

H. Neuroth, A. Oßwald, R. Scheffel, S. Strathmann, K. Huth (Hrsg.)

nestor Handbuch

Eine kleine Enzyklopädie
der digitalen Langzeitarchivierung

Version 2.3

Kapitel 10.3

Datenträger und
Speicherverfahren für
die digitale Langzeitarchivierung

nestor Handbuch: Eine kleine Enzyklopädie der digitalen Langzeitarchivierung
hg. v. H. Neuroth, A. Oßwald, R. Scheffel, S. Strathmann, K. Huth
im Rahmen des Projektes: nestor – Kompetenznetzwerk Langzeitarchivierung und
Langzeitverfügbarkeit digitaler Ressourcen für Deutschland
nestor – Network of Expertise in Long-Term Storage of Digital Resources
<http://www.langzeitarchivierung.de/>

Kontakt: editors@langzeitarchivierung.de
c/o Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen,
Dr. Heike Neuroth, Forschung und Entwicklung, Papendiek 14, 37073 Göttingen

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter
<http://www.d-nb.de/> abrufbar.

Neben der Online Version 2.3 ist eine Printversion 2.0 beim Verlag Werner Hülsbusch,
Boizenburg erschienen.

Die digitale Version 2.3 steht unter folgender Creative-Commons-Lizenz:
„Namensnennung-Keine kommerzielle Nutzung-Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0
Deutschland“
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/>



Markenerklärung: Die in diesem Werk wiedergegebenen Gebrauchsnamen, Handelsnamen,
Warenzeichen usw. können auch ohne besondere Kennzeichnung geschützte Marken sein und
als solche den gesetzlichen Bestimmungen unterliegen.

URL für Kapitel 10.3 „Datenträger und Speicherverfahren für die digitale Langzeitarchivierung“
(Version 2.3): <urn:nbn:de:0008-20100305200>
<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:0008-20100305200>



Gewidmet der Erinnerung an Hans Liegmann (†), der als Mitinitiator und früherer Herausgeber des Handbuchs ganz wesentlich an dessen Entstehung beteiligt war.

10.3 Datenträger und Speicherverfahren für die digitale Langzeitarchivierung

Rolf Däßler

Wir produzieren und speichern Daten – digital kodierte Daten, die an ein physisches Medium gebunden sind. Wie sicher sind diese Daten? Können wir die Daten in 10, 100 oder 1000 Jahren noch verwenden oder droht im digitalen Zeitalter der Verlust unseres kulturellen Erbes? Welche Möglichkeiten gibt es überhaupt, digitale Daten langfristig aufzubewahren und zukünftig nutzbar zu machen? Diese und andere Fragen ergeben sich mit zunehmender Bedeutung in der Gegenwart. Unternehmen müssen digitale Daten für vorgeschriebene Zeiträume revisionsicher aufbewahren, Archive haben den gesellschaftlichen Auftrag digitale Daten zeitlich unbegrenzt zu sichern. Die Sicherung digitaler Daten muss dabei auf drei Ebenen erfolgen (Tabelle 1).

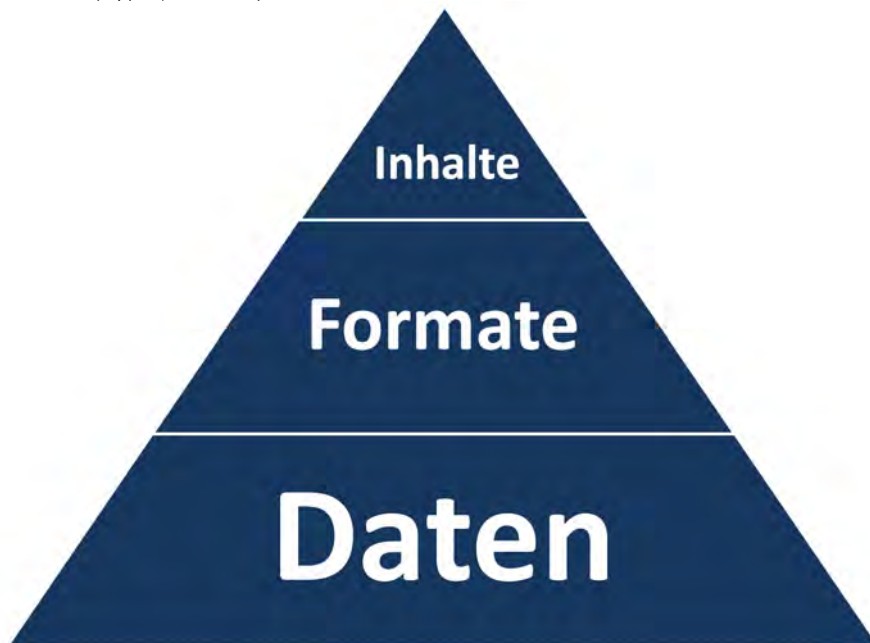


Abbildung 1: Ebenen der Sicherung digitaler Daten

Die unterste Ebene ist die Datensicherungsebene. In dieser Ebene geht es um die langfristige Erhaltung der binären Datenmuster, das heißt um Aspekte der Haltbarkeit und Zuverlässigkeit digitaler Datenträger und um die Frage, wie Veränderungen in den binären Bitmustern erkannt und korrigiert werden können. Wir benötigen in dieser Ebene technische Geräte und Verfahren zum Le-

sen und Schreiben von binären Mustern, unabhängig davon, ob sie in Form von Löchern, magnetischen Teilchen oder elektrischen Ladungen vorliegen. Außerdem benötigen wir Verfahren zur langfristigen und zuverlässigen Speicherung dieser Daten. Die zweite Ebene dient der Sicherung von Datenformaten. Ein binäres Datenformat definiert, wie binär kodierte Daten mit Hilfe von Rechnern programmtechnisch zu verarbeiten sind. Bedingt durch die technische Entwicklung der Verarbeitungssysteme unterliegen besonders Datenformate einem schnellen technologischen Wandel. Zur langfristigen Sicherung der Datenformate ist es erforderlich, entweder die Datenformate oder die Systemumgebung an den aktuellen technologischen Stand anzupassen. In dieser Ebene werden Verfahren und Strategien zur digitalen Bestandserhaltung wie Konversion, Migration oder Emulation benötigt. In der dritten Ebene geht es um die Sicherung der Inhalte, das heißt um die Frage, wie die in digitaler Form gespeicherten Informationsinhalte authentisch erhalten werden können. Dazu werden in der Regel komplexe Signaturverfahren eingesetzt, die eine entsprechende Hard- und Softwareumgebung benötigen.

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den Medien und Technologien der ersten Sicherungsebene, der Bitsicherungsebene. Insbesondere wird auf Nutzen und Probleme der digitalen Datenspeicherung, digitale Speicherverfahren, Anforderungen an digitale Datenträger und auf Archivspeichersysteme eingegangen.

1. Nutzen und Probleme der digitalen Datenspeicherung

Eine Problematik der digitalen Datenspeicherung liegt in der binären Datenkodierung, das heißt der Art und Weise der Datenspeicherung mit Hilfe von nur zwei physischen Zuständen. Was aus technischer Sicht sehr effizient und einfach aussieht, stellt für den Menschen ein großes Problem dar - die Entschlüsselung der binär kodierten Information. Dies ist ohne technische Hilfsmittel und ohne eine Dekodier-Anleitung nicht möglich. Die Gründe warum sich digitale Daten durchgesetzt haben, liegen in den Vorteilen der elektronischen Datenverarbeitung: Nutzung der modernen Rechentechnik zur Verwaltung und Verarbeitung von Daten, Nutzung der globalen Datennetze zur Datenübertragung, verlustfreie Duplizierbarkeit von Daten sowie die Eigenschaften digitaler Datenträger - hohe Speicherkapazitäten auf kleinstem Raum und schneller Zugriff auf die gespeicherten Daten. Die Vorteile der digitalen Speicherung zeigen sich vor allem im operativen Bereich, wo es darauf ankommt, große Datenmengen schnell und zuverlässig zu sichern und wieder zur Verfügung zu stellen. Ein aktuelles Beispiel für die Popularität digitaler Speichermedien ist

der Einsatz von elektronischen Speichermedien, z.B. Flash-Speicherkarten im Alltag. Demgegenüber stehen zwei Probleme der digitalen Datenspeicherung, die sich besonders nachteilig für die langfristige Sicherung digitaler Daten auswirken: die Datenbindung an physische Datenträger und die Formatbindung an Rechnerprogramme. Datenverluste können durch die undefinierte Alterung der Datenträger, den Verschleiß der Datenträger oder durch äußere Umwelteinflüsse entstehen. Besonders kritisch ist die Bindung des Datenträgers an ein spezifisches Lesegerät. Betrachtet man beispielsweise ältere Datenträger - wie eine Lochkarte oder eine Diskette - so liegt das Problem hier nicht unbedingt beim Datenträger, sondern vielmehr in der Nichtverfügbarkeit bzw. Inkompatibilität erforderlicher Lesegeräte.

2. Digitale Speicherverfahren

Digitale Datenträger können nach der Art und Weise ihres Speicherverfahrens klassifiziert werden (Tabelle 1). Wir unterscheiden mechanische, elektro-mechanische, magnetische, optische, magneto-optische und elektronische Speicherverfahren. Mechanische, elektro-mechanische und einige magnetische bzw. elektronische Speichermedien sind heute nicht mehr im Einsatz. Dazu gehören Lochkarten, Lochstreifen, Relaisspeicher, Magnetkernspeicher, Magnetzylinder oder Elektronenröhrenspeicher. Auch magneto-optische Speichermedien wurden in der Vergangenheit zunehmend durch rein optische Datenträger ersetzt. Auf Grund der Entwicklungsfortschritte, die elektronische Datenspeicher in den letzten Jahren gemacht haben, beginnen sie zunehmend traditionelle magnetische oder optische Datenträger abzulösen. Nachdem in den 1990er Jahren zunächst optische Datenträger (CD, DVD) die mobilen magnetischen Datenträger (Diskette) abgelöst haben werden mobile digitale Daten heute wieder zunehmend auf magnetischen (Festplatten) und elektronischen Datenträgern (Flash-Speichern) gespeichert.

2.1. Magnetische Speicherung

Die magnetische Aufzeichnung ist eines der ältesten Speicherverfahren zur permanenten Speicherung analoger und digitaler Daten. Schon in den 1950er und 1960er Jahren wurden Magnetbänder zur sequentiellen Aufzeichnung und Archivierung digitaler Daten sowie Magnetkernspeicher und Magnetzylinder als Vorläufer der modernen Festplatten für einen schnellen, wahlfreien Zugriff auf digitale Daten eingesetzt. Das magnetische Speicherverfahren beruht auf der Änderung von Magnetisierungszuständen magnetischer Teilchen einer Schicht, die auf Folien (Diskette, Magnetband) oder Platten (Festplatte) aufgebracht ist. Das Schreiben und Lesen von Daten erfolgt auf elektromagnetischer Basis.

Dazu wird ein kombinierter Schreib- und Lesekopf benutzt. Zum Schreiben der Daten erzeugt der Schreibkopf ein Magnetfeld, welches in der Nähe befindliche Bereiche der Magnetschicht magnetisiert (magnetische Remanenz). Die magnetischen Teilchen behalten auch nach dem Entfernen des Magnetfeldes ihren Zustand bei. Der Magnetisierungszustand kann durch ein Magnetfeld auch wieder verändert werden. Das Auslesen der Daten erfolgt durch Abtastung der Magnetisierung mit einem Lesekopf. Durch die Bewegung des Kopfes relativ zur magnetischen Schicht wird im Lesekopf ein Strom induziert, der ausgewertet werden kann.

Speicherverfahren	Speichermedium
mechanisch	Lochkarte, Lochstreifen
elektro-mechanisch	Relais
magnetisch	Magnetkern, Magnetzylinder, Magnetband, Magnetstreifen, Magnetplatte, Magnetkarte, Magnetfolie, Floppy Disk (FD), Hard Disk Drive (HDD), Digital Linear Tape (DLT), Digital Audio Tape (DAT), Linear Tape Open (LTO), Advanced Intelligent Tape (AIT)
optisch	Compact Disk (CD), Digital Versatile Disk (DVD), Blu-ray Disk (BD), Holographic Versatile Disk (HVD), Ultra Density Optical (UDO), Mikrofilm, Speicherkristall
magneto-optisch	Magneto Optical Disk (MOD)
elektronisch	Elektronenröhrenspeicher, Read Only Memory (ROM), Random Access Memory (RAM), Electrically Erasable Programmable Read Only Memory (EEPROM), Flash-Speicher, Solid State Drive (SSD), Speicher-Chipkarten

Tabelle 1: Speicherverfahren und Speichermedien

Aus dem magnetischen Aufzeichnungsverfahren ergeben sich einige Konsequenzen, die für die langfristige Speicherung von Daten von Bedeutung sind. So kann die Magnetisierung der Schichten nicht unbegrenzt erhalten werden. Vor allem äußere Einflüsse - wie Magnetfelder - können Datenverluste bewirken. Das Auslesen der Daten kann nur durch die relative Bewegung der Magnetschicht in Bezug zum Lesekopf erfolgen. Das wird entweder durch die Rotation des Speichermediums (Diskette, Festplatte) oder durch das Spulen eines Magnetbandes erreicht. Beide Verfahren führen zu einem hohen und unkontrollierten mechanischen Verschleiß, entweder am Medium selbst (Diskette, Magnetband) oder in der mechanischen Lagerung des Schreib- und Lesegerätes (Festplatte).

2.2 Optische Speicherung

Optische Speicherverfahren sind seit den 1980er Jahren im Einsatz. Sie sind sehr eng mit der Entwicklung der Lasertechnologie verbunden. Erst der Einsatz von Laserdioden machte die Entwicklung optischer Massenspeicher möglich. Die wohl populärste Entwicklung auf diesem Gebiet ist die Compact Disk (CD), die im Audibereich nahezu vollständig die Vinylschallplatte verdrängt hat. Im Bereich der optischen Datenspeicherung gibt es heute vier Verfahren digitale Daten zu speichern: das Einbrennen bzw. Einstanzen von Löchern (Pits) in eine Polykarbonatschicht, die Veränderung der kristallinen Struktur einer polykristallinen Schicht, die Belichtung von Mikrofilmen oder die Erzeugung eines holografischen Interferenzmusters in einem holografischen Medium. Trotz der verschiedenen Verfahren zum Schreiben digitaler Daten ist das Auslesen optischer Datenträger relativ ähnlich. Bis auf das holografische Verfahren wird immer reflektiertes Laserlichtes analysiert und in elektrische Impulse umgewandelt. Dazu wird ein mit einer Laserdiode ausgestatteter Lesekopf an eine bestimmte Stelle des optischen Speichermediums positioniert und das reflektierte Laserlicht ausgewertet. Jedes optische Speichermedium besitzt zu diesem Zweck eine lichtreflektierende Schicht, in der Regel eine dünne metallische Folie. Mit diesem Verfahren können auf einfache Weise binäre Strukturen gelesen werden. Beim holografischen Verfahren handelt es sich dagegen um ein analoges Speicherverfahren, bei dem mit Hilfe eines Laserstrahls ein Abbild der Vorlage wiederhergestellt wird, ähnlich wie bei dem Prozess der Belichtung eines Fotonegativs.

Aus den Verfahren zur optischen Datenspeicherung ergibt sich eine Reihe von Konsequenzen für die langfristige Aufbewahrung digitaler Daten auf optischen Datenträgern. Ein entscheidender Vorteil optischer Datenträger ist die berührungsfreie Abtastung der Daten. Dadurch entstehen am Speichermedium keinerlei Abnutzungserscheinungen. Da optische Datenträger wie CDs oder DVDs aus mehreren Schichten bestehen, wird das Langzeitverhalten dieser Datenträger vor allem durch eine Veränderung dieser Schichten durch Alterung und äußere Einflüsse geprägt. Während gepresste Scheiben (CD-ROM, DVD-ROM) in der Regel sehr robust gegenüber äußeren Einflüssen sind, können Temperatureinflüsse massive Auswirkungen auf solche optische Medien haben, die auf der Grundlage von polykristallinen Phasenveränderungen binäre Daten speichern. Dazu gehört unter anderem die Gruppe der mehrfach beschreibbaren optischen Datenträger (CD±RW, DVD±RW, RW = Read/Write). Ein weiteres Problem sind die optischen Abspielgeräte. Da das Lesen und Schreiben der Daten von der genauen Positionierung des Lasers auf dem optischen Datenträger abhängt, sind Abspielgeräte empfindlich gegenüber Stößen und

Verschmutzung. Unterschiedliche Toleranzbereiche einzelner Gerätehersteller können ebenfalls zu Inkompatibilitäten zwischen Medien und Geräten verschiedener Hersteller führen. Ein weiteres Problem sind mechanische Beschädigungen der Oberfläche optischer Medien. Bei intensivem Gebrauch können optische Datenträger, die keine Schutzhülle besitzen, durch Kratzer unbrauchbar werden.

Das holografische Speicherverfahren^{3,4}, nutzt das seit den 1940er Jahren bekannte holografische Prinzip⁵, auf dessen Grundlage es möglich ist, räumliche Eigenschaften von Objekten auf einem Fotonegativ zu speichern. Bei der Belichtung des holografischen Negativs entsteht ein räumliches Bild des zuvor aufgenommenen Objektes. Benutzt man nun statt des Objektes ein binäres Datenmuster und statt eines Fotonegativs ein holografisches Speichermedium - beispielsweise einen Speicherkristall - so können unzählige Datenseiten in Form von Interferenzmustern gespeichert werden (Abbildung 2).

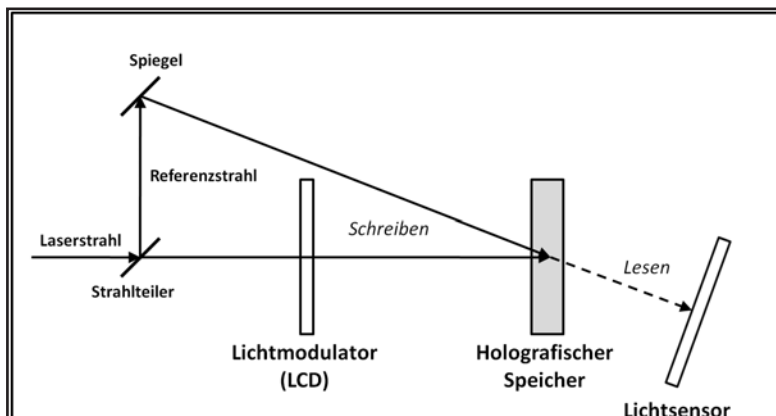


Abbildung 2: Prinzip der holografischen Datenspeicherung

Neben den herausragenden technischen Parametern holografischer Speicher, wie enormen Speicherkapazitäten, hohen Datentransferraten und geringen Zugriffszeiten (vgl. Tabelle 2), besitzen holografische Datenspeicher weitere archi-

- 3 Lanciloti, Mike: Holographische Datenspeicher Archivierung für den professionellen Videomarkt, in: FKT, 8-9(2006) S.515-518.
- 4 Wengenmayr, Roland: Hologramme als Datenspeicher, in: Fachhefte grafische Industrie, 5(2006), S.8-11.
- 5 Busse, Karsten und Sörgel Elisabeth: Holographie in Wissenschaft und Technik, in: Physik Journal 2(2003), S.37-43.

vrelevante Eigenschaften. Da es sich um ein analoges Aufzeichnungsverfahren handelt, können sowohl Binärdaten als auch visuelle analoge Informationen wie Texte, Bilder, Videosequenzen oder sogar dreidimensionale Objektabbildungen in einem holografischen Speicher abgelegt werden. Damit ist es möglich Anweisungen zum Entschlüsseln der binär kodierte Daten in einer Form zu speichern, die es den Menschen zukünftig ermöglicht, sie mit geringem technischen Aufwand direkt zu lesen. Durch die Ausnutzung eines Speichervolumens - statt einzelner Schichten wie bei den anderen optischen Medien - sind enorme Speicherkapazitäten erreichbar. Um Daten an verschiedene Stellen des Datenträgers zu schreiben, werden zurzeit entweder der holografische Datenträger oder der Laserkopf bewegt. Dazu müssen beide Elemente mit einer extrem hohen Genauigkeit mechanisch positioniert werden. Das dauert zum einen relativ lange, zum anderen sind mechanische Bauteile stets anfällig gegenüber Erschütterungen und unterliegen einem natürlichen Verschleiß. Im Zusammenhang mit der Weiterentwicklung des holografischen Verfahrens hat man in den Forschungslabors bereits Verfahren entwickelt, die mit einer rein optischen, festen Anordnung von Speichermedium und Laser arbeiten. Damit würde ein robustes Speichergerät entstehen, das resistent gegenüber äußeren mechanischen und elektromagnetischen Einflüssen wäre, in etwa vergleichbar mit der Robustheit elektronischer Speichermedien.

2.3 Magneto-optische Speicherung

Das Magneto-optische Speicherverfahren stellt eine Kombination aus magnetischem und optischem Speicherverfahren dar. Ein magneto-optisches Speichermedium hat prinzipiell den gleichen Aufbau wie ein optisches Speichermedium. Unterhalb der Reflexionsschicht befindet sich eine spezielle magneto-optische Schicht, die wie beim magnetischen Speicherverfahren mit Hilfe eines Schreibkopfes magnetisiert wird. Beim Schreiben wird zusätzlich die Schicht mit Hilfe eines Lasers erwärmt. Bei der Abkühlung bleibt so der Magnetisierungszustand permanent erhalten. Die Änderung der Magnetisierung bewirkt gleichzeitig eine Änderung der optischen Eigenschaften des Materials, die beim rein optischen Lesevorgang ausgenutzt wird. Zum Lesen der Daten wird die magneto-optische Schicht mit einem Laser abgetastet. Je nach Magnetisierung ändern sich dabei die Polarisations-eigenschaften des reflektierten Lichtes. Die Daten auf magneto-optischen Medien können durch Erhitzen wieder gelöscht und neu beschrieben werden. Magneto-optische Datenträger besitzen eine höhere physikalische Datensicherheit als magnetische oder optische Datenträger. Sie sind lichtunempfindlich, temperaturunempfindlich bis ca. einhundert Grad Celsius, unempfindlich gegenüber Magnetfeldern und mechanisch durch eine

Hülle geschützt. Auf Grund seiner Eigenschaften wird dieses Speichermedium in der Archivierung eingesetzt. Im privaten Bereich kam dieses Medium als Audio-Datenträger Minidisk zum Einsatz. Gegenwärtig wird die MO-Technik durch optische Archivspeichermedien (UDO) oder Festplattensysteme ersetzt.

2.4 Elektronische Speicherung

Die erste Form eines elektronischen Speichermediums enthielt der 1946 in Betrieb genommene Rechner ENIAC mit seinen ca. 17.500 Elektronenröhren. Die Erfindung des Transistors und des integrierten Schaltkreises sowie der Einsatz von Halbleiterbauelementen in der Elektronik sind die entscheidenden Meilensteine auf dem Weg zum modernen elektronischen Speichermedium. Das Grundprinzip der elektronischen Datenspeicherung⁶ besteht darin, elektrische Ladungszustände in einer Schicht und damit die elektrischen Leitungseigenschaften halbleitender Materialien zu verändern (Abbildung 3). Beim Schreiben digitaler Daten werden elektronische Speicherzellen mit Hilfe einer Kondensatorentladung blitzartig (Flash) geladen. Dadurch ändern sich die Leitungseigenschaften einer Speicherzelle. Zum Lesen eines Bits wird die Zelle einfach auf ihre Leitfähigkeit (Stromfluss) getestet.

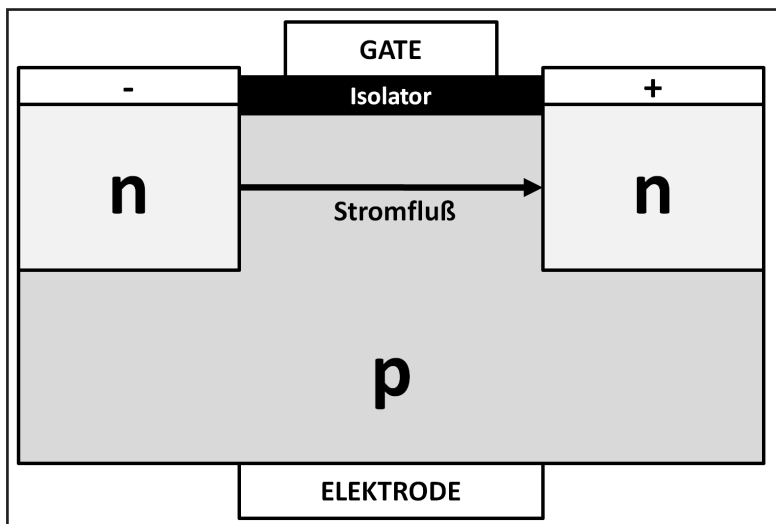


Abbildung 3: Aufbau einer Flash-Speicherzelle

6 So funktionieren Speicherkarten, in: Colorfoto 1(2005), S.74-76.

Elektronische Datenspeicher sind lichtunempfindlich und unempfindlich gegenüber Magnetfeldern und mechanischen Einflüssen. Sie sind vor allem stoß-resistent, besitzen keinerlei optische oder mechanische Komponenten und verbrauchen im Vergleich zu Festplatten wesentlich weniger Energie. Bereits heute werden sogenannte Festkörperlaufwerke (Solid State Drive) bis zu einer Speicherkapazität von 128 GByte angeboten, mit denen man herkömmliche magnetische Festplatten problemlos ersetzen kann. Nachteile elektronischer Speicher sind derzeit noch ihre beschränkte Speicherkapazität und der hohe Preis. Elektronische Speicher unterliegen einem elektronischen Verschleiß, der mit der thermisch bedingten Alterung der halbleitenden Schichten beim Löschesprozess im Zusammenhang steht. Die Anzahl der Schreib- und Löscheszyklen für jede einzelne Speicherzelle ist daher beschränkt. Ausfälle einzelner Zellen werden intern erkannt und im begrenzten Umfang korrigiert, da jeder Speicherbaustein über eine Anzahl von Reservespeicherzellen verfügt.

3. Anforderungen an digitale Datenträger

Die Leistungsfähigkeit digitaler Speichermedien wird in der Regel durch die Speicherkapazität (in Byte), die Zugriffszeit (in ms) und die Datentransferrate (in Bit/Sekunde) bestimmt. Die Speicherkapazität definiert dabei das maximale Speichervolumen eines Datenträgers, die Zugriffszeit bestimmt die durchschnittliche Zeit, die zum Positionieren der Schreib- und Leseinheit erforderlich ist bzw. die Zeit, die vom Erhalt eines Schreib- und Lesebefehls bis zur Ausführung des Schreib- und Lesezugriffs vergeht und die Datentransferrate bestimmt das durchschnittliche maximale Volumen des Datenstromes zum bzw. vom Lese- und Schreibgerät zum datenverarbeitenden System. Tabelle 2 zeigt dazu eine Übersicht der Leistungsparameter ausgewählter digitaler Speichermedien.

Die Leistungsparameter digitaler Datenträger unterliegen einer rapiden technologischen Entwicklung. In Tabelle 2 sind die zum Zeitpunkt 01/2009, aus verschiedenen Herstellerangaben ermittelten durchschnittlichen, maximalen Leistungsparameter enthalten. Die Angaben zur Datentransferrate beziehen sich prinzipiell auf den Lesevorgang und bei optischen Datenträgern (CD, DVD, BD) auf ein Vielfaches (z.B. 8x) der einfachen (1x) Lesegeschwindigkeit bei der Markteinführung eines Mediums. Bei optischen Datenträgern wird eine höhere Datenübertragungsrate durch die Erhöhung der Umdrehungsgeschwindigkeit der Medien erreicht. Die mit Abstand höchsten Speicherkapazitäten erreichen derzeit die Festplatten (HDD) und die holografischen Speichermedien (HVD). Gleiches gilt auch für die Datentransferraten, wobei hier die optischen Datenträger, die in ihrer Entwicklung mit niedrigen Transferraten begonnen hatten,

mittlerweile mit den Festplatten gleichgezogen haben. Bemerkenswert ist auch die maximale Datenübertragungsrate der Blu-ray Disk. Allerdings muss man beachten, dass der Preis, der für eine höhere Datenrate auf Grund einer höheren Umdrehungszahl der Scheiben gezahlt werden muss, ein wesentlich größerer Verschleiß der rotierenden Teile ist. Optische Speichermedien wie die CD, DVD oder die BD besitzen auf Grund ihres Zugriffsverfahrens wesentliche größere Zugriffszeiten als andere Datenspeicher. Hier schneidet neben der HVD der elektronische Flashspeicher (SSD) am besten ab.

Datenträger	Kapazität in GByte	Datentransferrate in MBit/sec	Zugriffszeit in ms	mittlerer Preis in €/GByte
Lochkarte	0.000001	-	-	-
FD	0.25	0.5	400	350
CD	0.8	70 (52x)	50	0.1
Mikrofilm	5	-	-	2
MOD	17	5 (1x)	60	5
DVD	19	80 (8x)	65	0.2
BD	50	288 (8x)	65	0.5
UDO	120	80	25	2
SSD	128	30 - 50	0.2	10
DLT/LTO/AIT	800	60-120	-	0.1 - 0.25
HDD	1500	50 - 100	10	0.5
HVD	1600	120	2	0.6

Tabelle 2: Leistungsparameter ausgewählter digitaler Datenträger

Die Leistungsparameter digitaler Datenträger unterliegen einer rapiden technologischen Entwicklung. In Tabelle 2 sind die zum Zeitpunkt 01/2009, aus verschiedenen Herstellerangaben ermittelten durchschnittlichen, maximalen Leistungsparameter enthalten. Die Angaben zur Datentransferrate beziehen sich prinzipiell auf den Lesevorgang und bei optischen Datenträgern (CD, DVD, BD) auf ein Vielfaches (z.B. 8x) der einfachen (1x) Lesegeschwindigkeit bei der Markteinführung eines Mediums. Bei optischen Datenträgern wird eine höhere Datenübertragungsrate durch die Erhöhung der Umdrehungsgeschwindigkeit der Medien erreicht. Die mit Abstand höchsten Speicherkapazitäten erreichen derzeit die Festplatten (HDD) und die holografischen Speichermedien (HVD). Gleiches gilt auch für die Datentransferraten, wobei hier die optischen Datenträger, die in ihrer Entwicklung mit niedrigen Transferraten begonnen hatten, mittlerweile mit den Festplatten gleichgezogen haben. Bemerkenswert ist auch die maximale Datenübertragungsrate der Blu-ray Disk. Allerdings muss man beachten, dass der Preis, der für eine höhere Datenrate auf Grund einer hö-

heren Umdrehungszahl der Scheiben gezahlt werden muss, ein wesentlich größerer Verschleiß der rotierenden Teile ist. Optische Speichermedien wie die CD, DVD oder die BD besitzen auf Grund ihres Zugriffsverfahrens wesentliche größere Zugriffszeiten als andere Datenspeicher. Hier schneidet neben der HVD der elektronische Flashspeicher (SSD) am besten ab.

Aus der Sicht der digitalen Langzeitarchivierung ergeben sich einige grundlegende Anforderungen für digitale Datenträger. Idealerweise sollten Speichermedien nicht altern, resistent gegenüber äußeren Einflüssen - wie elektromagnetische Felder, Luftfeuchtigkeit, Hitze, Kälte, Staub, Kratzer und Erschütterung - sein und keinem Verschleiß unterliegen. Lese- bzw. Schreibgeräte sollten ebenfalls resistent gegenüber äußeren Einflüssen sein. Viele digitale Speichermedien erfüllen diese Anforderungen nur zum Teil oder überhaupt nicht, wodurch eine langfristige Datenspeicherung problematisch wird. In Tabelle 3 sind die wichtigsten internen und externen Faktoren für mögliche Datenverluste ausgewählter digitaler Datenträger zusammengefasst.

Datenträger	externe Faktoren	interne Faktoren
FD, Magnetband	Magnetfelder, Feuchtigkeit	mechanischer Verschleiß (Medium)
CD, DVD, BD	Licht, Wärme, Kratzer	-
Mikrofilm	Licht	-
MOD, UDO	-	Materialermüdung durch Löschzyklen
SSD, Flash-Speicher	Feuchtigkeit	Materialermüdung durch Löschzyklen
HDD	Magnetfelder, Feuchtigkeit	mechanischer Verschleiß (Gerät)
HVD	-	mechanischer Verschleiß (Gerät)

Tabelle 3: Faktoren die zum Datenverlust führen können

Trotz optimaler Aufbewahrungsbedingungen unterliegen alle Materialien einer Alterung und verfahrensabhängig auch einem Verschleiß. Daher besitzen alle uns bekannten Datenträger nur eine begrenzte Haltbarkeit. Die Angaben zur Haltbarkeit variieren sehr stark, da Aussagen über die Haltbarkeit letztlich nur im Praxistest erzielt werden können. Zuverlässige Aussagen zur Haltbarkeit der Trägerschichten können daher vor allem im Bereich der magnetischen Datenträger gemacht werden, die seit mehr als 50 Jahren im Einsatz sind. Im Bereich der optischen Datenträger und der elektronischen Flash-Datenspeicher, die seit 25 Jahren bzw. zehn Jahren auf dem Markt sind, gibt es dagegen noch keine zuverlässigen Langzeitstudien. In Tabelle 4 sind geschätzte Daten zur Haltbarkeit ausgewählter Datenträger und verschiedene Herstellerangaben zum Langzeitverhalten zusammengefasst.

4. Archivspeichermedien und Archivspeichersysteme

Große Datenvolumen lassen sich nicht mit einzelnen Datenträgern speichern und verwalten. Aus diesem Grund werden heute Archivspeichersysteme eingesetzt, die zum einen eine große Anzahl von digitalen Datenträgern verwalten können, zum anderen aber auch die Möglichkeit bieten, Daten zusätzlich zu

Datenträger	Geschätzte Haltbarkeit in Jahren	Herstellerangaben zum Langzeitverhalten	Fehlerkorrektur
HDD	5	MTBR (Mean Time Between Failures) - Fehlerrate POH (Power-On Hours) - Betriebsdauer AFR (Annualized Failure Time) - Ausfallrate	ja
SSD, Flash-Speicher	10	Datensicherheit bis 10 Jahre Anzahl der Lösch- und Schreibzyklen pro Zelle begrenzt auf 10.000 – 100.000	ja
CD±RW, DVD±RW	10-30	-	nein
CD±R, DVD±R	10-30	-	nein
CD-ROM, DVD, BD	30-50	-	nein
Magnetband	30-50	-	nein
UDO	30-50	Datensicherheit bis 30 Jahre	nein
HVD	50 -100	Datensicherheit bis 50 Jahre	ja
Mikrofilm	500	-	nein

Tabelle 4: Geschätzte Haltbarkeit ausgewählter digitaler Datenträger

sichern indem sie mehrfach (redundant) bzw. virtuell gespeichert werden. In Abhängigkeit vom Speichermedium kommen heute Archivmagnetbandsysteme, Magnetplattensysteme (RAID⁷ – Redundant Array of Independent Disks) oder optische Speichersysteme⁸ (UDO – Ultra Density Optical oder Jukebox-Systeme) zum Einsatz. Alle Systeme haben Vor- und Nachteile, wobei auch die Kosten für die Anschaffung, den laufenden Betrieb und den Austausch von Medien ein entscheidender Faktor für die Systemauswahl sein können. In Tabelle 5 sind die wichtigsten Vor- und Nachteile der drei Archivierungslösungen in einer Übersicht zusammengestellt.

7 ICP vortex Computersysteme GmbH, Moderne RAID Technologie, Neckarsulm 2003.

8 Optical Storage Archivierung, storage magazin.de, 3(2006).

Archivspeichersystem	Vorteile	Nachteile
Archivbandsysteme	<ul style="list-style-type: none"> • lange Haltbarkeit • geringe Medienkosten • geringe Betriebskosten 	<ul style="list-style-type: none"> • Datenzugriff sehr langsam (sequentiell) • Wartung der Medien (z.B. Umspulen) erforderlich • großer Flächenbedarf (z.B. Bandroboter) • keine Fehleranalyse bzw. Fehlerkorrektur möglich
Magnetplattensysteme	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Datensicherheit • Fehleranalyse und Fehlerkorrektur • schneller Zugriff auf die gespeicherten Daten • großes Datenvolumen pro Medium 	<ul style="list-style-type: none"> • geringe Medienlebensdauer • hohe Systemkosten • hohe Betriebskosten
Optische Archivsysteme	<ul style="list-style-type: none"> • TrueWORM 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringes Datenvolumen pro Medium • keine Fehleranalyse bzw. Fehlerkorrektur möglich • hohe Medienkosten • Kompatibilitätsprobleme der Lese- und Schreibgeräte

Tabelle 5: Vor- und Nachteile von Archivspeichersystemen

Die entscheidenden Vorteile der unterschiedlichen Speichersystemlösungen sind die lange Haltbarkeit von Magnetbändern, die hohe Datensicherheit von Magnetplattensystemen, und die TrueWORM-Eigenschaft optischer Medien. Auf der anderen Seite sind wesentliche Nachteile die niedrige Zugriffsgeschwindigkeit von Magnetbandsystemen, die geringe Lebensdauer von Magnetplatten und das geringe Datenvolumen optischer Speichermedien.

Eine wichtige Eigenschaft von Archivspeichermedien ist die sogenannte WORM-Eigenschaft (Write Once Read Multiple). Damit wird die physische Eigenschaft beschrieben, dass der Datenträger nur einmal beschreibbar ist, d.h. die Daten einmal auf den Datenträger geschrieben werden und dann unverändert bleiben. Heute unterscheidet man zwischen TrueWORM und SoftWORM. TrueWORM beschreibt dabei ein Medium, das physisch nur einmal geschrieben und danach nicht mehr verändert, d.h. auch nicht mehr gelöscht werden kann. Das trifft insbesondere auf eine Reihe optischer Speichermedien, wie CD-R, CD-ROM oder UDO zu. Da magnetische und elektronische Datenträger die

TrueWORM-Eigenschaft nicht besitzen, wird bei Archivspeicherlösungen mit diesen Medien die WORM-Eigenschaft mit Hilfe einer Verwaltungssoftware simuliert und daher als SoftWORM bezeichnet. SoftWORM wird heute im Bereich der Magnetbandsysteme, Festplattensysteme und magneto-optischen Systeme eingesetzt. Da die WORM-Software aber prinzipiell manipulierbar ist, sind für eine revisionssichere bzw. vertrauenswürdige Archivierung spezielle Laufwerke erforderlich. Aber auch die TrueWORM-Eigenschaft hat einen entscheidenden Nachteil. Bei einer Datenmigration - die in Abhängigkeit von den Archivierungsdatenformaten regelmäßig im Abstand von drei bis 10 Jahren durchgeführt werden sollten - müssen alle TrueWORM-Archivmedien ersetzt bzw. neu geschrieben werden, obwohl ihre Haltbarkeitsgrenze unter Umständen noch gar nicht erreicht ist.

Im Bereich der optischen Archivspeichersysteme werden magneto-optische

Attribute	Current	Raw	Overall
Raw Read Error Rate	100	0	Very good
Spin Up Time	95	0	Good
Start/Stop Count	99	1844	Good
Reallocated Sector Count	100	0	Very good
Seek Error Rate	78	69982108	Very good
Power On Hours Count	96	3730	Good
Spin Retry Count	100	0	Very good
Power Cycle Count	99	1740	Good
Unknown attribute 187	100	0	Very good
Unknown attribute 189	96	4	Very good
Airflow Temperature	69	521011231	Very good
Power Off Retract Count	100	753	Very good
Load Cycle Count	64	72152	Good
Hardware ECC Recovered	69	97149977	Good
Current Pending Sector	100	0	Very good
Offline Uncorrectable Sector Count	100	0	Very good
Ultra DMA CRC Error Rate	200	0	Very good
Write Error Rate	100	0	Very good
TA Increase Count	100	0	Very good

Abbildung 4: SMART- Grafische Anzeige der Festplattenparameter (grün: optimal)

Medien zunehmend durch rein optische UDO- bzw. BD-Speichermedien ersetzt. UDO-Archivspeicherlösungen bieten dabei drei Varianten an: einmal beschreibbare Datenträger (UDO – True Write Once), Datenträger mit Löschfunktion für abgelaufene Aufbewahrungsfristen (UDO – Compliance Write Once) und wiederbeschreibbare Medien (UDO – Rewritable). Festplattensysteme sind heute als mehrstufige RAID-Systeme konzipiert, die durch eine komplexe redundante Datenhaltung auf verteilten Festplatten eine sehr hohe Da-

tensicherheit bieten. Die Datensicherheit wird zusätzlich durch automatische Fehlererkennungs- und Fehlerkorrekturverfahren wie SMART (Self-Monitoring Analysis and Reporting Technology) erhöht. Abbildung 4 zeigt die Auswertung verschiedener Festplattenparameter, die den Zustand einer Festplatte charakterisieren und zur Bewertung mit den optimalen Werten eines entsprechenden Festplattentyps verglichen werden.

Moderne Festplattenarchivsysteme besitzen ein mehrstufiges Datensicherungskonzept (Abbildung 5), das gegenüber allen anderen Archivlösungen die höchste Zuverlässigkeit in punkto Datensicherheit bietet. Der Nachteil ist, dass die einzelnen Speichermedien (Festplatten) in der Regel nach 5 Jahren ausgetauscht werden müssen. Das kann allerdings im laufenden Betrieb und ohne Datenverlust passieren. Auf der ersten Sicherheitsstufe eines Festplattenarchivsystems wird der Zustand jeder einzelnen Festplatten fortlaufend überprüft (SMART) und bei Bedarf Fehlerkorrekturen auf der Bitebene vorgenommen. Auf der zweiten Stufe werden mit Hilfe der RAID-Technologie die Daten mehrfach gespeichert. Damit werden Datenverluste beim Ausfall einer oder mehrerer Festplatten verhindert. Auf der dritten Stufe werden ganze Systemeinheiten (RAIN) dupliziert, damit auch bei einem Ausfall der Speicherverwaltungsein-

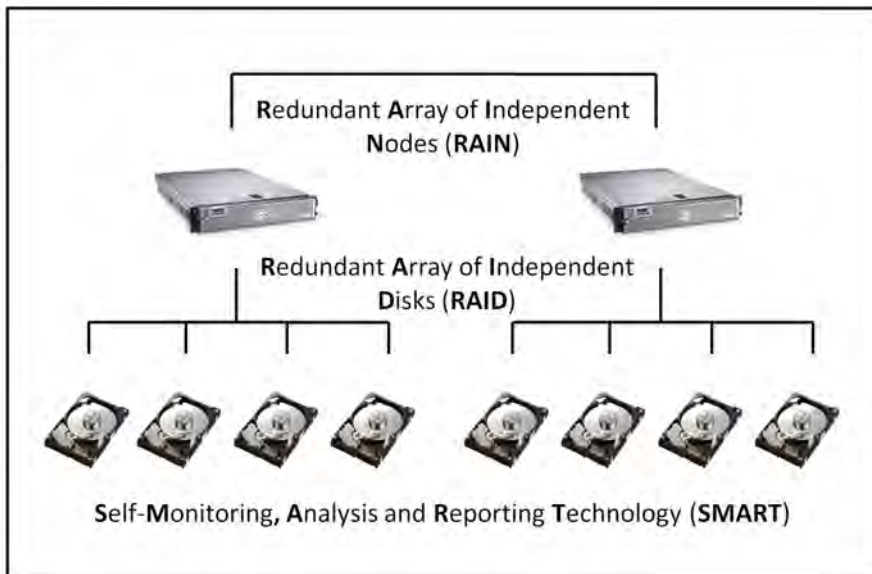


Abbildung 5: Sicherungsstufen eines Festplattenspeichersystems

heiten keine Datenverluste entstehen.

Große Festplattensysteme können mehrere hundert Festplatten verwalten. Im laufenden Betrieb entsteht hierbei das Problem der Klimatisierung und hoher Betriebskosten. MAID-Systeme (Massive Array of Idle Disks) schalten daher nicht benötigte Festplatten ab und können so bis zu 50% der Betriebskosten einsparen. Marktstudien gehen davon aus, dass in den nächsten Jahren elektronische Festplatten (SSDs) zum Teil die magnetische Festplatten (HDDs) ersetzen werden. Die Vorteile der elektronischen Speicher liegen zum einen in der geringen Leistungsaufnahme und der damit verbundenen Verringerung der Betriebskosten und zum anderen in der mechanischen Verschleißfreiheit und der damit verbundenen längeren Haltbarkeit der Speichermedien. Die Zugriffsgeschwindigkeit ist ebenfalls höher als bei Festplattensystemen (Faktor zehn). Nachteile der elektronischen Festplatten sind derzeit noch der vergleichsweise hohe Preis (Faktor 20) und die geringere Speicherkapazität (Faktor zehn, vgl. Tabelle 2). Festplattensysteme eignen sich besonders zur Speichervirtualisierung, ein Verfahren, das die permanente Bindung der Daten an einen spezifischen Datenträger aufhebt. Speicheranwendungen greifen dabei nur noch auf einen virtuellen Speicher zu, während der physische Speicher für die Anwendungen nicht sichtbar im Hintergrund liegt und vom Archivspeichersystem selbst verwaltet wird. Die Virtualisierung ermöglicht eine „intelligente“ und effiziente Verwaltung der gespeicherten Daten und den Einsatz komplexer Speicherstrategien und Disaster-Recovery-Lösungen. Eine Kostenvergleichsanalyse⁹ verschiedener Archivierungslösungen zeigt vor allem Unterschiede in den Anschaffungskosten und den Betriebskosten. Bandarchive und optische Archive liegen bezogen auf die Gesamtkosten derzeit deutlich unter den Kosten von Festplattensystemen. Trotzdem besitzen Festplattensysteme deutliche Vorteile bezüglich Zuverlässigkeit, Datensicherheit und Nutzung.

5. Fazit

In der Archivierungspraxis werden heute sowohl Magnetplattensysteme, Magnetbandsysteme und optische Archivspeichersysteme eingesetzt. Die Auswahl eines Archivspeichersystems richtet sich nach den spezifischen Anforderungen und den Kosten für Anschaffung und Betrieb (vgl. Tabelle 5). Festplattensysteme haben sich sowohl als Standardspeicherlösungen für die operationale Datenverarbeitung, z.B. für serverbasierte Anwendungen, als auch für Archivspeicherlösungen etabliert. Bei einem weiteren Preisverfall für elektronische Spei-

9 Plasmon Data Ltd: TCO-Analyse von Archivierungslösungen, 2007.

cher ist es denkbar, dass in den nächsten Jahren Magnetplatten (HDD) durch Festkörperplatten (SSD) ersetzt werden. Das würde auch die Betriebskosten für RAID-Systeme beträchtlich senken.

In den meisten Bereichen steht heute nicht mehr die Frage bezüglich einer Entscheidung zwischen analoger oder digitaler Langzeitspeicherung, da sich die meisten digitalen Daten gar nicht mehr sinnvoll in analoger Form sichern lassen. Das betrifft digitale Bilder, Ton- und Videoaufzeichnungen oder Textdokumente. Eine Retroanalogisierung digitaler Daten und die anschließende analoge Archivierung in Form von Papier, Negativen und Archivfilmen würde neben einem nicht vertretbaren personellen und finanziellen Aufwand auch den Versuch bedeuten, den technologischen Wandel aufzuhalten. Langzeitarchive müssen sich stattdessen der digitalen Herausforderung stellen und Archivierungsstrategien entwickeln, die eine digitale Archivspeicherlösung einschließen. Da digitale Archivspeicherlösungen sehr kosten- und wartungsintensiv sind, ist es in jedem Fall sinnvoll, in Kooperation mit der IT-Abteilung bzw. dem Rechenzentrum einer Einrichtung oder eines Unternehmens eine bereichsübergreifende Lösung zu finden.

Literatur

- Lanciloti, Mike: Holographische Datenspeicher Archivierung für den professionellen Videomarkt, in: FKT, 8-9(2006) S.515-518.
- Wengenmayr, Roland: Hologramme als Datenspeicher, in: Fachhefte grafische Industrie, 5(2006), S.8-11.
- Busse, Karsten und Sörgel Elisabeth: Holographie in Wissenschaft und Technik, in: Physik Journal 2(2003), S.37-43.
- So funktionieren Speicherkarten, in: Colorfoto 1(2005), S.74-76.
- ICP vortex Computersysteme GmbH, Moderne RAID Technologie, Neckarsulm 2003.
- Optical Storage Archivierung, storage magazin.de, 3(2006).
- Plasmon Data Ltd: TCO-Analyse von Archivierungslösungen, 2007.
- Academy of Motion Picture Arts and Sciences: The Digital Dilemma - Strategic issues in archiving and accessing digital motion picture materials, 2008.
- D-Cinema Bytes statt Film, Fraunhofer Magazin (2)2004.