

## DIGITAL SPEICHERN - FILMBASIERT ARCHIVIEREN?

### LANGZEITARCHIVIERUNG VON BILDDATEN

Zu den schlimmsten Erfahrungen eines Fotografen gehört der Verlust von Bildmaterial. Im digitalen Zeitalter geht schon mal die eine oder andere Datei im digitalen Nirvana verloren. Das ist im Einzelfall ärgerlich aber der Supergau Datenverlust droht auch dem gesamten Bildbestand, denn digitale Speichermedien sind zur Langzeitarchivierung wenig geeignet. Welche Folgen das für den Fotografen und seine Bilder hat, skizziert Professor Dr. Hans Brümmer, Vorsitzender der Sektion Wissenschaft und Technik der Deutschen Gesellschaft für Photographie (DGPh).

**D**ie Vorteile der digitalen Arbeitsweise sind inzwischen unbestritten und die Technik hat einen sehr hohen Stand erreicht. Ein wichtiges Problem ist dabei bisher weitgehend ungelöst: Die Langzeitspeicherung der digitalen Bilddaten. Zunächst zur Terminologie: In der Sprache der Informationsspezialisten und der Archivare umfasst der Begriff „Archivierung“ völlig an-

dere Dimensionen. Die IT-Welt geht dabei von einem Zeitraum von 10 Jahren, bestenfalls von wenigen Jahrzehnten aus. Archivare haben bei ihrer Tätigkeit die Ewigkeit im Blick.

Für digitale Daten gilt: Wer seine Daten nicht regelmäßig auf der nächsten technologischen Ebene sichert (Daten-Migration), dem können wichtige Bilder verloren gehen. Gemeint ist damit das Aussterben älterer

Datenträger wie Disketten oder ZIP-Laufwerke. Wer seinen Datenbestand auf solche Medien gesichert hat, bekommt spätestens dann, wenn das entsprechende Laufwerk defekt ist erhebliche Schwierigkeiten, da es derzeit weder Neugeräte noch technischen Support gibt. Also besser auf CD/DVD sichern, doch auch dort steht mit Blu-ray schon die nächste Geräte- und Datenträgergeneration in den Startlöchern. Kurzum: Daten-

Tabelle 1: Technische Daten verschiedener Filme

Film	Material	Empfindlichkeit	Auflösung bei Testobjekt- kontrast 1000 : 1	Auflösung bei Testobjekt- kontrast 1,6 : 1	Körnigkeit (RMS)
<b>DIAFILME</b>					
<b>Ilford Micrographic Typ P</b>	Träger: Polyester CIBACHROME-Chemie	ISO 0,4 - 0,8	325 Lp/mm	k. A.	9
<b>Kodachrome 64</b>	Träger: Triacetat	ISO 64	100 Lp/mm	63 Lp/mm	10
<b>Kodak Aerochrome III MS Film 2427</b>	ESTAR-Träger mit durchsichtiger Gel-Unterlage	ISO 32	100 Lp/mm	80 Lp/mm	13
<b>Fuji Velvia 50</b>	Träger: Triacetat	ISO 50	160 Lp/mm	80 Lp/mm	9
<b>NEGATIVFILME</b>					
<b>Agfa Aviphot Color X100 PE1</b>	Träger: Polyester ohne Maskierung	ISO 100	150 Lp/mm	80 Lp/mm	6
<b>Kodak Aero-Color III 2444</b>	ESTAR-Träger ohne Maskierung	ISO 125	125 Lp/mm	80 Lp/mm	10
<b>Rollei Digibase CN200 Pro</b>	Träger: Polyester ohne Maskierung	ISO 200	130 Lp/mm	55 Lp/mm	7

Migration bedeutet: kopieren, kopieren, ... Dabei wird nicht das Medium erhalten, sondern die Daten. Beim Kopieren darf der richtige Zeitpunkt nicht verpasst werden, da sonst die Daten verloren sind - auch digitale Speichermedien haben ein Verfallsdatum. Bei handelsüblichen DVDs liegt dieses sogar nur etwa bei zehn Jahren.

### LANGZEITSTABILER FILM ALS ALTERNATIVE

Man kann digitale Daten auch auf langzeitstabilem Film sichern. Film ist ein Träger mit hoher Datendichte, der sich für die Speicherung von Dokumenten und Bildern gleichermaßen eignet. Seit 1961 wird z.B. die Mikroverfilmung von Archivalien (Unikaten) durchgeführt. Dieses ist eine der Maßnahmen zum Schutz von Kulturgut bei bewaffneten Konflikten gemäß der Haager Konvention. Die Sicherungsfilme werden im Barbarastollen in Oberried bei Freiburg im Breisgau eingelagert.

Die Speicherung kann nicht nur in analoger Form, sondern auch als Punktmuster (zweidimensionaler digitaler Barcode) erfolgen. Dabei lassen sich auch Zusatzinformationen (Metadaten) speichern [1]. Dieses Verfahren ist bei entsprechender Lebensdauer der Filme migrationsfrei.

Bei der Belichtung digitaler Daten auf Film kommen hoch auflösende digitale Filmrecorder oder - für besonders hohe Ansprüche - Laserbelichter zum Einsatz. Die Bilder lassen sich später bei Bedarf mit Scannern redigitalisieren.

### FILME FÜR DIE LANGZEITARCHIVIERUNG

Aus heutiger Sicht ist besonders der Ilford Micrographic-Film (früher als Cibachrome bekannt) für eine Langzeitarchivierung geeignet. Wie der beschleunigte Alterungstest in Bild 1 zeigt, besitzt dieser Film mit Polyester-Träger eine extrem gute Langzeitstabilität, im Vergleich zu Kodachrome und Ektachrome. Die Tests lassen eine Archivfähigkeit von mehr als 500 Jahren erwarten. Die Triacetat-Träger der anderen Filme wurden in diesem Test innerhalb von drei bis vier Jahren beschädigt. Der Ilford Micrographic-Film ist ein Direktpositiv-Film, der auf dem Silberfarbleichverfahren basiert. Die Diazo-Farbstoffe werden bereits bei der Herstellung in die Emulsion eingefügt. Es werden zwei Varianten mit unterschied-

lichem Kontrast angeboten. Die geringe Empfindlichkeit von ca. 0,5 ASA erfordert allerdings starke Lichtquellen, wie sie Laserbelichter besitzen.

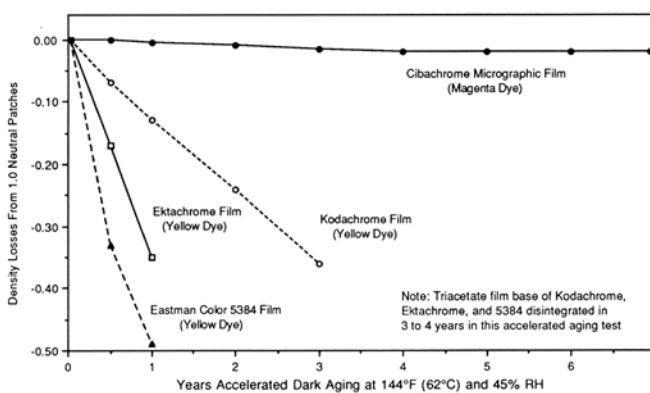


Bild 1: Dichteverlust verschiedener Filme bei beschleunigter Alterung (aus Henry Wilhelm: The Permanence and Care of Color Photographs [2])

In Tabelle 1 sind einige technische Daten verschiedener Dia- und Negativfilme (unmaskiert) zusammengestellt. Unter Auflösungsvermögen versteht man die Fähigkeit eines Films, nebeneinander liegende Linien von ausreichendem Kontrast getrennt wiederzugeben. Das praktisch erreichbare Auflösungsvermögen hängt auch vom Kameraobjektiv sowie von einer korrekten Entwicklung des Films ab. Die für einen Testobjekt-contrast von 1000:1 angegebenen Zahlenwerte werden in der Praxis kaum erreicht. Für die bildmäßige Fotografie ist der niedrigere Kontrast (1,6:1) praxisnäher. Diafilme zeigen bei gleicher Empfindlichkeit ein feineres Korn und eine bessere Schärfe als Farbnegativfilme, wenn beide auf einer Papierkopie verglichen werden. Es ist zu beachten, dass Materialien, die gleiche RMS-Werte aufweisen, nicht auch denselben visuellen Eindruck der Körnigkeit erwecken müssen.

### LEBENSDAUER VON FILMEN

Zu diesem Thema gibt es umfangreiche Untersuchungen, zum Beispiel beim Rochester Institute of Technology. Eine wesentliche Rolle spielt dabei der Filmträger, welcher heute noch überwiegend aus Cellulose-Acetat besteht. Bei der Zerstörung unterscheidet man biologische, chemische und mechanische Zerfallsprozesse. Zur Beschreibung der Erhaltungsgüte einer Lagerungsumgebung für organische Materialien verwendet das

Rochester Institut den Preservation Index, dieser benutzt Jahre als Einheiten. PI-Werte geben Aufschluss über die kombinierte Wirkung von Temperatur und relativer Luftfeuchte auf die Zerfallsrate organischer Materialien in Sammlungen. PI-Werte charakterisieren die Lagerungsbedingungen, nicht die Sammlung.

Der PI einer Archivbedingung spiegelt wieder, wie lange es für ein typisches Objekt dauern würde, bis sich deutliche Zerschercheinungen zeigen. Dieses bedeutet eine merkliche Verfärbung, Versprödung oder andere Veränderungen, die einen ernsthaften Funktionsverlust oder Veränderung des Aussehens bewirken. Es bedeutet nicht „zu Staub zerfallen“.

Man nehme einmal an, dass ein Filmträger 50 Jahre lang erhalten werden kann, wenn er bei einer Temperatur von 20° C und 45% relativer Luftfeuchtigkeit (LF) gelagert wird (Tabelle 2). Die Lagerfähigkeit dieses Materials kann bei 0° C und 30% rel. LF auf 1.200 Jahre gesteigert werden, während sie bei 40° C und 45% rel. LF auf nur 5 Jahre sinkt. Andere Einflüsse wie aggressive Gase werden dabei nicht berücksichtigt. Diese Betrachtungen lassen sich näherungsweise auch auf die Farbstoffschichten der Filme übertragen. Die Filme sollten im Dunkeln gelagert werden, da die Veränderung der Farbstoffe dann sehr viel langsamer als bei Licht erfolgt (dark fading). Wie weit die Werte der Tabelle 2 zu verallgemeinern sind, kann hier nicht beurteilt werden. Folgende Schlussfolgerung ist aber zulässig: Wenn richtig verarbeitete Filme kühl, trocken und im Dunkeln gelagert und möglichst nicht wieder angeschaut werden, sind auch bei „normalen“ Materialien Lebensdauern zu erwarten, die von digitalen Trägern heute nicht annähernd erreicht werden!

Lagertemperatur	30% rel. LF	45% rel. LF
0° C	1.200 Jahre	730 Jahre
5° C	570 Jahre	360 Jahre
20° C	75 Jahre	50 Jahre
30° C	22 Jahre	15 Jahre
40° C	7 Jahre	5 Jahre

Tabelle 2: Preservation-Index für organische Materialien (Quelle: Rochester Institute of Technology [3])

### FILMBELICHTER - FILMRECORDER

Neben dem eigentlichen Film spielt auch der Filmbelichter oder -recorder eine wichtige Rolle bei der Qualitätssicherung des Archiv-

	Dateigröße ca. (RGB-TIFF unkomprimiert)	Auflösung in dpi gerundete Werte
<b>Kleinbild 24 x 36mm, Seitenverhältnis 1:1,5</b>		
Auflösung 4K: 4.096 x 2.732 Pixel	33 MB	2.900
Auflösung 8K: 8.192 x 5.464 Pixel	132 MB	5.800
<b>Planfilm 4x5inch, Seitenverhältnis 1:1,33</b>		
Auflösung 4K: 4.096 x 3.072 Pixel	37 MB	1.000
Auflösung 8K: 8.192 x 6.144 Pixel	148 MB	2.000
Auflösung 16K: 16.384 x 12.288 Pixel	590 MB	4.000
<b>Laserbelichter des FHG-Instituts:</b>		
Film 32 x 45 mm 10.666 x 15.000 Bildpunkte	480 MB	8.500
<b>Laserbelichter Eternity 105:</b>		
Film 105 x 148 mm 29.860 x 41.800 Bildpunkte	3.600 MB	7.500

Tabelle 3: Beispiele für die Auflösung von Filmbelichtern

materials. Filmrecorder bestehen im Wesentlichen aus einer Belichtungseinheit mit einer Kathodenstrahlröhre (CRT = cathode ray tube), einem LCD-TFT-Panel (LCD = liquid crystal display, TFT = thin film transistor) oder einer Lasereinheit. Der vom Computer kommende Bilddatenstrom wird über die Belichtungseinheit auf einen Film belichtet. Je nach Anforderung des Anwenders stehen Systeme mit unterschiedlichen Auflösungen und Kapazitäten zur Auswahl. Die Auflösung von CRT- und LCD-TFT-Filmrecordern wird häufig in der in der Informatik üblichen Einheit „K“ angegeben, wobei 1 K = 2<sup>10</sup> = 1024 entspricht. Die in Tabelle 3 genannten Dateigrößen entsprechen den Daten, welche dem Belichter zugeführt werden. Beispielsweise benötigt eine 4K-Belichtung auf einem KB-Film im unkomprimierten TIFF-Format einen Datensatz von etwa 33 MB. Dieses entspricht einer Digitalkamera mit etwa zehn Megapixeln oder einem KB-Scan mit der Auflösung 2.900 dpi. Ob die Pixel auf dem Film „einzeln“ gespeichert werden können, hängt von der Auflösung der Bildquelle, einer möglichen Überstrahlung der benachbarten Bildpunkte, der Qualität der Optik und den Eigenschaften des Films ab.

tografieren“ des Bildschirms in drei Teilbelichtungen. Nachteile der CRT-Filmrecorder sind die begrenzte Auflösung, Probleme mit Überstrahlung und zu geringe Leuchtdichte für niedrige Filmempfindlichkeiten. Durch die Überstrahlung ist die Auflösung des belichteten Bildes auf dem Film etwas geringer als die des Datensatzes.

**FILMRECORDER AUF LCD-BASIS**

Die TFT-LC-Displays bestehen im Prinzip aus einem Flachbildschirm, wie sie heute als Computerbildschirm oder Fernseher in fast jedem Haushalt stehen [4]. Es sind transparente, hintergrundbeleuchtete Flüssigkristall-Displays, auf deren dünner Foliensoberfläche leuchtende Bildpunkte (Pixel) geschaltet werden können. Die Technik bietet ein höheres Kontrastverhältnis als CRT-Belichter. Dabei durchläuft normalerweise das Licht für jeden Bildpunkt eine Farbzelle, die aus drei getrennt ansteuerbaren Subpixeln mit nebeneinander liegenden Farbfiltern (Rot, Grün, Blau) besteht. Bei üblichen Flachbildschirmen tritt ein Farbübersprechen auf. Daher werden heute LCD-Panels gewählt, die keine Farbfilter auf der LCD-Oberfläche enthalten. Das Einzelbild wird als R-, G- und B-Farbauszug auf dem Display dargestellt. Dabei wird - ähnlich wie bei den CRT-Belichtern - über ein spezielles R-, G- und B-Farbfilterrad nacheinander belichtet. Diese Belichter werden zurzeit nur für das Format des Kinofilms gebaut.

**LASER-BELICHTER**

Bei diesem Verfahren wird das Bild in seine Farbkanäle zerlegt, auf je einen roten, grünen und blauen Laserstrahl übertragen und dann das zu einem Gesamtstrahl zusammengefasste Laserlicht auf den Film gerichtet. Seit die Gaslaser durch Festkörperlaser ersetzt wurden hat sich die Technik stark vereinfacht und die Anforderungen an die Wartung sind gesunken. Die Preise dieser Systeme liegen zurzeit noch in der Größenordnung von mehreren hunderttausend Euro.

**DAS PROBLEM DER REDIGITALISIERUNG**

Scanner tasten Vorlagen mit lichtempfindlichen Sensoren ab und wandeln die daraus gewonnenen Signale in digitale Daten um. Dabei wird eine Matrix von Pixeln erzeugt

und deren Helligkeits- bzw. Farbeinformationen (R, G, B) an den Computer gesandt. Als Scanauflösung wird die Anzahl von Bildelementen pro Längeneinheit (dpi = dots per inch) bezeichnet, dabei ist nur die optische Auflösung interessant. Die für eine gegebene Vorlage erforderliche Scanauflösung ergibt sich aus dem von Nyquist und Shannon formulierten Abtasttheorem. Anschaulich formuliert bedeutet dieses, dass die Abtastfrequenz mindestens doppelt so hoch sein muss, wie der höchste im Signal vorkommende Frequenzanteil. Ein beispielsweise mit 2.900 dpi belichteter Film muss mit mindestens 5.800 dpi gescannt werden. Die große Anzahl der gespeicherten Bildpunkte bei den Laserbelichtern (Tabelle 3) resultiert aus den Forderungen der Mu-

**MIT DEM VERLUST VON DIGITALEN DATEN WIRD ES SICH WOHL ÄHNLICH VERHALTEN WIE MIT DER KLIMADISKUSION. WIR AHNEN ODER WISSEN ALLE, DASS DA ETWAS AUF UNS ZUKOMMT, ABER KEINER MAG ANFANGEN ETWAS DAGEGEN ZU TUN, BIS ES DANN NICHT MEHR ZU VERSTECKEN IST.**

DR. RITA HOFMANN, FORSCHUNGSLEITERIN DER ILFORD IMAGING, SCHWEIZ

seen und Archive. Dort werden z.B. Vorlagen bis zur Größe 120 x 180cm mit 300dpi gescannt [5], wobei Dateien mit 14.000 x 26.600 Pixeln entstehen. Belichtet man diese mit Laserbelichtern auf Kleinformatigen Film, so beträgt die Pixeldichte dort 7.500 - 8.500 dpi. Bei einer späteren Redigitalisierung ist wegen des Abtasttheorems mit einer Auflösung von mindestens 15.000 - 17.000 dpi zu scannen. Dieser Wert wird zurzeit von keinem Scanner auch nur annähernd er-

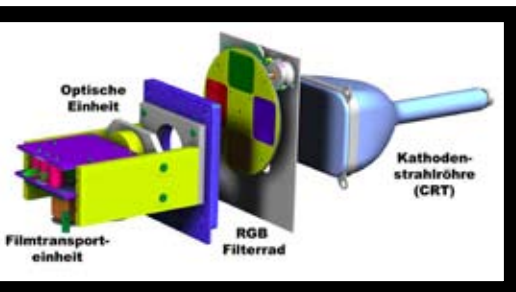


Bild 2: Funktionsprinzip der CRT-Filmrecorder (Quelle: CCG GmbH)

**CRT-BELICHTER**

Die CRT-Belichter bestehen im Prinzip aus einem hochauflösenden Monochrom-Bildschirm, einer Optik und einem Kamerarückteil für das entsprechende Filmformat (Bild 2). Um ein farbiges Bild zu erhalten, muss bei diesem Verfahren gefiltert werden. Zu diesem Zweck ist der Röhre ein Filterrad nachgeschaltet, das Filter in den drei additiven Primärfarben Rot, Grün und Blau verwendet. Die Belichtungen entstehen durch „Abfo-

**VORTRAGSFORUM SPEICHERTECHNOLOGIE**

Unter dem Titel „Digital speichern - filmbasiert archivieren?“ veranstaltet die Sektion Wissenschaft und Technik der Deutschen Gesellschaft für Photographie (DGPh) in Verbindung mit der Kölnmesse und der Prophoto GmbH während der photokina 2008 ein Vortragsforum, welches die Möglichkeiten und Grenzen der filmbasierten und der digitalen Archivierung behandelt. Das Vortragsforum findet am Nachmittag des 25. September und am Vormittag des 26. September im Kristallsaal des Congress-Centrum Ost der Kölnmesse statt.

reicht. Bei Unterabtastung (engl. Aliasing) werden die nicht mehr darstellbaren Details weggelassen und die Informationen können zusätzlich verfälscht werden [6]. Dabei treten bei sehr engen parallelen Linien gröbere Linienraster auf, die nicht mehr mit dem Original übereinstimmen (Pseudostrukturen) oder es entstehen Moiré-Erscheinungen (sich wiederholende Störmuster). Bei der Redigitalisierung dieser hochauflösten Bilder muss man entweder die beschriebenen Artefakte in Kauf nehmen oder die Bilder auf Fotopapier ausbelichten und dann mit geringerer Auflösung erneut einscannen.

Für die Bilddaten digitaler Kameras würde eine wesentlich geringere Auflösung der Laserbelichter ausreichen. Diese könnte durch eine Vergrößerung des Durchmessers des Laserstrahls oder durch Pixelwiederholung beim Belichtungsvorgang erreicht werden.

### KONSEQUENZEN FÜR FOTOGRAFEN

Bei vielen Fotografen wächst der Verdacht, dass digitale Bilddaten auf den CDs, DVDs und Festplatten nicht sicher archiviert werden können; darum sollten sie die Ausbelichtung eigener Bilddaten durch erfahrene Dienstleister unbedingt einmal selbst testen. Die mit CRT-Belichtern hergestellten Bilder der Firma MOPS in Münster ([www.mops-computer.de](http://www.mops-computer.de)) besitzen eine Auflösung, die für die Speicherung von Fotografien in der Regel ausreicht. Testdateien des Autors (ca. 30 MB, RGB-TIFF), die auf Fuji Provia 100 (RDP III) ausbelichtet wurden, hatten eine Auflösung, die bei visuellem Vergleich (bis 30-fache Vergrößerung), etwa mit KB-Qualität vergleichbar waren. Bewahrt man diese Filme unter optimalen Bedingungen (Tabelle 2) auf, steht ein migrationsfreies, redundantes Medium zur Verfügung, das den Fotografen gegen den Ausfall seiner digitalen Daten absichert.

Auf Ilford Micrographic-Film im Format 17,4 x 27,9 cm belichtet das Fotolabor M in Stuttgart ([www.savedpictures.com](http://www.savedpictures.com)). Kleinere Formate werden durch Verschachtelung (Nesting) auf dem Film verteilt.

Das Fachlabor Fachlabor Gubler, Felben-Wellhausen in der Schweiz ([www.mikrosave.ch](http://www.mikrosave.ch)) belichtet mit dem Farbbrollfilm Ausbelichter Eternity 105 ebenfalls auf Ilford Micrographic-Film.

---

## QUELLEN:

[1] PEVIAR (Permanent Visual Archive)

<http://www.peviar.ch>

[2] <http://www.wilhelm-research.com/book.html>

[3] [http://www.imagepermanenceinstitute.org/shtml\\_sub/dl\\_prescalc.asp](http://www.imagepermanenceinstitute.org/shtml_sub/dl_prescalc.asp)

[4] Schäfer, Jörg und Varian, Nigel: Digitaler Filmrecorder mit LC-Display, 1-2/2006 FKT

[http://fkt.schiele-schoen.de/117/8756/20601043/Digitaler\\_Filmrecorder\\_mit\\_LC\\_Display.html](http://fkt.schiele-schoen.de/117/8756/20601043/Digitaler_Filmrecorder_mit_LC_Display.html)

[5] Cruse-Scanner

<http://www.crusescanner.de>

[6] Brümmer, Hans: Auflösungsprobleme in der digitalen Fotografie

[http://home.vrweb.de/~hans.brueemmer/aufli\\_probl.pdf](http://home.vrweb.de/~hans.brueemmer/aufli_probl.pdf)