Brennfehler ab einer 16-fachen Brenngeschwindigkeit stark anstiegen. Man sollte also die Geschwindigkeit manuell auf maximal 8-fach einstellen. Für hohe Ansprüche sollten Rohlinge mit einer Reflexionsschicht aus Gold³ verwendet werden, um Oxidationsprobleme auszuschließen.

Für die Beschriftung der Rohlinge gilt:

→ Aufkleber müssen sehr gut zentriert sein. Exzentrizitäten bewirken eine Vergrößerung des Jitters, daher sollten gar keine Klebeetiketten verwendet werden. Außerdem tritt jeder Kleber irgendwann aus der Fuge aus.

→ Für DVD sind Aufklebe-Label gar nicht zu empfehlen. Bei Erwärmung wölbt sich die DVD, da sich Aufkleber und Scheibe unterschiedlich stark ausdehnen.

→ Für Laufruhe und Haltbarkeit ist es günstig, die Rohlinge direkt zu beschriften. Es dürfen keine Schreibgeräte mit harten Spitzen verwendet werden, sondern spezielle lösungsmittelfreie Faserschreiber.

→ Für professionell aussehende CDs und DVDs werden mit Tinten- oder Thermosublimationsdruckern bedruckbare Rohlinge angeboten.

→ Eine neue Technologie für das Beschriften von CD- und DVD-Rohlingen nennt sich Light-Scribe. Dabei wird die Beschriftung mit einem Laser direkt auf die Rückseite gebrannt.

SO ORGANISIEREN SIE IHR ARCHIV

Wenn man Langzeitarchivierung betreiben möchte, muss man sich mit den Migrationsmöglichkeiten⁴ auf neue Technologien auseinandersetzen. Wegen der Preiswürdigkeit werden die standardmäßigen CD/DVD-Brenner und Festplatten der Computer überwiegend für die Archivierung verwendet. Professionelle Speichermedien wie magneto-optische Laufwerke oder Magnetbänder kommen in der Bilddatenspeicherung kaum vor. Die Speicherung auf normalen Festplatten löst die Probleme nicht, es sei denn, man verwendet spezielle RAID-Systeme (logischer Verbund mehrerer Festplatten). Normale PC-Platten haben eine Haltbarkeit von etwa fünf Jahren, bei einer Betriebsdauer von etwa drei bis fünf Stunden pro Tag. Die Haltbarkeit ist vor allem von den Lagern für die Plattenaufhängung abhängig.

■ Billige CD/DVD sollten nach zwei oder drei Jahren überspielt werden. Bei besseren Brennverfahren und Materialien kann man von fünf Jahren ausgehen. Von der Kombination Phthalocyanin/Gold erwartet man längere Lebensdauern.

■ Mehrfachlayer-DVD sind nicht so haltbar wie solche mit nur einem Layer. Hinsichtlich der Lebensdauer sollte man denselben Zeitrahmen ansetzen wie bei der CD.

■ Die Lebensdauer hängt (wie in der analogen Fotografie) sehr stark von den Lagerbedingungen ab. Wird die Temperatur für eine chemische Reaktion um 10°C erhöht, erhöht sich die Reaktionsgeschwindigkeit um das zwei- bis dreifache. Das bedeutet 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, trocken und im Dunkeln aufbewahren. Eine Lagerung im Kühlschrank ist nicht zu empfehlen, da beim Herausnehmen durch Unterschreitung des Taupunktes ein Wasserniederschlag auftreten kann.



■ So sieht es aus, wenn die Datenschicht vom Rohling abgelöst wird. Der transparente Polycarbonat-Rohling wird von unten vom Laserstrahl durchleuchtet, der in der Datenschicht die Pits und Lands unterscheidet/liest. Foto: Michael Gasperl

Bei der Archivierung sollten folgende Grundsätze berücksichtigt werden:

→ Die Daten werden nicht nur einmal, sondern identisch auf mehreren Datenträgern gespeichert (evtl. unterschiedliche Fabrikate verwenden).

→ Die Datenträger werden an verschiedenen Orten aufbewahrt, um das Risiko eines Totalverlustes durch ein katastrophales Ereignis zu eliminieren.

→ Die Daten müssen früh genug migriert werden, bevor ein Datenverlust durch Alterung des Mediums oder durch Technologiewandel auftritt.

Teil 2 der Beitragsserie »Langzeitarchivierung« in der Ausgabe 2/07 vom 29. März 2007 beschäftigt sich mit der Speicherung digitaler Bilddaten auf langzeitstabilem Filmmaterial, dessen Azo-Farbstoffe vermutlich jahrhundertlang erhalten bleiben. Dazu kommt der Ilford Micrographic Film zum Einsatz. Geschrieben werden die Daten mit speziellen hochauflösenden RGB-Belichtern.

⁴ Migration: Umstieg der eingesetzten Software beziehungsweise Transfer von Daten aus einer Umgebung in eine andere.

² Gieselmann, Hartmut: Keine Frage des Preises. DVD-Rohlinge: Markenkontra Supermarktware. c't 2005, Heft 14, S. 93.

³ z.B. MAM-gold (www.mam-e.com) oder EM-TEC, Lieferant Brenner-Foto (www.alles-foto.de)