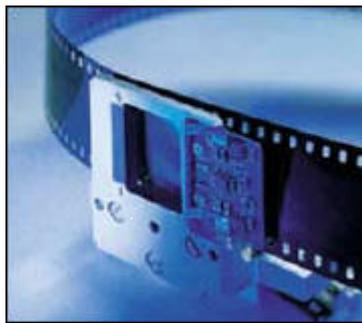


TECHNISCHE ASPEKTE DIGITALER LANGZEITARCHIVIERUNG



**Hausarbeit
zur Diplomprüfung**

an der

**HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN
HAMBURG**

Fakultät Design Medien Information

Vorgelegt von: Stefan Ziehl

Hamburg, Juni 2006

Referent: Prof. Dr. Franziskus Geeb
Korreferent: Prof. Dr. Ute Krauß-Leichert

Abstract

Die vorliegende Diplomarbeit betrachtet anfangs verschiedene Speichermedien im Bezug auf ihre Beständigkeit für die Archivierung elektronischer Daten. Darauf folgt eine Beschreibung der Funktionsweise des OAIS-Referenzmodells, welches eine ISO-zertifiziertes Modell eines digitalen Archivs darstellt. Anschließend werden verschiedene Lösungsansätze und Strategien zur digitalen Langzeitarchivierung erörtert und ausführlich diskutiert. In der abschließenden Zusammenfassung wird der Versuch unternommen, jetzige und zukünftige Probleme der Langzeitarchivierung zu bewerten.

- Langzeitarchivierung
- Speichermedien
- Digitale Daten
- Dokumentenverwaltungssystem

Inhaltsverzeichnis

Abstract	III
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Problemstellung und Gang der Untersuchung	1
2 Begriffsdefinitionen	2
3 Aufbau und Beständigkeit von Speichermedien	4
3.1 Mikrofilm als analoges Speichermedium	4
3.2 Magnetische Speichermedien	7
3.2.1 Bandspeichermedien	7
3.2.2 Diskette	11
3.2.3 Festplatte	13
3.3 Optische Speichermedien	16
3.3.1 Geschichte und Funktionsweise der Compact Disc (CD)	16
3.3.2 Verschiedene Formate der Compact Disc	18
3.3.3 Beständigkeit der Compact Disc	23
3.3.4 Geschichte und Funktionsweise der Digital Versatile Disc (DVD)	29
3.3.5 Verschiedene Formate der DVD	32
3.3.6 Beständigkeit der DVD	35
3.3.7 Nachfolgeformate der DVD	37
4 Das Open Archival Information System Reference Model (OAIS)	40
4.1 Entstehung und Grundlagen des Modells	40
4.2 Informationsmodell des OAIS	42
4.3 Prozessmodell des OAIS	44
4.4 Prozessmodell des Deposit System for Electronic Publications (DSEP)	49
5 Erhaltungsstrategien zur Langzeitarchivierung	52
5.1 Migration	52
5.2 Emulation	54
5.3 Hardware-Museum	57
5.4 Verwendung von Standardformaten	58
5.5 Langzeitstabile Formate für textbasierte Informationen	60

6 Auseinandersetzung verschiedener Aspekte der Langzeitarchivierung.....	62
6.1 Datenträger und ihre Rolle in der Langzeitarchivierung.....	62
6.2 Standardisierung in der Langzeitarchivierung.....	65
6.3 Diskussion von Migration und Emulation.....	66
6.4 Das OAIS-Referenzmodell und seine Anwendung in der Praxis.....	68
7 Zusammenfassende Betrachtung und Ausblick.....	69
Quellenverzeichnis.....	VIII
Eidesstattliche Versicherung.....	IX

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wichtige Komponenten eines Festplattenlaufwerks.....	14
Abbildung 2: CD im Querschnitt, Abtastung eines Lands.....	17
Abbildung 3: Aufbau einer CD-R.....	21
Abbildung 4: Von Pilzfraß befallene CD.....	29
Abbildung 5: Vergleich der Pit-Breite bei CD und DVD.....	31
Abbildung 6: Übersicht der verschiedenen DVD-Formate.....	32
Abbildung 7: Das Informationsmodell des OAIS-Referenzmodells.....	42
Abbildung 8: Bestandteile eines Information Packages.....	43
Abbildung 9: Umgebung eines OAIS-Archivs.....	45
Abbildung 10: Das OAIS-Prozessmodell.....	46
Abbildung 11: Geschäftsgang einer digitalen Bibliothek mit einem DSEP.....	50
Abbildung 12: Das Prozessmodell eines DSEP.....	51
Abbildung 13: Aufbau einer Datenkapsel.....	57

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gebräuchliche Standardformate für Bandspeichermedien.....	8
Tabelle 2: Farben der Reflektionsschicht einer CD-R.....	25
Tabelle 3: Empfohlene Lagerungsbedingungen für CD-Medien.....	28
Tabelle 4: Standardformate für verschiedene Datentypen.....	59

Abkürzungsverzeichnis

AIT	Advanced Intelligent Tape
AIP	Archive Information Package
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BLER	Block Error Rate
CCSDS	Consultative Committee for Space Data Systems
CD	Compact Disc
CD-DA	Compact Disc Digital Audio
CD-MO	Compact Disc Magneto-Optical
CD-R	Compact Disc - Recordable
CD-RW	Compact Disc - Rewritable
CD-ROM	Compact Disc – Read Only Memory
CD-ROM/XA	Compact Disc - Read Only Memory / Extended Architecture
CGM	Computer Graphics Metafile
COM	Computer Output on Microfilm
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Científicas
CSV	Character Separated Values
DDS	Digital Data Storage
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DIP	Dissemination Information Package
DLT	Digital Linear Tape
DSEP	Deposit System for Electronic Publications
DSSSL	Document Style Semantics and Specification Language
DVD	Digital Versatile Disc
DVD-R	Digital Versatile Disc - Recordable

DVD-RAM	Digital Versatile Disc – Random Access Memory
DVD-ROM	Digital Versatile Disc – Read Only Memory
DVD-RW	Digital Versatile Disc - Rewritable
ECC	Error Correction Code
ECMA	European Computer Manufacturers Association
EDC	Error Detection Code
EP	Elektronische Publikation
GB	Gigabyte
GIF	Graphics Interchange Format
HD-DVD	High Definition Digital Versatile Disc
HD-DVD-R	High Definition Digital Versatile Disc - Recordable
HD-DVD-RW	High Definition Digital Versatile Disc - Rewritable
HDTV	High Definition Television
HTML	Hypertext Markup Language
IBM	International Business Machines
ISO	International Organization for Standardization
JPEG	Joint Photographic Expert Group
KB	Kilobyte
LTO	Linear Tape Open
MAME	Multiple Arcade Machine Emulator
MB	Megabyte
MIDI	Musical Instrument Digital Interface
MM-CD	Multimedia – Compact Disc
MP3	MPEG-1 Audio Layer 3
MPEG	Moving Picture Experts Group
MTBF	Mean Time Between Failures
NARA	National Archives and Records Administration

NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDAD	National Digital Archive of Datasets
NEDLIB	Networked European Deposit Library
NIST	National Institute for Standards and Technology
OAIS	Open Archival Information System
OCR	Optical Character Recognition
PANDORA	Preserving and Accessing Networked Documentary Resources of Australia
PDF	Portable Document Format
PDF-A	Portable Document Format - Archive
PDI	Preservation Description Information
PIE	Parity Inner Errors
POE	Parity Outer Errors
RTF	Rich Text Format
SD-CD	Super Density - Compact Disc
SGML	Standard Generalized Markup Language
SIP	Submission Information Package
SLR	Scalable Linear Recording
SQL	Structured Query Language
TFADI	Task Force on Archiving of Digital Information
TFT	Thin-Film Transistor
TIFF	Tagged Image File Format
UV	Ultraviolettstrahlung
VHS	Video Home System
W3C	World Wide Web Consortium
WORM	Write Once Read Many
XML	Extensible Markup Language

1 Problemstellung und Gang der Untersuchung

In der letzten Eiszeit zeichnete ein Jäger die Tiere, die er erlegen wollte, auf eine Felswand. Vor 5000 Jahren schlug ein ägyptischer Schreiber Hieroglyphen in einen Stein. Die Menschen und ihre Kulturen verschwanden, aber ihre Schriften blieben der Nachwelt erhalten und konnten entschlüsselt werden. All diese Steintafeln und Dokumente bewahren das Wissen unserer Vorfahren für kommende Generationen. Doch welches Wissen können wir zukünftigen Generationen hinterlassen? Seit dem Beginn des „digitalen Zeitalters“ vor etwa dreißig Jahren werden immer mehr Daten auf digitalen Speichermedien gesichert. Laut einer Studie der Universität von Berkeley produziert jeder Mensch jährlich im Schnitt 800 Megabyte an Daten, größtenteils auf magnetischen Speichermedien wie z. B. Festplatten, wobei der Anteil an optischen Speichermedien stark zunimmt (vgl. SIMS 2003). Digitale Dokumente sind zwar ihren analogen Gegenständen in punkto Recherchierbarkeit und platzsparender Lagerung überlegen, haben aber einen entscheidenden Nachteil: Während ein schriftliches Dokument im Prinzip jederzeit lesbar ist, kann ein digitales Dokument nur mit Hilfe elektronischer Geräte und dazugehörigen Programmen ausgewertet werden. Ist der Datenträger beschädigt, die benötigte Software nicht mehr vorhanden oder das verwendete Dateiformat wird nicht mehr unterstützt, können digitale Informationen für immer verloren sein. Aus diesen Gründen sind gerade bei Daten aus dem Beginn des Computerzeitalters massive Verluste zu beklagen. Der schnell voranschreitende technologische Fortschritt trägt hierzu ebenfalls bei: Veraltete Geräte oder Datenträger verschwinden vom Markt, die mit ihnen verbundenen Daten können nicht mehr genutzt werden. Wer heutzutage Daten von einer 5 ¼-Zoll Diskette auslesen möchte, stünde vor einem großen Problem. Es existiert kaum noch ein Laufwerk für dieses Medium, auch die damals genutzte Software und das mit ihr zusammenhängende Dateiformat gehören längst der Vergangenheit an. Nicht zuletzt bereitet die Lebensdauer der Datenträger Schwierigkeiten. Während Steintafeln, Papyrusrollen oder zeitgeschichtliche Dokumente wie z. B. die Gutenberg-Bibel die Jahrhunderte

überdauern, besitzen magnetische oder optische Datenträger im besten Fall nur eine Lebensspanne von einigen Jahrzehnten. Aufgrund des zu erwartenden Verlustes eines großen Teils unseres digital gespeicherten Kulturerbes befürchten Informationsspezialisten, Historiker und Philosophen, dass unsere Ära in der Zukunft als „digitales Mittelalter“ angesehen wird. „As we move into the electronic era of digital objects it is important to know that ... we are moving into an era where much of what we know today, much of what is coded and written electronically, will be lost forever. We are ... living in the midst of digital Dark Ages (...)” (KUNY 1998) Unter diesen Voraussetzungen erscheint es immer wichtiger, elektronische Dokumente für die Zukunft zu sichern und bewahren.

Zum besseren Verständnis werden im folgenden Kapitel einige Grundbegriffe der digitalen Langzeitarchivierung erläutert. Im nächsten Kapitel werden gängige Speichermedien mit ihren technischen Spezifikationen und ihrer Lebensdauer im Bezug auf die Langzeithaltbarkeit vorgestellt. Hierbei gilt die besondere Aufmerksamkeit den weit verbreiteten optischen Speichermedien CD und DVD. In Kapitel 4 soll das OAIS-Referenzmodell zur langfristigen Speicherung elektronischer Dokumente vorgestellt werden, welches mit dem ebenfalls behandelten DSEP-Dokumentensystem erstmals in einem elektronischen Archiv in die Praxis umgesetzt wurde. Kapitel 5 beinhaltet verschiedene Strategien für die Langzeitarchivierung, besonders das Migrations- und Emulationsverfahren werden hier als mögliche Lösung genannt. Bevor im letzten Kapitel eine zusammenfassende Betrachtung mit Ausblick vorgenommen wird, befasst sich das Kapitel sechs mit der Diskussion der erwähnten Problemfelder und Lösungsstrategien.

2 Begriffsdefinitionen

Zum besseren Verständnis sei es hier angebracht, die Grundbegriffe des Themas „Technische Aspekte digitaler Langzeitarchivierung“ näher zu erläutern.

Zunächst soll auf den Begriff Langzeitarchivierung eingegangen werden. Schwens und Liegmann definieren „Langzeit“ wie folgt:

'Langzeit' ist die Umschreibung eines nicht näher fixierten Zeitraumes, währenddessen wesentliche nicht vorhersehbare technologische und soziokulturelle Veränderungen eintreten, die sowohl die Gestalt als auch die Nutzungssituation digitaler Ressourcen in rasanten Entwicklungszyklen vollständig umwälzen werden (SCHWENS, LIEGMANN 2004)

Die Langzeitarchivierung soll also keinen bestimmten Zeitraum beinhalten, sondern umfasst alle Maßnahmen, die dazu dienen sollen, digitale Dokumente dauerhaft für die Nachwelt zu Bewahren und den Zugriff auf sie zu erhalten, auch wenn sich die technischen Rahmenbedingungen seit der Erstellung des Dokuments grundlegend geändert haben. Wie ein digitales Dokument aufgebaut ist, wird wie folgt erklärt:

Ein digitales Dokument besteht aus dem digitalen Dokumenteninhalt und den zum Dokument gehörigen Metadaten. Der digitale Dokumenteninhalt ist als ein Strom (Folge) von Zeichen eines endlichen Zeichensatzes A codiert. Zu den Metadaten gehört die Angabe des zur Codierung des Dokumenteninhalts verwendeten Zeichensatzes A sowie weitere Angaben (u. a. Autor, Titel). Die Metadaten sind als Folgen eines (Basis-)Zeichensatzes B codiert. Die Zeichensätze A und B können, müssen aber nicht übereinstimmen. Die Struktur der Metadaten und der zugrunde liegende Zeichensatz B sind archivabhängig festgelegt (BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003, S.11).

Bei den Metadaten muss man zwischen den bibliographischen Metadaten sowie den technischen Metadaten unterscheiden. Die bibliographischen Metadaten beinhalten Angaben, die das Dokument eindeutig identifizieren, wie z. B. Autor, Titel, Verlag oder Erscheinungsjahr. Die technischen Metadaten dienen speziell für die Langzeitarchivierung.. Sie beinhalten Angaben zu:

- Codierung und Datenformat ; diese Angaben sind zum Lesen des Dokuments unbedingt erforderlich.
- „Migrationshistorie“ ; diese Angaben geben Auskunft über den Originalzustand des Dokuments.
- Copyright-Vermerke u. ä. ; hier werden Angaben über die legalen und sonstigen Konditionen des Dokuments gemacht (vgl. BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003, S.10).

Die „technischen Aspekte“ der Langzeitarchivierung können viele Funktionen beinhalten. Zum einen beschreiben sie die Wertbeständigkeit der Speichermedien, zum anderen gehören hierzu die verschiedenen

Lösungsansätze der eingangs beschriebenen Probleme der Langzeitarchivierung. Hierzu gehören z. B. die Strategien der Migration, Emulation oder das OAIS-Modell, welche in den folgenden Kapiteln ausführlich behandelt werden sollen.

3 Aufbau und Beständigkeit von Speichermedien

3.1 Mikrofilm als analoges Speichermedium

Der Mikrofilm ist ein besonders im Bibliotheks- und Archivbereich weitverbreiteter analoger Datenträger. Er kommt dort zum Einsatz, wo große Mengen an Daten über einen langen Zeitraum revisions sicher und unveränderbar gespeichert werden müssen sowie zur Sicherung von Publikationen, die vom Verfall bedroht sind. Seine Entwicklung durch den französischen Fotografen René Dagron ist datiert auf das Jahr 1859. Das heute noch gebräuchliche 16-mm Format wurde erstmals 1925 zur Mikroverfilmung von Schecks eingesetzt (vgl. www.heritagemicrofilm.com. 13.05.2006).

Der Mikrofilm ist wie folgt aufgebaut: Unter einer Schutzschicht befindet sich eine lichtempfindliche Emulsionsschicht, bestehend aus Silberhalegonidkristallen oder einer Verbindung aus Diazoniumsalzen, auf der die Bilder gespeichert werden. Darunter ist eine Lichthofschutzschicht platziert, welche die Lichtstreuung innerhalb der Schicht reduziert. Darauf folgt eine Trägerschicht aus flexiblem Polyester oder Zellulose-Acetat, welche für die Filmdicke sowie die Maßhaltigkeit¹ des Films verantwortlich ist. Unter dieser Schicht befindet sich noch eine Antistatiksenschutzschicht, welche elektrische Ladungen ableiten soll.

Die Spezifikationen für Mikrofilme sind in verschiedenen DIN- und ISO-Normen festgelegt. Verwendete Filmbreiten sind 16, 35 bzw. 105 mm. Die Speicherkapazität richtet sich nach der Filmbreite, Filmlänge sowie dem verwendeten Verkleinerungsfaktor². So können z. B. auf einem Meter Mikrofilm im 16 mm Format 380 DIN-A4 Seiten bei einer etwa 50-fachen Verkleinerung

¹ Unter Maßhaltigkeit wird die Beständigkeit des Materials gegen Dehnung und Schrumpfung bezeichnet

² Standardisierte Verkleinerungsfaktoren sind 1:20, 1:24, 1:32, 1:40, 1:42, 1:48 und 1:96 für 16mm-Mikrofilme, sowie 1:7,5, 1:10,5, 1:14,8, 1:21, 1:29,7 für 35mm-Mikrofilme

untergebracht werden. Geht man von einer Dateigröße von 50 KB pro Seite aus, passen auf einen Meter 19 MB, was bei einer Filmlänge von 65 Metern einer Kapazität von 1,2 GB entspricht (vgl. AWV 2004, S. 21-24).

Ein großer Vorteil des Mikrofilms ist seine hohe Lebensdauer, die je nach verwendeten Materialien mehrere hundert Jahre betragen kann, vorausgesetzt die empfohlenen Lagerungsbedingungen werden eingehalten. Filme die auf Diazoniumsalzen basieren besitzen eine geringere Lebenserwartung von etwa 30 bis 100 Jahren und werden aufgrund ihrer Unempfindlichkeit gegen mechanische Belastung als Arbeitskopie eingesetzt. Dagegen bieten Silberhalegonidfilme eine wesentlich längere Lebensdauer, die mittels Alterungstests bei erhöhter Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf bis zu 1000 Jahren geschätzt wurde (vgl. FELDMANN 2000 ; WEBER 1992, S. 117-120). Zur optimalen Lagerung wird eine Temperatur von 21 Grad Celsius empfohlen, die relative Luftfeuchtigkeit sollte möglichst gering sein, bei einer Langzeit-Haltbarkeit von mindestens 30 bis 100 Jahren für Originalfilme je nach Trägermaterial zwischen 15 und 60 Prozent, bei Duplikatfilmen zwischen 15 und 30 Prozent. Für einen Zeitraum über 100 Jahren wird eine relative Luftfeuchtigkeit von 15 bis 40 Prozent bei Filmen mit Zellulose-Acetat als Trägermaterial angegeben, bei Polyester zwischen 30 – 40 Prozent (vgl. AWV 2004, S. 26).

Da es sich bei Mikrofilmen um ein analoges Speichermedium handelt, sind hierauf gespeicherte Daten nur mittels eines speziellen Lesegeräts auszuwerten. Die Vorteile digitalen Zugriffs und digitaler Erschließung können hier also nicht genutzt werden. Allerdings wurden schon in den siebziger und achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts Verfahren entwickelt, mit denen digitale Daten direkt auf Mikrofilm gespeichert werden können. Diese Technik wird *Computer Output on Microfilm (COM)* genannt. Wurden in diesem Verfahren bisher Speichervorgänge auf nicht archivfähigen Filmmaterial durchgeführt, sind moderne COM-Anlagen mittlerweile in der Lage, Daten auf langzeitstabilen, polyesterbasierten Mikrofilmen sowohl in schwarz-weiß als auch in Farbe zu speichern. Darüber hinaus sind diese Geräte teilweise auch in der Lage, Metadaten ebenfalls auf dem Film zu sichern. Durch spezielle Mikrofilmscanner für die Redigitalisierung

können die analog gespeicherten Daten wieder in elektronischen Arbeitsprozessen genutzt werden. Beispielsweise kann ein auf Mikrofilm gespeichertes Textdokument mittels OCR³-Software wieder zur digitalen Verwendung zurückgeführt werden, etwa zum Durchsuchen oder zur Weiterverarbeitung mit Hilfe von Textverarbeitungsprogrammen.

Zur Zeit sind zwei Verfahren zur Speicherung von digitalen Daten bekannt, das Laserverfahren sowie das Display-Verfahren. Beim Laserverfahren, welches vom Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik unter dem Namen „ArchiveLaser⁴“ entwickelt wurde, wird das digitale Bild in seine Farbkanäle zerlegt und auf einen roten, grünen und blauen Laser übertragen. Ein Bild wird in etwa 15.000 Zeilen zu je 10.000 Bildpunkten aufgeteilt, die nun Zeile für Zeile auf den Film geschrieben werden, wobei dieser Vorgang pro Bild etwa 40 Sekunden betragen soll.

Beim Display-Verfahren, angeboten von mehreren Entwicklern in unterschiedlichen Gerätevariationen, erscheint das digitale Bild auf einem TFT-Flachdisplay, von wo es abfotografiert und auf den Mikrofilm gespeichert wird. Von der Firma Staude⁵ werden zwei Geräte angeboten, welche mit diesem Verfahren arbeiten: der „File-Converter 16/35“ sowie „Digi-Fiche“, die gängige Formate wie JPEG, GIF, TIFF oder PDF unterstützen. Allerdings wird die maximale Größe der verwendeten Dateien auf das Format DIN-A2 beschränkt. Größere Dateien müssten in der Auflösung verringert oder verkleinert werden, um auf das TFT-Display zu passen, was zu Qualitätseinbußen führen kann. Ein weiterer Nachteil besteht bei der Verwendung von Farbfilm, da sich hier die Belichtungszeiten erheblich erhöhen. Das Unternehmen Microarchiv arbeitet derzeit an einem Verfahren, mit dem die Problematik der Größenbeschränkung beseitigt werden könnte. In diesem „Kachel-Verfahren“ werden die Bilder in einzelne Teile zerlegt, die auf dem Film wieder zu einem Gesamtbild zusammengesetzt werden. Damit können digitale Bilder in beliebiger Dateigröße ohne Qualitätsverlust gespeichert werden. Allerdings sind Geräte dieses Typs

³ OCR = Optical Character Recognition, ein Verfahren zur automatischen Texterkennung

⁴ siehe auch hierfür unter

http://www.ipm.fraunhofer.de/fhg/ipm/anwendungen_maerkte/laserbelichtung/archivlaser/index.jsp

⁵ siehe hierfür unter http://www.e-staude.com/fc_ger/p06_konvertierungssysteme.php

noch in der Entwicklung und daher noch nicht nutzbar (vgl. COY 2006, S. 25-26 ; FISCHER 2005).

Allgemein ist festzustellen, dass dieser Wechsel von digitalen zu analogen Speichermedien besonders bei Texten und unstrukturierten Dateien gut anwendbar ist, während multimediale Anwendungen grundsätzlich nicht zur Speicherung auf Mikrofilm geeignet sind. Nachteilig wirkt sich die Tatsache aus, dass gewisse Dateieigenschaften, wie Formeln in Tabellen oder Sicherheitsmerkmale wie digitale Wasserzeichen bei der Speicherung auf Mikrofilm verloren gehen. Gegenüber anderen Speichermedien hat der Mikrofilm allerdings den Vorteil seiner äußerst langen Lebensdauer, welches wohl am besten durch den Werbeslogan „Digital for now, analog for ever⁶“ ausgedrückt werden kann.

3.2 Magnetische Speichermedien

3.2.1 Bandspeichermedien

Bandlaufwerke, auch Streamer genannt, dienen als Speichermedium für die Sicherung und Archivierung großer Datenmengen und wurden schon zu Beginn der 1950er Jahre als Ersatz für die Lochkarte eingesetzt. Zur Speicherung der Daten wird Magnetband verwendet, welches aus einem Kunststoffband besteht, das auf zwei Spulen aufgewickelt wird. Dieses Band ist aus einer dünnen Polyesterfolie, auf welcher eine magnetische Schicht aus Eisenoxyd oder Chromdioxid angebracht ist. Wurden früher noch Bänder in offenen Spulen verwendet, ist man in den letzten zwanzig Jahren dazu übergegangen, sie in festen Gehäusen unterzubringen. Beim Speichervorgang wird das Magnetband von der Vorratsspule an einem Schreib-Lese-Kopf vorbeigeführt und auf der Aufnahmespule aufgerollt. Die Aufzeichnung erfolgt sequenziell, d. h. dass die Daten nur in der Reihenfolge gelesen werden können, in der sie gespeichert wurden (vgl. LIPINSKI 2005, S. 6–25 ; IRLBECK, LANGENAU, MAYER 2002, S. 515). Es existieren insgesamt zwei Aufzeichnungsformate: Linearaufzeichnung

⁶ siehe hierfür <http://www.mikrofilm.at>

(Linear Serpentine) sowie Schrägspuraufzeichnung (Helical Scan). Bei der Linearaufzeichnung werden die Daten in Spuren geschrieben, die parallel in Längsrichtung des Bandes verlaufen. Ist das Band am Ende angekommen, wechselt die Aufzeichnungsrichtung, wobei es auf diese Art mehrfach bearbeitet werden kann und die Daten in einer langen, serpentinenförmigen Schleife angeordnet werden. Beim Schrägspurverfahren kommt eine Technik zum Einsatz, die auch schon bei VHS-Videobändern verwendet wird. Hier werden die Daten auf Spuren geschrieben, welche schräg zur Bewegungsrichtung des Bandes liegen, wobei sich das Band in einer Kassette mit zwei Spulen befindet. Während des Aufzeichnungsvorgangs wird das Band herausgezogen und an einer schräg angebrachten, rotierenden Trommel mit Schreib- bzw. Leseköpfen vorbeigeführt. Dies hat den Vorteil, das es in einem einzigen Durchlauf vollständig beschrieben werden kann (vgl. ADELBERGER 2004, S. 22). Da das Medium Magnetband auf eine lange Geschichte zurückblicken kann, haben sich über die Jahre diverse Formate mit unterschiedlichen Kapazitäten entwickelt, auf dessen technische Details hier nicht weiter eingegangen werden soll. Die heute gebräuchlichen Standards sind:

Format	Aufzeichnungstechnik	Speicherkapazität
DDS (Digital Data Storage)	Helical Scan	Von 12 GB (DDS-3) bis 36 GB (DDS-5)
AIT (Advanced Intelligent Tape)	Helical Scan	100 GB (AIT-3) bzw. 200 GB (AIT-4)
AIT Turbo	Helical Scan	20 GB bis 80 GB
S-AIT	Helical Scan	500 GB (S-AIT-1)
LTO (Linear Tape Open)	Linear	100 GB (LTO-1) bis 400 GB (LTO-3)
DLT VS (Digital Linear Tape)	Linear	80 GB
SDLT	Linear	160 GB (SDLT 320) bis 300 GB (SDLT 600)
SLR (Scalable Linear Recording)	Linear	4 GB (SLR 5) bis 70 GB (SLR 140)

Tab. 1: Gebräuchliche Standardformate für Bandspeichermedien (FEDDERN 2005, S. 190)

Bezüglich der Lebensdauer des Magnetbandes spielen verschiedene Faktoren eine Rolle. Zum einen werden die Bänder bei der Benutzung einer mechanischen Belastung ausgesetzt. Daher ist die Nutzungsdauer auf eine bestimmte Anzahl von Schreib- und Lesezyklen beschränkt. Wird das Band vom Anfang bis zum Ende durchgespult, spricht man von sogenannten „Passes“. Die zulässigen Zyklen werden ermittelt, indem man die Passes durch die Anzahl der benötigten Durchläufe pro Backup teilt. Hier zeigt sich ein großer Unterschied zwischen den Aufzeichnungsverfahren. Da beim linearen Verfahren im Gegensatz zum Schrägspurverfahren das Band mehrfach hin und her gespult wird, besitzen Medien dieses Typs eine wesentlich geringere Lebensdauer (vgl. WAGNER 2005). Ein weiterer Faktor der Lebensdauer ist die Zusammensetzung des verwendeten Materials und seine Alterungserscheinungen. Ein Magnetband besteht im wesentlichen aus drei verschiedenen Komponenten: Foliensubstrat, Metallpartikeln und Bindemittel. Das Foliensubstrat, welches die Grundlage des Bandes bildet, besteht meistens aus dem Kunststoff Polyethylen Terephthalat, dem ein Weichmacher beigemischt ist, um die Flexibilität des Bandes zu gewährleisten. Da sich dieser Weichmacher mit der Zeit verflüchtigt, kann das Band spröde werden und reißen. Die magnetisch aufgeladenen Metallpartikel sind für die Speicherung der Daten notwendig. Ein Datenverlust kann auftreten, wenn sich die magnetische Polung mit der Zeit abschwächt oder das Material oxidiert. Um diesen Vorgang zu verlangsamen, werden die Metallpartikel mit einer Schutzschicht überzogen, die aber durch die Berührung mit dem Schreib-Lese-Kopf nach und nach abgenutzt wird. Das Bindemittel wird für die Haftung zwischen dem Foliensubstrat und den Metallpartikeln verwendet. Das verwendete Material kann jedoch eine chemische Reaktion auslösen, in dessen Folge die Bandoberfläche beschädigt wird, was im schlimmsten Fall zu einem „Bandsalat“ führen kann (vgl. VAN BOGART 1995, S. 4-8).

Da Magnetbänder gegenüber äußeren Einflüssen äußerst empfindlich reagieren, ist es von großer Wichtigkeit, auf die richtige Handhabung zu achten. So sollten

die Medien in einer sauberen Umgebung benutzt werden, da sie sehr schmutzempfindlich sind. Verunreinigungen durch Berührung der Bandoberfläche, Schmutz oder Staub sowie der Kontakt mit magnetischen Feldern können zu Datenverlust führen und sollten unbedingt vermieden werden. Des weiteren sollten die Bänder stets aufrecht gelagert und niemals aufeinander gestapelt werden. Besonders wichtig ist, die Medien in regelmäßigen Abständen komplett durchzuspulen. Wird dies nicht berücksichtigt, kann es zu einem Durchdrücken von magnetisierten Bandstellen auf andere Bereiche des Bandes führen (vgl. ROHDE-ENSLIN 2004, S. 34-35 ; GSCHWIND 2000, S.19-20).

Um eine möglichst lange Aufbewahrungsdauer zu gewährleisten, ist die Einhaltung der Lagerungsbedingungen unbedingt notwendig. Hier variieren die Bedingungen je nach gewünschtem Einsatz der Magnetbänder. So empfiehlt die *Society of Motion Picture and Television Engineers*⁷ für Bänder, die regelmäßig verwendet werden, eine Lagerungstemperatur von 17 bis 25 Grad Celsius und eine Luftfeuchtigkeit von 30 bis 70 Prozent. Sollen die Medien für einen langen Zeitraum gelagert werden, wird eine starke Absenkung der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit gefordert, um chemische Prozesse, die dem Material zusetzen können, zu verlangsamen. Zu diesem Zweck wird eine Temperatur von 10 Grad Celsius sowie eine Luftfeuchtigkeit von 20 bis 50 Prozent empfohlen. Des weiteren sollten starke Temperaturschwankungen unbedingt vermieden werden, da sich das Band hierdurch auseinander dehnt bzw. zusammenzieht, was besonders beim Schrägspuraufzeichnungsverfahren zu einer Verschiebung der Aufzeichnungsspuren führen kann. Vorausgesetzt, die empfohlenen Bedingungen werden über den gesamten Lagerungszeitraum eingehalten, kann eine Lebensdauer von bis zu zwanzig Jahren bei SLR-Medien bzw. von bis zu dreißig Jahren bei DDS, AIT, DLT, S-DLT und LTO-Bändern erreicht werden (vgl. WAGNER 2005 ; VAN BOGART 1995, S. 18-20). Da diese Dauer für eine Langzeitarchivierung nur bedingt geeignet ist, wird meistens dazu übergegangen, Daten mittels automatischen Bandsicherungssystemen auf neue Medien zu übertragen. Allerdings spielt die eingesetzte Hardware eine wichtige Rolle für die langfristige Verwendung von Magnetbändern. Weil die Hersteller die

⁷ <http://www.smpte.org>

Speicherkapazitäten immer weiter erhöhen, indem die Daten in dichter Folge auf die Medien geschrieben werden, zieht dies die Entwicklung von entsprechender Hardware nach sich. Dies hat den Nachteil, dass schon nach wenigen Jahren für beschriebene Bänder weder kompatible Lese- noch Schreibgeräte vorhanden sein können. So hängt die Verwendung von Magnetbändern zur langfristigen Archivierung im wesentlichen von der Kompatibilität der Medien mit den entsprechenden Bandspeicherlaufwerken ab (vgl. WAGNER 2005 ; ROHDE-ENSLIN 2004, S. 35).

3.2.2 Diskette

Die Diskette, auch bekannt unter dem Namen *Floppy Disk*, ist ein weitverbreiteter magnetischer Datenträger. Sie besteht aus einer dünnen, kreisförmigen Scheibe, die auf beiden Seiten mit magnetisierbarem Material beschichtet ist. Um diese äußerst empfindliche Scheibe vor äußeren Einflüssen zu schützen ist sie mit einer Schutzhülle aus Kunststoff überzogen, die je nach Diskettentyp entweder aus elastischem oder starren Material besteht. Daten werden auf der Diskette gespeichert, indem durch den Schreib-Lese-Kopf des Diskettenlaufwerks mittels eines elektrischen Impulses ein Magnetfeld auf der Diskettenoberfläche erzeugt wird. Die so entstandenen magnetischen Informationen werden beim Lesevorgang wieder in elektrische Spannung umgewandelt, die als binäre Informationen interpretiert werden.

Es existieren insgesamt drei unterschiedliche Diskettenformate mit verschiedenen Größen und Speicherkapazitäten:

- Die 8-Zoll Diskette (200 mm Durchmesser), entwickelt 1971 von IBM, und damit die erste Diskette überhaupt. Sie besaß eine Kapazität von anfangs 80 Kilobyte, in späteren Ausführungen bis zu 1000 Kilobyte.
- Die 5 ¼-Zoll Diskette (130 mm Durchmesser) wurde 1976 von Alan Shugart entwickelt, welcher auch schon maßgeblich an der Entwicklung der 8-Zoll Diskette beteiligt war. Die Speicherkapazität bewegt sich hier zwischen 100 KB und 1,2 Megabyte.

- Die heute noch gebräuchliche 3 ½-Zoll Diskette (89 mm Durchmesser) wurde erstmals 1981 von Sony entwickelt. Im Gegensatz zu den anderen Modellen ist diese von einer Hartplastikhülle ummantelt, welche den Bereich, der vom Schreib-Lese-Kopf abgetastet wird, mit einer Schiebeklappe schützt, die beim Einlegen in das Laufwerk zur Seite geschoben wird. Auf eine 3 ½-Zoll Diskette passen 1,44 Megabyte an Daten (vgl. IRLBECK, LANGENAU, MAYER 2002, S.236–238).

Magnetische Speichermedien wie die Diskette sind einer natürlichen Alterung ausgesetzt. Besonders Magnetfelder in der Lagerungsumgebung der Diskette können zu Datenverlust führen, hierzu zählt auch das Erdmagnetfeld. Des Weiteren löst sich mit der Zeit die magnetische Beschichtung der Kunststoffscheibe. Da der Schreib-Lese-Kopf direkt in Kontakt mit der Diskettenoberfläche gerät, kommt es auch zu einem mechanischen Verschleiß. Bezüglich der Haltbarkeit des Datenträgers gibt es unterschiedliche Aussagen. Der Hersteller Imation gibt eine Lebensdauer von 100 Jahren für 3 ½-Zoll Disketten an, allerdings nur unter bestimmten Lagerungsbedingungen (4 – 53 Grad Celsius, 8 – 90 Prozent relative Luftfeuchtigkeit) (vgl. IMATION 2004, S. 54). Andere Quellen gehen von einer weitaus niedrigeren Lebensdauer aus. So können fehlerhafte Datenträger schon nach ein bis zwei Jahren auftreten, im günstigsten Fall wird eine Haltbarkeit von 10 bis 20 Jahren angegeben, was eine Verwendung als Archivmedium ausschließt (vgl. RATHJE 2002, S. 120 ; DIEDRICH, RABANUS 2000, S. 106 ; HENZE 1999, S. 15). Da heutige Datenbestände weitaus umfangreicher sind, kann eine Diskette mit ihrer maximalen Kapazität 1,44 MB modernen Ansprüchen nicht mehr gerecht werden und wird nur noch zum Austausch und Transport von kleineren Dateien verwendet. Obwohl heutige PCs häufig ohne Diskettenlaufwerk ausgeliefert werden und die Diskette von leistungsfähigeren Speichermedien abgelöst wurde, ist dieses Medium immer noch weit verbreitet. So wurden im Jahr 2003 weltweit über 1,5 Milliarden Disketten verkauft (vgl. FRÖHLICH 2003). Als Alternative zur herkömmlichen Diskette wurde 1995 von der Firma Iomega die Zip-Diskette entwickelt, welche nur in einem speziellen Laufwerk genutzt werden kann. Dieses

Medium hatte anfangs eine Kapazität von 100 MB, spätere Versionen konnten 250 bzw. 750 MB speichern. Allerdings konnte sich dieses System auf dem Markt trotz anfänglich guter Verkaufszahlen - laut Iomega wurden bis 2001 42 Millionen Zip-Laufwerke verkauft – nicht durchsetzen. Gründe hierfür waren die Einführung wiederbeschreibbarer optischer Speichermedien sowie wiederholte Fälle, in denen ein verschmutzter oder fehlerhaft justierter Schreib-Lese-Kopf zu einem Headcrash⁸ führte, der sowohl Medium als auch Laufwerk beschädigen oder zerstören kann (vgl. IRLBECK, LANGENAU, MAYER 2002, S. 952 ; www.golem.de. 16.04.2006).

3.2.3 Festplatte

Die Festplatte, auch bekannt unter den Namen *Hard Disk* oder *Hard Disk Drive*, ist ein magnetisches Speichermedium. Sie wurde bereits erstmals im Jahr 1956 von IBM vorgestellt und seither ständig im Bezug auf die verwendete Technik und Speicherkapazität weiterentwickelt. Dieses erste Modell einer Festplatte beinhaltete 50 Speicherplatten mit einem Durchmesser von je 61 cm und konnte eine maximale Kapazität von 5 MB erreichen. 1973 wurde von IBM das „Winchester“-Projekt gestartet, welches die Entwicklung eines rotierenden Speichers in einem fest montierten Medium realisierte. Diese ersten Winchester-Laufwerke wiesen noch eine Größe von acht Zoll auf und konnten maximal 30 MB speichern. Im Laufe der Jahre schrumpften die Ausmaße der Festplatten , während die Kapazität stark anstieg. Heute üblich sind Formate von 5,25 Zoll, sowie kleinere Modelle mit 3,5 , 2,5 oder 1,8 Zoll Durchmesser, die in Laptops, Camcordern oder MP3-Spielern Verwendung finden. Da es heutzutage möglich ist, auf immer weniger Fläche zu speichern, passen wesentlich mehr Daten auf eine Festplatte. Waren es bei der ersten Festplatte noch 2000 Bit pro Quadratzoll, passen auf heutige Festplattengenerationen zwischen 30 und 100 Gigabit pro Quadratzoll. So bewegen sich die Kapazitäten heute im dreistelligen Gigabyte-

⁸ Siehe hierfür Punkt 3.2.3

Bereich (vgl. STRASS 2001, S. 2). Das momentane Maximum bewegt sich beim Modell „Barracuda 7200/10“ der Firma Seagate⁹ bei 750 GB (vgl. KOLOKYTHAS 2006).

Der Aufbau einer Festplatte besteht im wesentlichen aus mehreren konzentrisch übereinander angeordneten, kreisrunden Aluminiumscheiben, die auf beiden Seiten mit magnetisierbaren Material beschichtet sind. Da diese Platten äußerst empfindlich sind, werden sie in einem hermetisch versiegelten Metallgehäuse untergebracht, um sie vor Berührung, Staub, Schmutz und Feuchtigkeit zu schützen. (vgl. www.itwissen.info. 24.05.2006 ; IRLBECK, LANGENAU, MEYER 2002, S. 309). Die Scheiben werden mittels eines Motors zum drehen gebracht, wobei hier eine modellabhängige Rotationsgeschwindigkeit von 4000 bis 15000 Umdrehungen pro Minute¹⁰ erreicht werden kann. Für jede Scheibe sind zwei Schreib-Lese-Köpfe vorhanden, die durch ein durch die Rotation verursachtes Luftpolster in einem Abstand von nur 10 bis 20 Nanometern über der Oberfläche schweben, ohne sie zu berühren. Beim Schreibvorgang werden nun wie bei der Diskette die Magnetpartikel der Oberfläche in ihrer Polarität entsprechend dem gespeicherten Binärkode geändert¹¹ (vgl. STRASS 2001, S. 3-6).

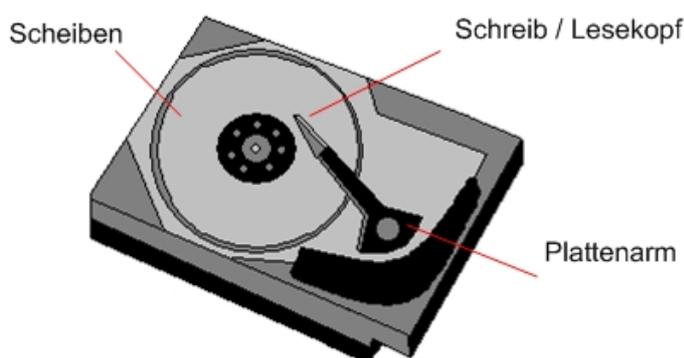


Abb. 1: Wichtige Komponenten eines Festplattenlaufwerks

Obwohl moderne Festplatten eine gewisse Stabilität besitzen, gibt es diverse Ursachen, die zu einem teilweisen oder auch totalen Verlust von Daten führen

⁹ <http://www.seagate.com>

¹⁰ zum Vergleich: bei einer Diskette beträgt die Rotationsgeschwindigkeit etwa 300 U/min

¹¹ Für Nullen laufen die Feldlinien des Magnetfeldes von links nach rechts und für Einsen von rechts nach links

können. Defekte an der Festplatte sind in der Regel auf Schäden in der Mechanik oder der Elektronik zurückzuführen. Elektronikschäden entstehen meist durch zu hohe Versorgungsspannungen, wie bei Blitzeinschlag oder defekten Netzteilen. Da Festplatten aus beweglichen Teilen bestehen, kommt es bei längerer Nutzungsdauer zu einem physikalischen Verschleiß. So kann das Kugellager einer Festplatte oder der Motor beschädigt werden, was zu Ausfällen führt. Besonders empfindlich reagieren die Geräte auf äußere Einwirkung, was im schlimmsten Fall zu einem sogenannten *Headcrash* führen kann. Der Headcrash zählt zu den am häufigsten auftretenden Defekten bei Festplatten, 60 Prozent aller beschädigten Festplatten sind auf ihn zurückzuführen. Als Headcrash wird das Aufschlagen des Schreib-Lese-Kopfes auf die Oberfläche der magnetischen Scheibe bezeichnet, wobei der aufliegende Schutzfilm durchschlagen und die Magnetschicht beschädigt wird. Dieses kann verschiedene Ursachen haben. Meistens liegt es an einer starken Erschütterung der Festplatte, wobei die Platten und der Plattenarm in Schwingungen geraten und der Schreib-Lese-Kopf auf die Oberfläche aufschlägt. Ein weiterer Grund ist starke Hitzeeinwirkung durch unzureichende Kühlung. Hierdurch wird der Schutzfilm harzig und der Magnetkopf kann im Falle einer Berührung in diesem hängen bleiben, was zu irreparablen Schäden führen kann (vgl. VILSBECK 2001, S. 1-6).

Wie lange eine Festplatte haltbar ist, lässt sich schwer voraussagen, da hier diverse Faktoren eine Rolle spielen, wie zum Beispiel die Handhabung, Lagerung sowie die Häufigkeit der Zugriffe. Außerdem können Geräte verschiedener Hersteller in Sachen Zuverlässigkeit und Qualität erheblich voneinander abweichen. Von Seiten der Hersteller werden meist Angaben zur Lebenserwartung gemacht, diese werden mit dem Kürzel MTBF¹² bezeichnet und sollen die fehlerfreie Haltbarkeit in Stunden angeben. Heute üblich ist ein MTBF-Wert von über einer Million Stunden, was theoretisch einen fehlerfreien Betrieb von 114 Jahren entspricht. Diese Zahl ist jedoch irreführend, da die Komponentenlebensdauer nur auf fünf Jahre festgelegt ist. Des Weiteren kann sich die magnetische Beschichtung der Speicherplatten ablösen, daher ist es

¹² MTBF steht für Mean Time Between Failures und beschreibt die mittlere Zeitdauer zwischen zwei Ausfällen

realistischer, eine ungefähre Lebensdauer zwischen 15 und 20 Jahren anzunehmen (vgl. VILSBECK 2002, S. 3-4 ; DIEDRICH, RABANUS 2000, S. 106).

3.3 Optische Speichermedien

3.3.1 Geschichte und Funktionsweise der Compact Disc (CD)

In den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts wurde von Seiten der führenden Elektronikkonzerne die Entwicklung eines Speichermediums für die digitale Aufzeichnung von Klängen vorangetrieben. Um auszuschließen, dass verschiedene, untereinander konkurrierende Standards entwickelt werden, beschlossen die Firmen Sony und Philips im August 1979 ihre Zusammenarbeit. Unstimmigkeiten herrschten zunächst in der Frage über die Speicherkapazität des neuen Mediums. Während Philips eine maximale Aufnahmelänge von 60 Minuten bei einem Durchmesser von 11,5 Zentimetern favorisierte, forderte Sony eine Aufnahmezeit von 75 Minuten bei 12 Zentimetern Durchmesser. Da der damalige Vizepräsident von Sony, ein ehemaliger Opernsänger, unbedingt Beethovens neunte Sinfonie in voller Länge auf dem Datenträger unterbringen wollte, wurde die seinerzeit längste Version von 74 Minuten zum Standard für das neue Medium, das den Namen *Compact Disc Digital Audio System* erhielt (vgl. www.sony.net. 23.03.06).

Die physikalischen Eigenschaften der Compact Disc wurden von Sony und Philips 1980 im sogenannten „Red Book“-Standard festgelegt, welcher auch als Grundlage für alle nachfolgenden CD-Formate dient. Entsprechend diesem Standard besitzt eine Compact Disc einen Durchmesser von 120 mm und eine Höhe von 1,2 mm. Auf ihr können 74 Minuten Musik in Stereo-Qualität gespeichert werden, maximal sind 99 Tracks (Titel) möglich, jeder Track muss eine Länge von vier Sekunden haben (vgl. AWW 2004, S.94). Eine CD ist in die folgenden drei Bereiche aufgeteilt: *Lead-in-Bereich*, beinhaltet das Inhaltsverzeichnis, in dem der Beginn der Titel registriert ist, *Programmbereich*,

in dem die eigentlichen Daten gespeichert sind, sowie der *Lead-out-Bereich*, der keine Daten enthält und als Hilfe für das Abspielgerät dient, falls über den Programmbereich hinaus gelesen wird (vgl. STEINMETZ 2000, S. 203).

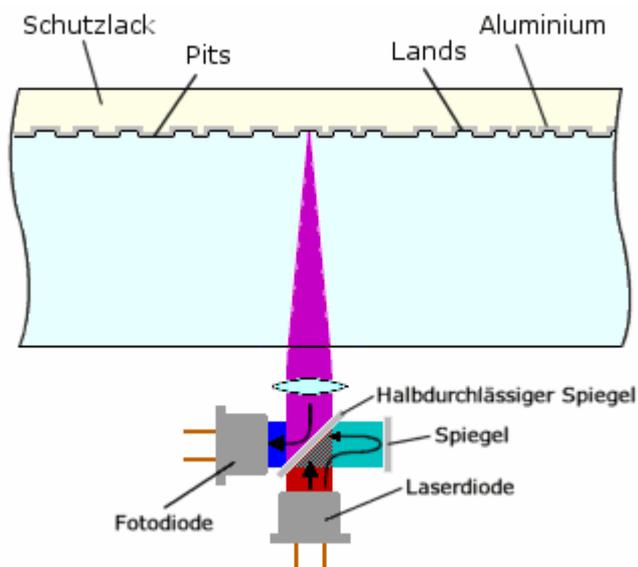


Abb. 2: CD im Querschnitt, Abtastung eines Lands (www.elektronikinfo.de)

Der physikalische Aufbau einer CD ist wie folgend beschrieben: In einer Substratschicht bestehend aus einer Polykarbonatverbindung befindet sich eine regelmäßige Folge von Vertiefungen und Erhöhungen, den sogenannten *Pits* und *Lands*. Diese sind auf einer Spiralförmig von der Innenseite ausgehenden Spur angeordnet, wobei die Pits nur $0,5\ \mu\text{m}$ breit¹³, zwischen 1 und $3\ \mu\text{m}$ lang und $0,15\ \mu\text{m}$ tief sind. Der Abstand zwischen den einzelnen Rillen der Spur beträgt $1,6\ \mu\text{m}$. Die Spur ist unterteilt in Sektoren¹⁴, wobei ein Sektor die kleinste adressierbare Einheit auf einer CD darstellt und 2352 Bytes enthält. Die physikalische Adresse eines Sektors wird in Minuten, Sekunden und Frames angegeben, wobei ein Frame $1/75$ einer Sekunde entspricht, d.h. beim Abspielen einer Audio-Datei müssen genau 75 Sektoren (Frames) pro Sekunde gelesen werden. (vgl. AWV 2004, S. 94)

¹³ Ein Mikrometer (μm) entspricht 1 Millionstel Meter

¹⁴ Statt Sektor wird bei einer Audio-CD oft auch der Begriff „Frame“ verwendet, der aber nicht mit dem Begriff „Audio-Frame“ verwechselt werden darf. Ein Audio-Frame bezeichnet einen Block von 24 Bytes, 98 Audio-Frames bilden einen Sektor (Frame).

Die geprägte Seite der CD ist gleichmäßig mit einer reflektierenden Aluminiumschicht überzogen, die wiederum mittels einer Lackschicht von äußeren Umwelteinflüssen geschützt wird. Zur Darstellung der Informationen beim Lesen wird die Intensität eines reflektierenden Laserstrahls genutzt, welcher mittels eines halbdurchlässigen Spiegels in zwei Teile gleicher Stärke gespalten wird. Einer der beiden Teilstrahlen wird auf die CD gelenkt, 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*. Hierdurch entstehen zwei unterschiedliche Lichtintensitäten im Summenstrahl, die mit einer Photodiode erfasst und in elektrische Impulse umgewandelt werden. (vgl. STEINMETZ 2000, S. 195-196)

3.3.2 Verschiedene Formate der Compact Disc

Basierend auf der in Punkt 3.3.1 beschriebenen Technologie wurden diverse Nachfolgeformate entwickelt, die im Gegensatz zur ausschließlich für Audiodateien vorgesehenen CD-DA auch in der Lage sind, sowohl Musik- als auch Computerdaten zu speichern. Die wichtigsten Formate werden kurz vorgestellt, während die Digital Versatile Disc (DVD) gesondert in Punkt 3.3.4 behandelt wird.

- **Compact Disc Read Only Memory (CD-ROM¹⁵)**

Bereits im Jahr 1983 wurde von Philips und Sony die Erweiterung des CD-DA Formats angekündigt und 1985 wurde die *Compact Disc Read Only Memory* erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt (vgl. STEINMETZ 2000, S. 194). Als Ergänzung des Red Book Standards dient das *Yellow Book*, in dem es der Audiospur der CD-DA Datenspuren hinzufügt. So kann eine CD-ROM sowohl Datenspuren als auch Audiospuren enthalten, welches man als *mixed-mode CD* bezeichnet. Das *Yellow Book* definiert zwei Arten von Datenspuren: CD-ROM-Modus 1 und CD-ROM-Modus 2, wobei Modus 1 für Computerdaten und Modus

¹⁵ Read-Only-Memory = nur lesbarer Speicher

2 für komprimierte Audio-, Video- und Bilddaten vorgesehen ist. Um die in Modus 1 enthaltenen Daten sicher auslesen zu können, ist eine wirksamere Fehlerkontrolle als bei der CD-DA notwendig. Wie bei der CD-DA besteht die kleinste physikalische Einheit, der Sektor, aus insgesamt 2.352 Bytes. Davon stehen in Modus 1 2.048 Bytes als Nutzdaten zur Verfügung, 288 Bytes sind für die Fehlererkennung (Error detection codes, EDC) und zur Fehlerkorrektur (Error correction codes, ECC) vorgesehen (vgl. ECMA 1996). Falls durch Beschädigung oder Verschmutzung des Datenträgers nicht alle Bytes gelesen werden können, werden EDC und ECC vom CD-ROM-Laufwerk zur Rekonstruktion der Daten verwendet. Durch die Fehlerkorrektur steht damit bei einer komplett in Modus 1 beschriebenen CD-ROM weniger Speicherplatz zur Verfügung, bei insgesamt 330.000 Sektoren sind dies 650 Megabyte, während in Modus 2 durch die nicht notwendige Fehlerkorrektur insgesamt 741,8 Megabyte an Daten geschrieben werden können (vgl. STEINMETZ 2000, S. 206-207).

Da die gleichzeitige Wiedergabe unterschiedlicher Informationsarten nur mangelhaft möglich war, wurde von Philips, Sony und Microsoft der *Compact Disc Read Only Memory Extended Architecture* Standard entwickelt. Dieser erweitert den Standard des *Yellow Book*, indem der Modus 2 der CD-ROM durch zwei Formen ergänzt wird. Form 1 ähnelt dem CD-ROM Modus 1 und ist für empfindliche Computerdaten vorgesehen, inklusive Fehlerkontrolle mittels EDC und ECC., während Form 2 für weniger empfindliche Daten wie Audio- oder Videodateien verwendet wird. Beide Formen enthalten einen sog. Subheader, in dem die Art der genutzten Daten und die Sektorform angegeben wird. Innerhalb einer Spur kann die Form von Sektor zu Sektor wechseln, so können Audio-, Videodateien und Datensektoren in beliebiger Folge aufgezeichnet werden und somit simultan abgespielt werden (vgl. AWW 2004, S. 97). Damit ist die CD-ROM/XA besonders für multimediale Anwendungen geeignet.

- **Compact Disc Recordable (CD-R)**

Die bisher beschriebenen CD-Formate haben aus der Sicht eines Anwenders den Nachteil, dass sie nicht beschrieben werden können. Mit der Entwicklung der *Compact Disc Recordable* wurde es dem Anwender ermöglicht, eine CD einmalig

zu bespielen und diese mehrfach zu lesen. Man spricht hier von einem WORM-Medium (Write Once Read Many) (vgl. STEINMETZ 2000, S. 219). Die CD-R wurde im Jahr 1988 vom japanischen Elektronikkonzern Taiyo Yuden in Zusammenarbeit mit Sony und Philips entwickelt, 1994 kamen die ersten kommerziell hergestellten CD-R auf den Markt. Die technischen Spezifikationen wurden 1990 im sogenannten *Orange Book* veröffentlicht., welches aus drei Teilen besteht:

Teil 1: CD-MO (Magneto-Optische Discs)

Teil 2: CD-R (einmalig beschreibbare CDs)

Teil 3: CD-RW (mehrfach beschreibbare CDs)

Eine CD-R besteht aus einer Kunststoffschicht aus Polycarbonat auf der bereits eine vorgefertigte Spur eingepreßt ist, die vom Lesegerät als eine Folge von Lands interpretiert wird. Auf der Trägerschicht befindet sich eine Farbschicht aus fotosensitiven organischem Material, dem sogenannten Dye. Darüber befindet sich eine Reflexionsschicht aus Gold oder Silber, die wiederum mit einer Schutzschicht überzogen ist. Beim Brennvorgang wird die Farbschicht an bestimmten Stellen durch Einwirkung eines Lasers auf über 250 Grad Celsius erhitzt und damit unumkehrbar verändert. Diese Stellen werden nun als Pits interpretiert (vgl. STEINMETZ 2000, S. 219). Die Datenkapazität einer CD-R liegt wie bei der CD-ROM bei 650 MB oder 74 Minuten Musik. Nach der Erweiterung des Orange-Book Standards 1999 sind auch CD-R mit einer Kapazität von 700 MB bzw. 80 Minuten Musik zulässig (vgl. AWV 2004, S. 28). Die Aufteilung der CD in einen Lead-in, Programm- und Lead-out Bereich wurde bei der CD-R nicht beibehalten, da das Inhaltsverzeichnis (Table of Content) im Lead-in-Bereich erst nach dem Schreiben aller Daten hinzugefügt werden kann. Eine CD-R ohne Inhaltsverzeichnis könnte von keinem Gerät gelesen werden. Daher wurde das Prinzip der Sessions eingeführt, welche die CD in einzelne Bereiche aufteilt. Jede der Sessions hat einen eigenen Lead-in, Programm- und Lead-out Bereich, wodurch nach jedem Schreibvorgang ein entsprechendes Inhaltsverzeichnis zur Verfügung steht. So kann eine CD-R in maximal 99 Sessions partitioniert werden. Ältere, vor 1992 auf dem Markt befindliche Laufwerke konnten nur CD-R mit einer Session lesen. Spätere Modelle,

sogenannte Multisession-Laufwerke waren in der Lage CD-R mit mehreren Sessions zu lesen, diese werden Hybrid CD-R genannt (vgl. STEINMETZ 2000, S. 220). Weil bei einer CD-R bereits geschriebene Daten nicht wieder gelöscht oder verfälscht werden können, wird sie auch als ein revisionssicheres Medium bezeichnet (vgl. AWW 2004, S. 31).

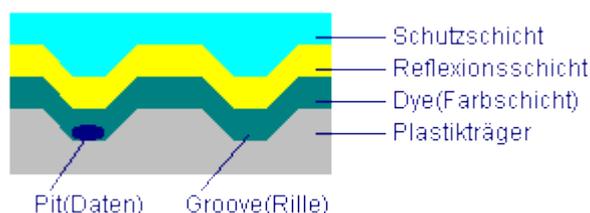


Abb.3: Aufbau einer CD-R (vgl. www.elektronik-kompndium.de)

- **Compact Disc Magneto-Optical (CD-MO)**

Die Compact Disc Magneto-Optical (CD-MO), die im ersten Teil des *Orange Book* spezifiziert wird, kann im Gegensatz zur CD-R mehrfach beschrieben werden. Allerdings unterscheidet sich die CD-MO in Aufbau, Aufzeichnungs- und Leseverfahren von anderen CD-Medien. So befindet sich die CD-MO zum Schutz vor Berührung oder Verschmutzung der Datenfläche in einer speziellen Verhüllung umschlossen, der sogenannten Cartridge. Diese gibt die Datenfläche erst nach dem Einlegen in das Laufwerk frei (vgl. AWW 2004, S. 35). Magneto-Optical Discs werden in unterschiedlichen Größen und Speicherkapazitäten hergestellt. So gibt es eine Version mit 90mm (3,5“) Durchmesser, die bis zu 2,3 GB aufnehmen kann, und eine größere Version mit 130mm (5,25“) Durchmesser und einer Kapazität von bis zu 9,1 GB. Das Aufnahmeverfahren ist, wie der Name des Mediums andeutet, eine Kombination der Verfahren der magnetischen sowie der optischen Speichertechnologie. Dazu wird eine magnetische Aufzeichnungsschicht in der Disc punktuell mittels eines Lasers auf 250 Grad Celsius erhitzt, welches den sogenannten Curie-Punkt markiert, an dem ein Material kurzfristig seine magnetischen Eigenschaften verliert. Hier wird nun ein schwaches Magnetfeld angelegt, um die Oberflächenbeschichtung anhand der zu schreibenden Daten neu zu polarisieren. Die Daten sind gespeichert, nachdem die Temperatur unter dem Curie-Punkt gesunken und die Ummagnetisierung der

Speicherschicht abgeschlossen ist. Mittels eines schwächeren Laserstrahls, welcher an der unterschiedlich magnetisierten Speicherschicht reflektiert wird, können die Daten wieder gelesen werden (vgl. DANNEHL 2004).

Da die Verfahrensweisen bei Speicherung und Lesen der magneto-optischen Disc von der herkömmlichen CD-Technologie abweichen, sind CD-MO nicht mit anderen CD-Systemen kompatibel und können von anderen Laufwerken nicht abgespielt werden (vgl. STEINMETZ 2000, S. 222).

- **Compact Disc Rewritable (CD-RW)**

Die 1996 auf dem Markt erschienene Compact Disc Rewritable, dessen Eigenschaften im dritten Teil des Orange Book definiert sind, ist eine Weiterentwicklung der CD-R, die laut Herstellerangaben bis zu 1000 mal beschrieben werden kann und eine Speicherkapazität von entweder 650 MB oder 700 MB besitzt (vgl. AWW 2004, S.61). Der Aufbau der CD-RW ähnelt dem der CD-R, wobei die reflektierende Schicht hier aus einer Legierung besteht, die eine polykristalline Struktur besitzt. Der Schreibvorgang basiert auf dem Verfahren der *Phase-Change-Technologie*. Dabei wird diese Schicht auf 500 bis 700 Grad Celsius erhitzt, wodurch das Material verflüssigt wird und die Legierung von der polykristallinen Struktur in einen amorphen¹⁶ Zustand wechselt, wobei es seine Reflektionseigenschaft verliert. Beim Lesevorgang werden die polykristallinen Bereiche als Pits und die amorphen als Lands interpretiert (vgl. www.r-z-multimedia.de. 05.04.2006). Da das Laserlicht beim Lesen der CD-RW nur zu 15 bis 20 Prozent reflektiert wird – im Gegensatz zu 65 bis 70 Prozent bei der CD-R - kann es zu Kompatibilitätsproblemen mit älteren CD-DA oder CD-ROM Laufwerken führen, die bei Multiread-Laufwerken der neueren Generation nicht vorkommen (vgl. STEINMETZ 2000, S. 223). Ein Vorteil der CD-RW besteht im Verfahren des *Packet Writing*, mit dem Daten auf einer CD-RW wie bei einer zusätzlichen Festplatte hinzugefügt oder gelöscht werden können, vorausgesetzt ein entsprechendes Laufwerk wird benutzt (vgl. AWW 2004, S. 104). Von der Nutzung zur langfristigen Archivierung digitaler Daten ist bei der CD-RW

¹⁶ In der Physik ist amorphes Material ein Stoff, bei dem die Atome keine geordneten Strukturen, sondern ein unregelmäßiges Muster ausbilden. Regelmäßig strukturierte Materialien heißen Kristalle.

abzusehen, weil Daten mehrfach geschrieben und auch wieder gelöscht werden können, bei fehlerhaften Laufwerken kann eine Löschung auch unbeabsichtigt erfolgen. Damit ist die Revisionsicherheit des Mediums nicht gegeben (vgl. www.bsi.de. [a] 06.04.2006).

3.3.3 Beständigkeit der Compact Disc

Der Vorteil einer Compact Disc besteht darin, dass es sich bei diesem Medium um einen optischen Datenträger handelt. Beim Lesen des Datenträgers findet kein mechanischer Verschleiß statt, da die Informationsabtastung berührungslos erfolgt (vgl. AWW 2004, S. 29). Jedoch wird hiermit nicht automatisch sichergestellt, dass das Medium CD ideal für die langfristige Speicherung von digitalen Daten geeignet ist, da es eine eingeschränkte Lebenserwartung besitzt. Eine CD als Datenspeicher wird in dem Moment unbenutzbar, in dem Störungen im Datenfluss nicht mehr im ausreichenden Maße durch die eingebaute Fehlerkorrektur behoben werden können. Die Haltbarkeit von optischen Speichermedien wie CD-DA, CD-ROM, CD-R oder CD-RW hängt von vielen Faktoren ab, die sowohl von der Handhabung durch den Benutzer als auch äußeren Einwirkungen beeinflusst werden. Die wichtigsten Faktoren sind:

- Medientyp
- Herstellungsqualität des Mediums
- Zustand des Mediums vor der Aufnahme
- Qualität der Aufnahme
- Behandlung und Erhaltung des Mediums
- Umwelteinflüsse

(vgl. BYERS 2003, S. 12)

Um die Langlebigkeit von optischen Speichermedien zu gewährleisten, ist die richtige Handhabung von großer Bedeutung. So sollte die empfindliche Speicherseite einer CD von Schmutz, Staub und Fingerabdrücken geschützt werden. Daher sollte eine CD immer nur an den Rändern berührt und in entsprechenden Behältern aufbewahrt werden. Auch die beschriftete Seite einer CD, obwohl sie für den Lese- und Schreibvorgang nicht relevant ist, sollte

sorgfältig behandelt werden. Die Beschriftung durch ein ungeeignetes Schreibgerät, z.B. ein spitzer Kugelschreiber oder ein Filzstift mit aggressivem Lösungsmittel, kann die Polykarbonatschicht oder die reflektierende Metallschicht angreifen. Das Bekleben der CD mit einem Label ist ebenfalls nicht empfehlenswert, da durch ein falsch angebrachtes Etikett die CD im Laufwerk aufgrund der hohen Laufgeschwindigkeit ins Schwingengerät und so Medium und Laufwerk beschädigt werden können. Außerdem kann der Klebstoff des Etiketts bis in die Polykarbonatschicht vordringen und diese angreifen (vgl. IMATION 2004, S. 52 ; GSCHWIND 2000, S.16).

Die Umwelteinflüsse auf CD-Medien hängen in erster Linie vom Medientyp ab. Hier muss zwischen den gepressten CDs wie CD-DA oder CD-ROM und beschreibbaren CDs wie CD-R oder CD-RW unterschieden werden, die in Struktur und verwendetem Material differieren. Bei gepressten CDs hängt die Lebensdauer unter anderem davon ab, wie sehr die reflektierende Aluminiumschicht Sauerstoff ausgesetzt wird. Sauerstoff und Feuchtigkeit kann durch Kratzer in der Oberfläche bis zur Aluminiumschicht durchdringen und durch oxidieren das Reflexionsvermögen erheblich stören. Daher sollten die CDs in einer möglichst trockenen und kühlen Umgebung gelagert werden (vgl. BYERS 2003, S. 14).

Eine beschreibbare CD-R ist in der Zusammensetzung wesentlich komplexer als eine CD-DA oder CD-ROM. Die Daten werden auf einer fotosensitiven Farbschicht, dem Dye gespeichert. Diese Schicht ist äußerst empfindlich gegenüber UV-Strahlung, durch die eine fotochemische Reaktion ausgelöst werden kann, welche die optischen Eigenschaften des Dye empfindlich schwächt. In Kombination mit erhöhter Temperatur und Luftfeuchtigkeit, verursacht durch unsachgemäße Lagerung des Datenträgers, wird der Zerfallsprozess der Speicherschicht beschleunigt (vgl. GIESELMANN 2005, S. 44 ; BYERS 2003, S. 17). Die Zusammensetzung des Dye ist ein wichtiger Faktor für die Lebensdauer des Mediums. Da die benutzten Farbstoffe des Dye und die eingesetzten Materialien von Hersteller zu Hersteller variieren, reagieren die CD-R unterschiedlich auf die oben beschriebenen schädlichen Umwelteinflüsse (vgl. LANGA 2001). Die verwendete Reflektionsschicht, die aus Gold oder Silber

bestehen kann, spielt eine eher untergeordnete Rolle in der Lebensspanne einer CD-R. Obwohl eine CD-R mit einer goldenen Reflektionsschicht eine höhere Lebensdauer aufweist, wird aus Kostengründen meistens eine silberne Schicht eingesetzt, die bessere Reflektionseigenschaften besitzt, dafür aber über eine kürzere Lebensdauer verfügt (vgl. BYERS 2003, S. 10). In der folgenden Tabelle werden die gängigen Dye-Farbstoffe und die durch Kombination mit der Reflektionsschicht entstehenden Farben der beschreibbaren Seite der CD-R beschrieben:

Farbstoff	Reflektionsschicht	
	Gold	Silber
Cyanin (blau)	Grün	Hellblau
Phtalocyanin (farblos)	Gold	-
Advanced Phtalocyanin (farblos)	Gold	-
Azofarbstoff (dunkelblau)	-	Dunkelblau
Formazan ¹⁷ (hellgrün)	Gold-Grün	-

Tab. 2: Farben der Reflektionsschicht einer CD-R (vgl. www.elektronikinfo.de. 09.04.2006)

In einem Forschungsprojekt des US-amerikanischen National Institute for Standards and Technology (NIST) wurden verschiedene CD-R mit unterschiedlichen Dye-Typen¹⁸ auf ihre Belastbarkeit untersucht. Hierfür wurden die Datenträger in einem speziellen Klimaschrank erhöhter Temperatur und Luftfeuchtigkeit ausgesetzt, um eine Alterung des Mediums zu simulieren. Die Temperaturen variierten hier zwischen 60 und 90 Grad Celsius, die relative Luftfeuchtigkeit bewegte sich zwischen 70 bis 90 Prozent, wobei die CDs mehrmals über einen Zeitraum von je 48 Stunden diesen Bedingungen ausgesetzt waren. In einem weiteren Test wurde in einer Lichtkammer mittels

¹⁷ Der Farbstoff Formazan ist eine Mischung aus Cyanin und Phtalocyanin (vgl. LANGA 2001)

¹⁸ Die im Test verwendeten Dye-Typen waren Azofarbstoff, Phtalocyanin und Cyanin

Metallhalogenid-Lampen eine dauerhafte UV-Lichtbestrahlung simuliert, hier mehrmals über einen Zeitraum von je 100 Stunden. Nach jeder Belastung wurden die CDs auf Fehlerraten getestet. Wichtige Indikatoren der Messung waren der *Jitter*¹⁹, die *Block Error Rate (BLER)*²⁰ und *E32-Fehler*²¹. Das Ergebnis dieser Testreihe zeigte, dass CD-R, die auf dem Dye-Farbstoff Phtalocyanin basieren, sowohl auf Temperatur und Luftfeuchtigkeit als auch auf Lichteinstrahlung eine gute Resistenz aufwiesen, welches sich durch niedrige Werte bei der Block Error Rate und dem Jitter manifestierte. Auf Cyanin basierende Medien bewiesen eine gute Widerstandsfähigkeit gegen Lichteinstrahlung, während sie unter erhöhter Temperatur und Luftfeuchtigkeit schon nach etwa 100 Stunden einen maximalen BLER-Wert von über 1000 erreichten. Azo-Dye reagierte sowohl auf Temperatur als auch auf Licht mit hohen Fehlerraten, die Block Error Raten erhöhten sich hier stark nach 100 Stunden Lichteinwirkung und 500 Stunden in der Klimakammer. Obwohl sich durch diese Belastungstests keine unmittelbaren Aussagen über die genaue Lebensdauer von beschreibbaren CD-Medien ableiten lässt, zeigt sich ein großer Qualitätsunterschied in Bezug auf die Haltbarkeit der verwendeten Materialien (vgl. SLATTERY, LU U.A. 2004, S. 517-524 ; GIESELMANN 2005, S. 44). Daher sind konkrete Daten bezüglich der tatsächlichen Lebensdauer oftmals widersprüchlich und variieren von Hersteller zu Hersteller. Allgemein wird zunächst von einer Haltbarkeit von fünf bis zehn Jahren für unbeschriebene Medien²² ausgegangen. Bei der Haltbarkeit nach dem Schreibvorgang reichen die Angaben für Cyanin-basierende Medien von 10 bis 75 Jahren, Phtalocyanin-CD-R sollen bis zu 100 Jahre haltbar sein, CD-R mit dem verwendeten Farbstoff *advanced Phtalocyanin* sogar bis zu 200 Jahre (vgl. MCFADDEN 2005 ; OSTA 2003, S. 32 ; LANGA 2001).

Wiederbeschreibbare CDs besitzen eine geringere Lebenserwartung als CD-Rs, da die Aufnahmeschicht weniger beständig ist. So können die gebrannten amorphen

¹⁹ Als Jitter bezeichnet man die Abweichungen von der vordefinierten Länge der Pits einer CD, die in Nanometern (nm) gemessen wird. Sollte der *Jitter* einen Wert von 35 nm überschreiten, steigen die Fehlerraten der CD deutlich an.

²⁰ Die *Block Error Rate* ist einer der wichtigsten Messwerte zur Beurteilung der Qualität einer CD-R und beschreibt die Anzahl von Blöcken einer CD, in denen mindestens in einem Fall fehlerhafte Daten vorkommen. Die BLER wird mit den gemessenen Fehlern pro Sekunde angegeben, wobei laut den Spezifikationen des Orange Book ein maximaler Wert von 220 fehlerhaften Blöcken pro Sekunde möglich ist. Maximum BLER bezeichnet die gesamten BLER auf einer CD.

²¹ E32-Fehler können von der Fehlerkorrektur des Abspielgeräts nicht mehr korrigiert werden. Da die Daten nicht mehr ausgelesen werden können, ist eine CD-R somit unbenutzbar. Daher darf bei einer getesteten CD-R kein E32-Fehler vorkommen.

²² Man spricht in diesem Fall vom „Shelf Life“ einer CD-R(W)

Markierungen mit der Zeit wieder in einen kristallisierten Zustand übergehen und die Lesbarkeit beeinträchtigen. Der Alterungsprozess wird auch hier von Wärmeeinwirkung und UV-Strahlung beeinflusst. Obwohl der Datenträger theoretisch bis zu 1000 mal beschrieben werden kann, verringert sich die Lebenserwartung, je mehr Schreibvorgänge durchgeführt werden (vgl. BYERS 2004, S. 15). Da CD-RWs nicht für die archivarische Benutzung eingesetzt werden, wurden bisher noch keine Alterungstests auf Umwelteinflüsse durchgeführt, wodurch die Lebensdauer des Mediums schwer abzuschätzen ist. Obwohl einige Hersteller eine Haltbarkeit von 100 Jahren angeben, gehen realistischere Schätzungen von 10 bis 30 Jahren aus (vgl. MCFADDEN 2005).

Magneto-Optische CDs sind besonders robust und reagieren weniger empfindlich auf Umwelteinflüsse, da sie sich dauerhaft in einer Schutzhülle befinden. Sie sind sowohl unempfindlich gegen Licht, Magnetfeldern als auch Temperaturen von bis zu 100 Grad Celsius. Ferner können sie bis zu 10 Millionen mal ohne Datenverlust beschrieben werden (vgl. AWW 2004, S. 35). Nach umfangreichen Alterungstests unter verschiedenen klimatischen Bedingungen wurden Prognosen bezüglich der Lebensdauer ermittelt. Werden Magneto-Optische Discs unter 25 Grad Celsius und 50 Prozent relativer Luftfeuchtigkeit gelagert, liegt die Lebenserwartung bei 109 Jahren. Bei einer erwarteten Ausfallrate von 0,5 Prozent werden 99,5 Prozent der Medien nach dieser Zeit noch verwendungsfähig sein. Selbst unter klimatisch ungünstigen Bedingungen (30 Grad Celsius und 90 Prozent rel. Luftfeuchtigkeit) soll die Lebensspanne noch über 30 Jahre betragen (vgl. MURRAY, MAEKAWA 1996, S.309–314).

Wie bei den oben beschriebenen Medien aufgezeigt, wirken sich Sonneneinstrahlung, erhöhte Temperatur und Luftfeuchtigkeit negativ auf die Lebensdauer von CDs aus. Um den natürlichen Alterungsprozess zu verlangsamen, sollten CDs in einer kühlen und trockenen Umgebung aufbewahrt werden. Zudem sollte der Temperaturunterschied zwischen der Lagerung und der Benutzung des Mediums nicht zu hoch sein, um Belastungen durch diese Schwankungen zu minimieren. Die idealen Lagerungsbedingungen variieren in den Angaben von verschiedenen Quellen. Dieser Sachverhalt wird in der folgenden Ausarbeitung grafisch dargestellt.

Quelle	Medium	Temperatur	Maximale Temperatur- schwankung	Relative Luftfeuchtigkeit	Maximale Schwankung der Luftfeuchtigkeit
ISO TC 171/SC, 2002	CD-R CD-ROM	5°C – 20°C	4°C / Std.	30% - 50%	10% / Std.
IT 9.25 und ISO 18925, 2002	CD DVD	-10°C – 23°C		20% - 50%	Nicht mehr als +-10%
NARA, FAQ About Optical Media, 2001	CD DVD	20°C	+/- 0,6°C / Tag	40%	5% / Tag
National Archives of Australia, 1999	CD	18°C – 20°C		45% - 50%	10% / Tag
Library Technical Report, 1997	CD	-10°C – 50°C		10% - 90%	
Media Sciences, Inc., 2001	CD-R	10°C – 15°C		20% - 50%	

Tab. 3: Empfohlene Lagerungsbedingungen für CD-Medien (vgl. BYERS 2004, S. 16-17)

Das die Lesbarkeit von CDs durch Umwelteinflüsse und chemische Reaktionen beeinflusst werden kann, wird im obigen Abschnitt beschrieben. Jedoch kann eine CD auch unter ungünstigen Umständen von einem biologischen Prozess geschädigt werden. Im Jahr 2001 entdeckten Forscher der spanischen Einrichtung CSIC²³ auf einer CD aus dem mittelamerikanischen Belize einen Pilz der Gattung Geotrichum, der sich von der äußeren Seite nach innen zwischen der

²³ CSIC = Consejo Superior de Investigaciones Científicas

Polykarbonatschicht und der Reflektionsschicht hindurchfrisst und die Daten an diesen Stellen unlesbar macht. Allerdings kann dieser Pilz nur unter entsprechenden klimatischen Bedingungen gedeihen, dazu gehören Temperaturen von über 30 Grad Celsius und eine hohe Luftfeuchtigkeit von 90 Prozent, wie in tropischen Regionen üblich. Daher ist nach bisherigem Kenntnisstand in gemäßigten Klimazonen von keiner Gefahr für CD-Medien auszugehen (vgl. BOSCH 2001 ; www.heise.de. 15.04.2006).



Abb. 4: Von Pilzfraß befallene CD (vgl. www.heise.de. 23.05.2006)

3.3.4 Geschichte und Funktionsweise der Digital Versatile Disc (DVD)

Im Laufe der 1990er Jahre begann sich die Compact Disc als Massenspeichermedium zu etablieren. Dies führte dazu, dass von der Unterhaltungsindustrie ein Nachfolger zur analogen VHS-Technik gefordert wurde, um Videos mit verbesserter Bild- und Tonqualität auf einem digitalen Datenträger abspeichern zu können. Bereits vorhandene Systeme wie die Laserdisc oder die Video-CD konnten die Ansprüche aufgrund der niedrigen Speicherkapazität nicht erfüllen. So passten auf eine Laserdisc nur 128 Minuten Film, auf eine Video-CD sogar nur 74 Minuten, wobei die Bild- und Tonqualität in etwa VHS-Standard entsprach (vgl. www.pro-datenrettung.net. 17.04.2006). 1995 wurden zwei verschiedene Konzepte vorgestellt. Die Firmen Sony und

Philips entwickelten die MM-CD (Multimedia-CD), während die Time-Warner Gruppe in Zusammenarbeit mit Toshiba an der SD-CD (Super-Density-CD) arbeitete. Da die Computer- und Filmindustrie einheitliche Standards forderte und einen Wettbewerb der Formate verhindern wollte, wie in den achtziger Jahren zwischen VHS und dem Betamax-System, schlossen sich beide Gruppen zusammen und entwickelten noch im selben Jahr den DVD-Standard, wobei DVD zunächst für *Digital Video Disc* stand. Aufgrund der abzusehenden vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten einigte man sich schließlich auf *Digital Versatile Disc* (Versatile = vielseitig) (vgl. www.dvd-tipps-tricks.de. 17.04.2006) Erst im Jahr 1997 kam das erste kommerzielle DVD-Abspielgerät auf den Markt, da es Unstimmigkeiten über das Kopierschutzverfahren gab und die Filmindustrie auf sogenannte Regionalcodes²⁴ bestand, welche die Abspielbarkeit von DVDs aus verschiedenen Regionen einschränkte, da Kino- und DVD-Veröffentlichungen weltweit in unterschiedlichen Zeiträumen stattfinden (vgl. TAYLOR 2006).

Da die DVD ein vielseitiges Medium ist, gibt es drei hauptsächliche Anwendungsgebiete mit eigenen Formaten. Hier muss man zwischen den unten beschriebenen Anwendungsformaten und den physikalischen Formaten, unterscheiden.

- DVD-Video für das Abspielen von bewegten Bildern und Ton, abspielbar auf DVD-Video fähigen Geräten
- DVD-Audio für das Abspielen von Standbildern und hochqualitativen Audiodateien auf DVD-Audio fähigen Geräten
- DVD-ROM als Weiterentwicklung der CD-ROM zum Lesen von Computerdateien

Weiterhin gibt es sogenannte Hybrid-DVDs, welche die Eigenschaften der oben genannten Formate auf ein Medium vereinen. Da für die Speicherung von relevanten Daten nur die DVD-ROM geeignet ist, soll auf die erstgenannten Formate hier nicht weiter eingegangen werden.

Die äußeren Eigenschaften der DVD sind mit denen der CD identisch. Sie besitzt ebenfalls einen Durchmesser von 120 mm und ist 1,2 mm hoch. Wie die CD wird

²⁴ Es gibt folgende Regionalcodes: 0=Weltweit ; 1=Nordamerika ; 2=Europa,Japan,Mittlerer Osten ; 3=Südostasien ; 4=Australien, Süd- u. Mittelamerika ; 5=Afrika, Russland; Indien u.a. ; 6=China

die DVD spiralförmig von innen nach außen beschrieben. Die Daten sind auch hier als Pits und Lands auf einer aus Aluminium bestehenden Reflektionsschicht geschrieben. Um eine höhere Kapazität speichern zu können, ist der Track-Abstand und die Breite der geschriebenen Pits kleiner als bei der CD. So kann auf weniger Raum mehr Daten gespeichert werden. Daher wird zum Lesen der Daten ein Laser mit einer kürzeren Wellenlänge von 650 Nanometern genutzt (vgl. STEINMETZ 2000, S. 225-228).

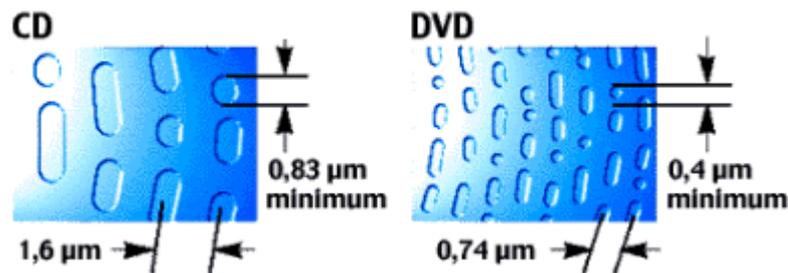


Abb. 5: Vergleich der Pit-Breite bei CD und DVD (vgl. www.hcinema.de, 17.04.2006)

Eine DVD besteht im Aufbau aus zwei je 0,6 mm hohen Hälften die miteinander verklebt werden, was als *Bonding* bezeichnet wird. Jede dieser beiden Hälften (Layer) kann eine oder zwei Informationsschichten enthalten, wodurch sich verschiedene Speichervolumen²⁵ ergeben. Von der ECMA²⁶ wurden verschiedene Spezifikationen für die DVD entwickelt:

- DVD-5: Besitzt eine Speicherkapazität von 4,7 GB und besteht aus einer Hälfte mit einer Aufnahmeschicht und einer Hälfte ohne Daten, die als „Dummy“-Schicht bezeichnet wird.
- DVD-9: Besitzt eine Speicherkapazität von 8,5 GB. Die obere Hälfte besteht aus einer Dummy-Schicht, während die untere Hälfte zwei Informationssichten enthält, man spricht hier von einer *Double Layer Disc*. Damit der Laserstrahl auf beide Schichten zugreifen kann muss die untere Schicht halbtransparent sein.

²⁵ Die von den Herstellern angegebenen Kapazitäten sind nicht korrekt wiedergegeben: 1 Kbyte entspricht 1024 Byte, während von Herstellerseite mit 1000 Byte gerechnet wird. Eine DVD mit 4,7 GB Speichervolumen fasst in Wirklichkeit nur 4,37 GB an Daten.

²⁶ ECMA = European Computer Manufacturers Association, seit 1994 lautet der offizielle Name *European association for standardizing information and communication systems*

- DVD-10: Kann bis zu 9,4 GB speichern und besitzt auf beiden Hälften eine Informationsschicht. Die Bezeichnung hierfür ist *Double Side Disc*. Um beide Seiten abspielen zu können, muss das Medium im Abspielgerät gewendet werden.
- DVD-18: Kann bis zu 17 GB speichern und besteht aus zwei Hälften mit je zwei Informationsschichten. Auch dieses Medium muss zum Abspielen beider Seiten gewendet werden (vgl. HARTMANN, MASIERO 2002).

3.3.5 Verschiedene Formate der DVD

Während für das nur zum Lesen von Daten geeignete Medium DVD-ROM ein gemeinsamer Standard besteht, herrscht in Bezug auf ein- oder mehrfach beschreibbare DVD Uneinigkeit. So existieren insgesamt sechs unterschiedliche Formate, davon jeweils drei für einfach und drei für mehrfach beschreibbare DVDs. Diese Formate wurden von zwei Firmengruppen entwickelt: Auf der einen Seite das DVD-Forum²⁷, welches für die DVD – (gen. DVD-minus)-Technologie und der DVD-RAM verantwortlich ist, sowie auf der anderen Seite die DVD+RW Alliance²⁸, welche die alternativen Formate DVD+R und DVD+RW entwickelte (vgl. AWV 2004, S. 37).

²⁷ Das 1995 gegründete DVD-Forum ist eine Vereinigung von mittlerweile über 230 Firmen zur Entwicklung und Abstimmung von Standards bezüglich der DVD. Wichtige Mitglieder sind z.B. die Firmen Hitachi, Mitsubishi, Pioneer, Philips, Sony, Thomson, Time Warner und Toshiba

²⁸ Führende Mitglieder der DVD+RW Alliance sind die Firmen Dell, Hewlett-Packard, Mitsubishi, Philips, Ricoh, Sony und Yamaha.

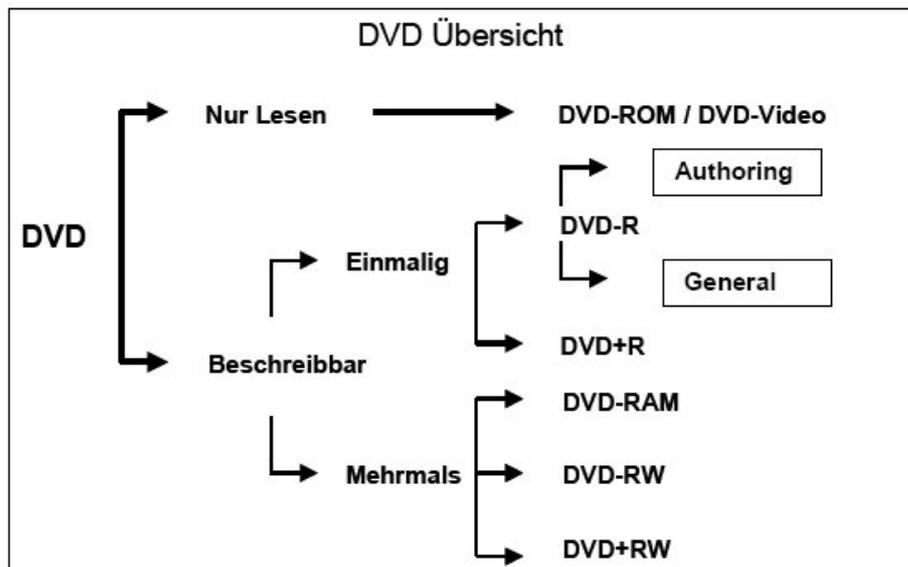


Abb. 6: Übersicht der verschiedenen DVD-Formate (vgl. AWV 2004)

Bei den einfach beschreibbaren DVDs die vom DVD-Forum spezifiziert wurden, unterscheidet man zwischen der *DVD-R Authoring* und der *DVD-R General*. Die *DVD-R Authoring* dient im professionellen Anwenderbereich zum Herstellen von Master-DVDs, um daraus im großen Umfang Duplikate herzustellen. Sie können nur mit nicht im freien Handel erhältlichen Authoring Writern der Firma Pioneer beschrieben werden, welche mit einem Laser mit der Wellenlänge von 635 nm arbeiten (vgl. STÖBE 2001, S. 210). Die *DVD-R General* ist für den allgemeinen Gebrauch bestimmt. Rohlinge dieses Formats verwenden eine beschreibbare Datenschicht (Single Layer), die bis zu 4,7 Gigabyte speichern kann. Das Aufzeichnungsverfahren ähnelt dem Prinzip einer CD-R, auch hier werden die Daten mittels eines Laserstrahls auf einer organischen Farbstoffschicht gebrannt. Als Material dieser Schicht dienen ebenfalls die Farbstoffe Cyanin, Phtalocyanin oder Azo. Das Medium kann wie eine CD-R/RW im Disc-at-once beschrieben werden, es können aber auch Daten in mehreren Sessions hinzugefügt werden (vgl. HARTMANN, MASIERO 2002). Um 1:1 Kopien von urheberrechtlich geschützten Video-DVDs oder Software zu verhindern, ist auf der DVD-R ein Kopierschutzring eingebrannt. Ein weiteres vom DVD-Forum definiertes Format ist die mehrfach wiederbeschreibbare DVD-RW. Dieses Medium hat wie die DVD-R eine Kapazität von 4,7 GB und kann laut Herstellerangaben bis zu 1000

Schreibvorgänge durchführen. Wie bei der CD-RW wird zum Schreiben von Daten die Phase-Change-Technologie angewendet. Allerdings ist die DVD-RW aufgrund des geringeren Reflektionsgrades nicht mit allen Laufwerken kompatibel (vgl. TAYLOR 2006).

Da das DVD-Forum die Rechte am Namen der DVD und des DVD-Logos trägt, müssen die Hersteller von DVD-Medien Lizenzgebühren bezahlen. Neben diesen Gebühren fielen durch den Einsatz des Kopierschutzringes erhöhte Herstellungskosten an. Daher veröffentlichten einige Hersteller, obwohl sie Mitglied des DVD-Forums sind, im Jahr 2001 vereint unter dem Namen der *DVD+RW Alliance* einen eigenen Standard, die DVD+RW bzw. die DVD+R.. Diese Formate unterscheiden sich nur geringfügig vom DVD-R/RW Standard. Die Speicherkapazität beträgt bei DVD+R und DVD+RW ebenfalls 4,7 GB, auch das Aufzeichnungsverfahren ist identisch. Unterschiede bestehen nur in der Struktur des Spurrandes, um Sektoren beim Brennen genauer adressieren zu können. Außerdem fehlt der Kopierschutz, wodurch DVD+ Medien in der Herstellung kostengünstiger sind, des weiteren unterliegen sie einer strengeren Qualitätskontrolle (vgl. HIMMELEIN 2002, S. 112).

Ein Problem, das sich durch die unterschiedlichen Formate ergibt, ist die Kompatibilität der Medien zueinander. So kann ein DVD+R/RW-Laufwerk keine DVD-R/RW schreiben, umgekehrt ist dies ebenso nicht der Fall. Ferner können nicht alle Laufwerke mehrfach wiederbeschreibbare DVDs lesen, da der Reflektionsgrad geringer als der von gepressten DVDs ist. Mittlerweile sind auf dem Markt größtenteils multinormfähige Brenner erhältlich, die sowohl Medien im DVD-Minus als auch DVD-Plus-Format aufnehmen können, wodurch das Kompatibilitätsproblem in den Hintergrund getreten ist (vgl. FEIBUS 2004 ; TAYLOR 2006).

Während die bisher beschriebenen DVD-Formate eher für den massentauglichen Markt verwendet werden, existiert noch eine Sonderform, die DVD-RAM²⁹. Bereits 1996 wurde die Spezifikation dem DVD-Forum vorgelegt, womit die DVD-RAM das erste auf dem Markt erhältliche wiederbeschreibbare DVD-Format war. Sie fasst bei einer einseitig beschreibbaren DVD-RAM 4,7 Gigabyte,

²⁹ DVD-RAM steht für Digital Versatile Disc Random Access Memory

in der zweiseitig beschreibbaren Version 9,4 Gigabyte an Daten. In der ursprünglichen Variante befand sich der Datenträger wie die CD-MO fest in einer Schutzhülle (Cartridge) und konnte nur von dafür geeigneten Laufwerken verwendet werden. In späteren Varianten kann die DVD auch aus der Cartridge entnommen werden oder sie wird ohne Cartridge ausgeliefert, um sie in Laufwerken, die DVD-RAM-fähig sind, zu benutzen. Wie bei der DVD±RW wird zur Datenaufzeichnung die Phase-Change-Technologie eingesetzt, allerdings kann die DVD-RAM bis zu 100.000-fach wiederbeschrieben werden. Ein wichtiger Unterschied zu den vorhandenen beschreibbaren DVD-Medien liegt im physikalischen Aufbau sowie verschiedenen Verfahren, welche eine optimale Datensicherheit garantieren sollen. Zum Einen kommt bei der DVD-RAM das „wobbled land and groove“-Schreibverfahren zum Einsatz. Hier werden die Daten sowohl in den vorgepressten Vertiefungen (Grooves) als auch auf den dazwischen liegenden Erhöhungen (Lands) gespeichert, beim Lesevorgang folgt der Laserstrahl abwechselnd den Groove- und Land-Spuren. Da der Abstand zwischen nebeneinander liegenden Datenbereichen durch das unterschiedliche Höhenniveau vergrößert ist, verringert sich die Wahrscheinlichkeit von Lesefehlern. Ein wesentlicher Anteil zur Datensicherheit bietet die Aufteilung der DVD-RAM in Sektoren, die kreisförmig um den Mittelpunkt des Mediums angeordnet sind, was dem Aufbau einer Festplatte sehr ähnlich ist. Sollte ein Sektor nicht fehlerfrei beschrieben werden können, werden die Daten in einem anderen Sektor abgelegt und der defekte Sektor wird in einer auf dem Medium gespeicherten Liste vermerkt. Somit erweist sich die DVD-RAM als ein äußerst zuverlässiges, allerdings nicht revisionssicheres Speichermedium, welches sowohl für die Speicherung von großen Datenmengen als auch als für die Nutzung zur Langzeitarchivierung geeignet ist (vgl. AWV 2004, S.49-55 ; www.elektronik-kompodium.de. 24.04.2006). Schwierigkeiten kann es mit der Kompatibilität der DVD-RAM zu diversen Laufwerkstypen geben, da diese das Medium aufgrund des geringen Reflektionsgrades, des Schreibverfahrens und der Sektorierung der Medienoberfläche nicht verarbeiten können. Moderne DVD-Brenner sind allerdings mittlerweile in der Lage, auch DVD-RAM-Medien zu lesen und beschreiben (vgl. HARTMANN, MASIERO 2002 ; TAYLOR 2006).

3.3.6 Beständigkeit der DVD

Wie auch bei der Compact Disc handelt es sich bei der DVD um ein optisches Speichermedium, welches berührungslos gelesen wird und damit keinem mechanischem Verschleiß unterliegt. Auch die langfristige Nutzbarkeit der DVD ist von vielen Faktoren abhängig. Zunächst ist die Handhabung³⁰ von Bedeutung, so sollte die Oberfläche der DVD vor Fingerabdrücken, Staub, Nässe und Kratzern geschützt werden (vgl. AWV 2004, S. 46). Weitere Faktoren die ausschlaggebend für die Lebensdauer des Mediums sein können sind die verwendeten Materialien, die Herstellungsqualität, die Qualität der Aufnahme sowie die richtige Lagerung. Eine genaue Lebensdauer der DVD ist schwer abzuschätzen, da die Aussagen der Hersteller stark variieren. So reichen die Angaben für DVD-R und DVD+R von 30 bis 100 Jahren und für DVD-RW bzw. DVD+RW bis zu 30 Jahren, wobei diese nur bei fachgerechter Behandlung und Lagerung zutreffend sind (vgl. BENNETT 2004, S.29). Um eine ungefähre Lebensdauer abschätzen zu können, werden an DVDs spezielle Alterungstests durchgeführt, wo sie über einen längeren Zeitraum erhöhter Temperatur und Lichtbestrahlung ausgesetzt werden. Daraufhin werden Messungen des Anstiegs der Fehlerraten vorgenommen, worauf sich durch Berechnung mittels des Eyring-Modells³¹ $t_{50} = A e^{\Delta H / kT} e^{(B)RH} t_{50}$ eine ungefähre Lebensdauer ableiten lässt. Im unter Punkt 3.3.3. beschriebenen Belastungstest des National Institute of Standards and Technology wurden auch DVD-R-Medien bis zu 850 Stunden einer Temperatur von 60 bis 90 Grad Celsius und einer Luftfeuchtigkeit von 70 bis 90 Prozent ausgesetzt sowie 1400 Stunden von UV-Licht bestrahlt. Neben dem Jitter wurden hier die *Parity Inner Errors*³² (PIE) sowie die *Parity Outer Errors*³³

³⁰ Die Empfehlungen zur Handhabung der DVD sind identisch mit denen der CD

³¹ Die Gleichung des Eyring-Modells lautet , wobei der Zeitpunkt ist, bei dem 50% der Medien nicht mehr lesbar sind, A eine Zeitkonstante, e steht für die eulersche Zahl, ΔH steht für die Aktivierungsenergie, k ist die Boltzmann-Konstante, T die Temperatur, B ist eine Konstante der rel. Luftfeuchtigkeit und RH steht für die rel. Luftfeuchtigkeit (vgl. NIST 2005).

³² Die Parity Inner Errors stellen die Fehler der ersten Korrekturstufe des Fehlermanagements der DVD dar. Hier werden die Fehler von acht direkt aufeinander folgenden ECC-Sektoren (ECC=Error Correction Code) gemessen, wobei laut Spezifikation der DVD maximal 280 Fehler erlaubt sind. Die PIE sind im gewissen Sinn das Äquivalent zur Block Error Rate einer CD.

³³ Die Partial Outer Errors sind nicht korrigierbare Fehler. Da eine DVD mit POE nicht mehr gelesen werden kann, sind laut der Spezifikation der DVD diese Fehler nicht erlaubt POE entsprechen den E32-Fehlern bei der CD..

(*POE*) gemessen. Wie schon bei den getesteten CD-R deutlich wurde, sind verschiedene Dye-Typen für unterschiedliche Testresultate verantwortlich. Obwohl die getesteten DVD-R-Medien auf Cyanin basierenden Dye bestehen, weichen die Fehlerraten allerdings sowohl unter Temperatureinfluss als auch Lichtbestrahlung stark voneinander ab. Da aber seitens der Hersteller keine Angaben über die Zusammensetzung des Dye gemacht wurden, lassen sich nur schwer Schlüsse ziehen, was den Zusammenhang zwischen Stabilität und verwendeten Dye betrifft, zumal sich die Dye-Mischungen im Laufe der Produktionsprozesse häufig ändern (vgl. SLATTERY, LU U.A: 2004, S. 517-524). In einem weiteren Test, durchgeführt vom *Canadian Conservation Institute*, wurden diverse optische Speichermedien, darunter DVD-Video, DVD-R und DVD-RW, ebenfalls einem Alterungstest unter extremen Bedingungen ausgesetzt. Hierfür wurden die Medien nach insgesamt 2000 Stunden in einer Testkammer bei 80 Grad Celsius und 85 Prozent relativer Luftfeuchtigkeit nach Fehlerraten und Abnutzungserscheinungen untersucht. Zunächst stellte sich die Frage, ob die Verklebung der beiden Hälften einer DVD, das sog. Bonding, durch den Alterungstest beschädigt wird. Dies konnte bei keinem der getesteten Medien festgestellt werden. Entscheidender waren die Unterschiede bei den Fehlerraten der verschiedenen DVD-Medien. Hierbei schnitten DVD-RW Medien am schlechtesten ab, wobei nach der Hälfte der 84-tägigen Testzeit bereits kein Medium mehr fehlerfrei gelesen werden konnte. Ein besseres Ergebnis erreichten DVD-R Medien, obwohl nur acht Prozent der getesteten Datenträger nach der vollen Testzeit PIE-Werte unter 280 Fehlern aufweisen konnten. Abweichende Ergebnisse wiesen DVD-Video Medien auf, hier wurden bei zweiseitigen DVDs mit je einer Datenschicht nach den Testintervallen noch zu 27 Prozent ein PIE-Wert unter 280 gemessen. Insgesamt wiesen die getesteten DVD-Medien allerdings eine niedrige Stabilität im Belastungstest auf, im Vergleich hierzu konnten von CD-R Medien mit Phtalocyanin-Dye noch 72 Prozent der verwendeten Datenträger eine Bloc Error Rate von unter 220 Fehlern vorweisen und damit fehlerfrei ausgelesen werden. Obwohl sich durch diese Belastungstests keine unmittelbare Aussage zur Lebensdauer machen lässt, zeigt sich, dass DVD-Medien zur sicheren Langzeitarchivierung von Daten momentan nur bedingt

geeignet sind. Um die Stabilität von DVD-R zu verbessern sollte daher als Dye-Farbstoff anstelle von Cyanin das weitaus widerstandfähigere Phthalocyanin verwendet werden (vgl. IRACI 2005, S. 134–159).

Für die DVD-RAM sind bisher keine Ergebnisse von Alterungstests bekannt. Im Allgemeinen wird bei diesem Medium eine Lebensdauer von mindestens 30 Jahren angegeben, wobei die Aussagen einiger Hersteller von bis zu 100 Jahren ausgehen (vgl. AWW 2004, S. 56 u. S.64 ; IMATION 2004, S.54).

Wie die Alterungstests bewiesen haben, können sich äußere Einflüsse wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Lichteinstrahlung schädlich auf die Stabilität von DVDs einwirken, da der natürliche Alterungsprozess hierdurch beschleunigt wird. Um die Beständigkeit der DVD zu bewahren, ist es unerlässlich, die empfohlenen Lagerungsbedingungen einzuhalten.

à DVD±R , DVD-ROM: -20 bis 50 Grad Celsius, 5 bis 90 Prozent relative Luftfeuchtigkeit, weniger als 15 Grad Celsius Temperaturabweichung pro Stunde.

à DVD-RAM: -10 bis 50 Grad Celsius, 3 bis 85 Prozent relative Luftfeuchtigkeit, weniger als 10 Grad Celsius Temperaturabweichung pro Stunde (vgl. AWW 2004, S. 64 ; BYERS 2003, S. 16).

Zur Langzeitarchivierung von digitalen Daten ist es unerlässlich, Medien zu entwickeln, welche diese Aufgabe zuverlässig erfüllen. Zu diesem Zweck wurde in Zusammenarbeit mit dem *National Institute for Standards and Technology*, anderen Bundesbehörden der USA sowie Vertretern der optischen Speicherindustrie die *Government Information Preservation Working Group* gegründet. In einer Studie, welche gemeinsam mit dem NIST und der Kongressbibliothek der Vereinigten Staaten durchgeführt wird, soll einerseits die zu erwartende Lebensdauer von beschreibbaren DVD-Medien genauer untersucht, sowie andererseits ein Testverfahren entwickelt werden, welches Medienhersteller zur Zertifizierung von archivierfähigen Datenträgern nutzen können. Allerdings sind zu diesem Zeitpunkt noch keine Ergebnisse dieser Studie veröffentlicht worden (vgl. GISELMANN 2005 a, S. 44 ; SLATTERY, LU U.A. S. 523).

3.3.7 Nachfolgeformate der DVD

Obwohl das Speichermedium DVD erst im Jahr 1996 auf dem Verbrauchermarkt eingeführt wurde, streiten bereits zwei neu entwickelte Formate um dessen Nachfolge – die Blu-ray Disc sowie die High Definition Digital Versatile Disc (kurz: HD-DVD). Der Grund hierfür liegt in der Einführung des hochauflösenden Fernsehstandards HDTV³⁴, da die Speicherkapazität einer herkömmlichen DVD für Filme im HDTV-Format nicht mehr ausreicht (vgl. GISELMANN 2005 b, S. 228). Wie schon bei den beschreibbaren DVDs wurden die beiden konkurrierenden Formate von Zusammenschlüssen namhafter Unterhaltungs- und Elektronikkonzerne erschaffen. Für die Entwicklung der HD-DVD, welche vom DVD-Forum unterstützt wird, ist die *HD-DVD Promotion Group*³⁵ verantwortlich. Der physikalische Aufbau und die Funktionsweise unterscheiden sich nicht von der DVD, allerdings wird eine wesentlich höhere Speicherkapazität erreicht, indem die Breite der geschriebenen Pits sowie der Abstand der Datenspur verringert wurde. Um die Daten lesen zu können, wird ein Laufwerk benötigt, welches mit einem blau-violetten Laserlicht arbeitet. Im Gegensatz zum roten Laser der DVD, welcher eine Wellenlänge von 650 Nanometern verwendet, bewegt sich die Wellenlänge hier im Bereich von 405 Nanometern. Insgesamt sollen sich fünf verschiedene Formate der HD-DVD etablieren:

- HD-DVD-ROM mit einer Kapazität von 15 GB bei einer bzw. 30 GB bei zwei Datenschichten. Bei zweiseitigen Versionen erhöht sich die Kapazität auf 30 bzw. 60 GB.
- 3X DVD-ROM, bei der bis zu 135 Minuten HD-Inhalt auf einer herkömmlichen DVD-ROM gespeichert werden können.
- 8 cm mini HD-DVD, welche 4,7 GB bei einer bzw. 9,4 GB bei zwei Datenschichten speichert.

³⁴ HDTV steht für High Definition Television und bietet eine weitaus höhere Auflösung als das in Europa übliche PAL-Format, wo eine vertikale Auflösung von 576 Zeilen und eine horizontale Auflösung von 720 Linien möglich ist. Bei HDTV sind maximal 1080 Zeilen bzw. 1920 Linien möglich.

³⁵ Die HD-DVD Promotion Group umfasst über 100 Mitglieder, darunter NEC, Microsoft, Toshiba, Intel, IBM und Time Warner

- HD-DVD-R, welche einmalig beschrieben werden können. Dieses Format kann 15 GB pro Seite aufnehmen..
- HD-DVD-RW, mehrfach wiederbeschreibbar. Kann bis zu 20 GB pro Seite aufnehmen (vgl. NEWMÉRIQUE 2005, S. 1-4).

Die *Blu-Ray Disc* wurde von der *Blu-Ray Disc Association*³⁶ entwickelt, von welcher die technischen Spezifikationen des Mediums im Jahre 2002 beschlossen wurden. Wie auch die HD-DVD wird die Blu-Ray Disc von einem blau-violetten Laser mit einer Wellenlänge von 405 Nanometern ausgelesen. Allerdings entscheidet sie sich im Aufbau grundsätzlich vom ursprünglichen DVD-Format. Um einen optimalen Abstand zwischen der Datenspur und dem optischem System des Laufwerks herzustellen, befindet sich die Aufnahmeschicht fast direkt an der Oberfläche des Datenträgers, nur von einer 0,1 mm dicken Schutzschicht bedeckt. Dies hat zur Folge, das der Laserstrahl besser gebündelt werden kann und somit eine höhere Speicherkapazität als bei der HD-DVD erreicht wird. So können auf einer Datenschicht bis zu 25 GB an Daten gespeichert werden, bei einer zweischichtigen Disc sind somit bis zu 50 GB möglich (vgl. BLU-RAY DISC FOUNDERS 2004, S. 3ff). Wie bei der HD-DVD sind neben ROM-Medien auch einfach bzw. mehrfach beschreibbare Formate geplant (vgl. TAYLOR 2006). Welches der beiden neuen Formate sich als Nachfolger der DVD durchsetzen wird, kann zu diesem Zeitpunkt (Mai 2006) noch nicht abgeschätzt werden. Von Seiten der PC-Hersteller wird die HD-DVD favorisiert, da der Aufbau dem einer DVD ähnelt und damit die Umstellung der Produktion einfacher und kostengünstiger ist. Die Blu-Ray Disc hingegen bietet trotz aufwendiger Herstellung ein größeres Speichervolumen, welches mittels mehrerer Speicherschichten ausbaufähig ist. So befinden sich bereits Datenträger mit acht Schichten in der Entwicklung, die 200 GB aufnehmen können. Aufgrund ihres besseren Kopierschutzes plant ein Großteil der Filmstudios, ihre Spielfilme ausschließlich auf Blu-Ray Discs zu veröffentlichen, was einen entscheidenden Marktvorteil bedeuten kann. Wie schon in den 1980er Jahren, als die drei Videoformate VHS, Betamax und Video 2000 miteinander konkurrierten, werden

³⁶ Die Blu-Ray Disc Association besteht aus etwa 70 Firmen, darunter als wichtigste Mitglieder Sony, Philips, Hewlett-Packard, Samsung, Hitachi, Disney, Sharp, TDK, 20th Century Fox, Apple u.A.

beide Formate zunächst nebeneinander existieren. Da viele Konsumenten noch verunsichert sind, welches Format sich durchsetzen wird, ist schon bald mit der Einführung von Laufwerken zu rechnen, die trotz der technischen Unterschiede beide Datenträger auslesen kann (vgl. JURRAN 2005, S. 38 ; GISELMANN 2005 b, S. 231).

4 Das Open Archival Information System Reference Model (OAIS)

4.1 Entstehung und Grundlagen des Modells

Das *Open Archival Information System Reference Model*, im folgenden Abschnitt als OAIS-Referenzmodell bezeichnet, ist ein ISO-Standard zur Langzeitarchivierung elektronischer Dokumente. Sein Ursprung liegt in der Weltraumforschung. Nachdem die NASA festgestellt hatte, dass diverse ältere elektronische Unterlagen zu ihren Weltraummissionen, darunter Daten der ersten Mondlandung 1969, nicht mehr lesbar waren, sollte ein standardisiertes Modell für ein digitales Archiv entwickelt werden, um den Datenaustausch der Weltraumforschung zu vereinfachen. Von der *International Organisation for Standardisation (ISO)* beauftragt, entwickelte das *Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS³⁷)*, ein Zusammenschluss mehrerer internationaler Weltraumbehörden, im Jahr 1999 die erste Version des OAIS-Referenzmodells, welches seitdem mehrfach überarbeitet wurde. Die Version vom Februar 2003 wurde von der ISO unter der Nummer 14721:2003 als Standard aufgenommen. Obwohl ursprünglich für die NASA entwickelt, handelt es sich um ein theoretisches Modell für die Funktionsweise eines Archivs, wobei hier keine Unterschiede zwischen herkömmlichen oder digitalen Daten gemacht werden, allerdings liegt der inhaltliche Schwerpunkt auf der digitalen Archivierung (vgl. BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003, S. 25-26). Eine kurze Übersicht der Anforderungen des OAIS-Referenzmodells soll folgende Aufzählung verdeutlichen. So bietet das Modell:

³⁷ <http://public.ccsds.org>

- einen Rahmen für ein besseres Verständnis archivarischer Konzepte für die langfristige Erhaltung und Nutzbarmachung digitaler Informationen,
- Konzepte für nichtarchivarische Einrichtungen, um am Erhaltungsprozess sinnvoll teilnehmen zu können,
- einen Rahmen (mit Fachbegriffen und Konzepten) zur Beschreibung und zum Vergleich des Aufbaus und der Arbeitsweise jetzt und künftig vorhandener Archive,
- eine Grundlage für den Vergleich der Datenmodelle digitaler Informationen, die von Archiven aufbewahrt werden, und für die Diskussion, wie Datenmodelle und die Informationen selbst sich im Lauf der Zeit verändern können,
- eine Grundlage, die erweitert werden kann, um die langfristige Erhaltung von nicht-digitalen Informationen einzubeziehen,
- einen breiteren Konsens über Elemente und Verfahren zur langfristigen Erhaltung und Nutzung digitaler Informationen und damit einen breiteren Markt für Anbieter,
- Anregungen für die Entwicklung von auf das OAIS bezogenen weiteren Standards (LUPPRIAN 2000).

Das OAIS-Referenzmodell wird in Hinsicht der Langzeitarchivierung unter zwei Gesichtspunkten betrachtet, zum einen aus der Sicht eines Informationsmodells, zum anderen aus der Sicht eines Prozessmodells. Beide Modelle werden in den nächsten Punkten ausführlich erläutert.

4.2 Informationsmodell des OAIS

Das Informationsmodell des OAIS-Referenzmodells unterscheidet grundlegend zwischen Daten (*Data Object*) und Informationen (*Information Object*). Die Daten können sowohl digitale Objekte als auch nicht digitalen Ursprungs sein.

Damit ein *Data Object* als Information interpretiert werden kann, spielen zum Verstehen der Daten nötiges Wissen sowie zusätzliche Informationen eine wichtige Rolle, wie anhand der folgenden Grafik verdeutlicht werden soll:

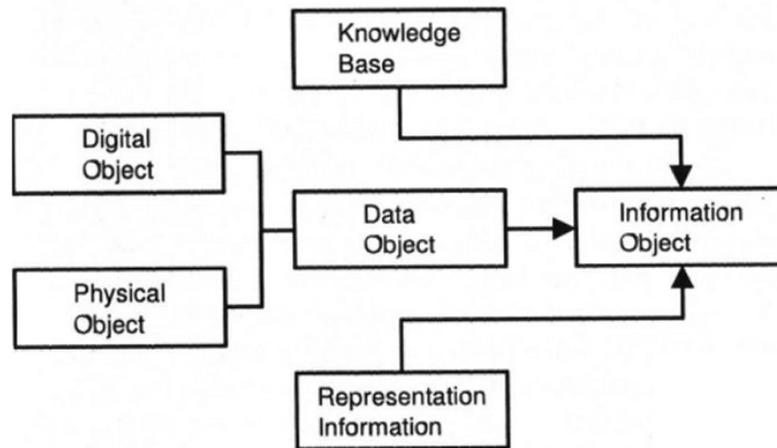


Abb. 7: Das Informationsmodell des OAIS-Referenzmodells (vgl. BORGHOFF, RÖDIG U.A.2003, S. 27)

Das Wissen, welches benötigt wird um Daten auszuwerten, wird im OAIS-Referenzmodell als *Knowledge Base* bezeichnet. Ohne entsprechende Knowledge Base bleiben dem Benutzer oder dem System die Informationen verwehrt. Handelt es sich bei den Daten zum Beispiel um einen englischen Text, muss der Nutzer eine entsprechende Knowledge Base vorweisen, hier also das Beherrschen der englischen Sprache, um diesen Text als Information auswerten zu können. Des Weiteren werden noch zusätzliche Informationen gebraucht, die unter der Bezeichnung *Representation Information* zusammengefasst werden. Im oben genannten Beispiel wäre dies ein englisches Wörterbuch. Diese Representation Information erfordern allerdings ebenfalls eine für sie geeignete Knowledge Base. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Daten erst bei einer entsprechenden Knowledge Base und zusätzlicher Representation Information zu Informationen werden (vgl. BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003, S. 27).

Im nächsten Schritt werden die Informationseinheiten innerhalb eines Archivs definiert. Da die Informationen nicht in beliebig langen Datenströmen

übernommen werden können, werden sie in handhabbare Pakete aufgeteilt, welche im OAIS-Referenzmodell als *Information Package* bezeichnet werden.

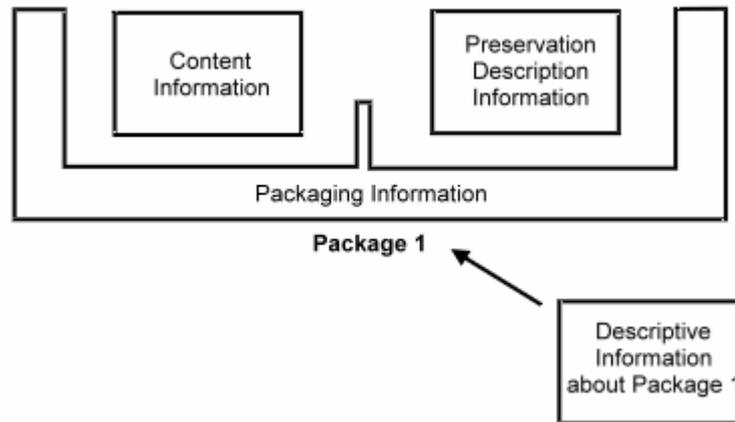


Abb. 8: Bestandteile eines *Information Packages* (vgl. CCSDS 2002, S. 27)

Ein Information Package besteht aus den Komponenten *Content Information* und *Preservation Description Information (PDI)*. Die Content Information ist hier das eigentliche Informationsobjekt, welches vom Archiv bewahrt werden soll. Es beinhaltet das *Data Object* mit seinen zugehörigen *Preservation Information*. Die PDI umfasst sämtliche notwendigen Informationen, um die Content Information angemessen zu bewahren, ihre Integrität sicherzustellen und Beziehungen zu anderen Objekten im Archiv herzustellen. Sie ist in vier Bereiche unterteilt: *Provenance*, *Context*, *Reference* und *Fixity*.

- Provenance (Herkunft) beschreibt die Quelle der Content Information.
- Context beschreibt inwiefern die Content Information mit Informationen außerhalb des Information Package zusammenhängt.
- Reference ist für die eindeutige Identifizierung der Content Information zuständig, zum Beispiel die ISBN-Nummer eines Buches.
- Fixity (Beständigkeit) dient als Schutzvorrichtung, um die Content Information vor unberechtigter Abänderung zu bewahren, z. B. durch die Anwendung digitaler Signaturen.

Zur Verknüpfung der beiden Komponenten des Information Package werden sowohl Content Information als auch Preservation Description Information in

einer *Packaging Information*-Hülle eingebettet. Die Implementierung der Package Information ist allerdings im OAIS-Referenzmodell nicht zwingend vorgeschrieben und daher für das anwendende Archiv optional. Um die Information Packages im Archiv aufzufinden, werden zusätzlich noch Metadaten hinzugefügt, die sogenannte *Descriptive Information*, welche Informationen über den Inhalt des Information Packages bereitstellen. Der Umfang der Descriptive Information ist nicht fest vorgeschrieben und kann daher je nach Bedarf eingerichtet werden (vgl. CCSDS 2002, S. 27-28).

4.1 Prozessmodell des OAIS

Um die durchlaufenden Prozesse des OAIS-Referenzmodells genauer zu beschreiben, ist es zunächst notwendig, den Arbeitsablauf einer Archivumgebung genauer zu betrachten. Grundsätzliche Aufgabe des Archivs ist es, Informationen zu erhalten, diese zu bewahren und interessierten Nutzern zur Verfügung zu stellen. Das OAIS-Referenzmodell dient quasi als Bindeglied zwischen Informationserzeugern, Informationssuchenden und dem Management des Archivs. Es nimmt Informationen von Erzeugern (hier „Producer“ genannt) entgegen, wie zum Beispiel Autoren oder Institutionen. Gleichzeitig werden die bewahrten Dokumente dem Verbraucher (hier „Consumer“ genannt) zugänglich gemacht. Des Weiteren wird das Management des Archivs eingebunden, welches zum Beispiel darüber entscheidet, welche Informationen gesammelt werden.

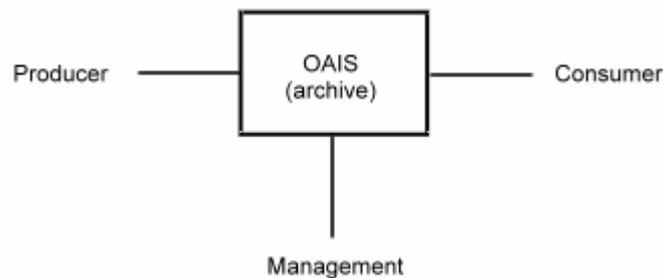


Abb. 9: Umgebung eines OAIS-Archivs (vgl. CCSDS 2002, S.24)

Im Prozessmodell des OAIS-Referenzmodells wird zwischen drei Arten von Information Packages unterschieden, welche die Eingabedaten der ablaufenden Prozesse darstellen:

1. Das *Submission Information Package (SIP)*, welches vom Erzeuger an das Archiv übermittelt wird.
2. Das *Archive Information Package (AIP)*, welches im Archiv gespeichert wird.
3. Das *Dissemination Information Package (DIP)*, welches der Verbraucher vom Archiv erhält (vgl. BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003, S.29).

Das OAIS-Referenzmodell besteht aus insgesamt sechs Funktionsbereichen: *Ingest*, *Archival Storage*, *Data Management*, *Administration*, *Preservation Planning* und *Access*, wie an der folgenden Grafik veranschaulicht werden soll.

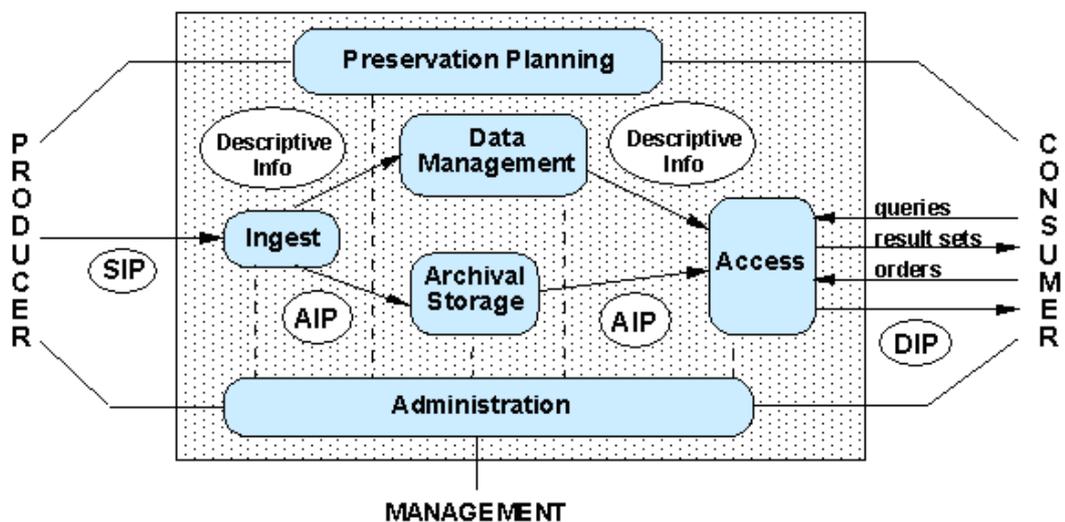


Abb. 10: Das OAIS-Prozessmodell (vgl. CCSDS 2002, S. 38)

Die einzelnen Prozesse werden folgend ausführlich beschrieben:

- **Ingest** (aufnehmen)

In diesem Prozess werden Submission Information Packages (SIP) vom Erzeuger übernommen und auf Vollständigkeit sowie Authentizität kontrolliert. Daraufhin wird das SIP in ein Archival Information Package (AIP) umgewandelt, welche den archivinternen Regeln entspricht, zum Beispiel für Datenformat oder Datendokumentation. Anschließend werden die Descriptive Information vom AIP getrennt und der Findmitteldatenbank des Archivs zur Verfügung gestellt, während das AIP an den Archival-Storage Prozess weitergeleitet und dies dem Data Management mitgeteilt wird.

- **Archival Storage** (Archivspeicher)

Dieser Prozess ist für die Speicherung und Erhaltung der AIP verantwortlich. Er übernimmt die AIPs aus dem Ingest-Prozess und verteilt sie auf die verschiedenen Speichermedien. Des weiteren dient dieser Prozess zur Sicherung der Daten, die regelmäßig auf Integrität überprüft werden, sorgt für Backups und stellt Wiederherstellungsmechanismen für Notfälle zur Verfügung. Auf Anfrage werden AIPs an den Access-Prozess übergeben.

- **Data Management** (Datenverwaltung)

Der Prozess Data Management ist für die Verwaltung der Descriptive Information zuständig sowie weiteren notwendigen Daten für das Funktionieren des Systems. Diese Daten werden in einer Datenbank gespeichert, für dessen Administration das Data Management verantwortlich ist. Eine weitere Aufgabe dieses Prozesses ist es, Anfragen aus dem Access-Bereich entgegenzunehmen und zu bearbeiten.

- **Administration** (Verwaltung)

Der Administration-Prozess ist für die Steuerung der Gesamtabläufe im OAIS-Referenzmodell und seinen Außenbeziehungen verantwortlich. Dazu gehört die Verhandlung mit den Informationserzeugern sowie die Kontrolle,

ob die eingehenden SIPs mit den Standards des Archivs konform sind. Des weiteren ist die Administration für die Konfiguration und Optimierung der Hard- und Software des Archivsystems zuständig.

- **Preservation Planning**

Diese Funktion, welche für die dauerhafte Speicherung der Daten zuständig ist, war im ursprünglichen Entwurf des OAIS-Referenzmodells nicht eingeplant. Erst als das Modell von einigen Organisationen in die Praxis umgesetzt wurde, begann man die Notwendigkeit zu erkennen, Funktionen für die Langzeitarchivierung einzurichten, um auch in Zukunft den Zugriff auf die im Archiv gesicherten Informationen zu gewährleisten. Eine wichtige Aufgabe ist es, Entwicklungen auf dem Hard- und Softwaremarkt zu überwachen und gegebenenfalls Maßnahmen wie zum Beispiel Migration oder Emulation durchzuführen, die sicherstellen, dass das Archivsystem auch unter veränderten Bedingungen wie neuer Hardware oder neuen Programmen noch weiterhin ablauffähig ist.

- **Access (Nutzung)**

Der Access-Prozess dient als Schnittstelle zwischen den gespeicherten Dokumenten und den Verbrauchern. Er beinhaltet die Annahme von Anfragen, prüft Zugriffsrechte und erzeugt Dissemination Information Packages, um diese an den Verbraucher weiterzuleiten (vgl. BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003, S. 29-31 ; LUPPRIAN 2000).

Im Prozessmodell nicht abgebildet ist noch ein weiterer Funktionsbereich mit dem Namen *Common Services* (Allgemeine Dienste). Dieser ist systemumspannend und abhängig von der jeweiligen Implementierung in das Archivsystem, weswegen er nicht im oben abgebildeten Prozessmodell aufgeführt ist. Er beinhaltet folgende Dienste:

- *Operating system services*

Hierunter fallen alle Dienste, die für den Betrieb der gewählten Hardware zuständig sind, sowie die Einrichtung von Schnittstellen zwischen der Anwendungssoftware und der Plattform.

- *Network services*

Alle Dienste, die den Zugang zum OAIS aus externen Netzwerken, wie zum Beispiel dem Internet, bewerkstelligen sollen.

- *Security services*

Dieser Bereich beinhaltet alle Dienste, welche die Authentizität und Integrität der Daten sicherstellen, sowie Dienste, die zur Kontrolle über Zugriffsrechte von Benutzern notwendig sind (vgl. CCSDS 2002, S. 40-41).

Das OAIS-Referenzmodell beschreibt in den vorgehend erläuterten sechs Prozessen den Fluss von Informationen vom Erzeuger in das Archiv, beziehungsweise vom Archiv zum Verbraucher. Allerdings werden keine technischen Standards vorgegeben, sondern nur der prinzipielle Aufbau eines Archivsystems. So liefert das OAIS-Referenzmodell ein konzeptionelles Grundgerüst, welches sich beliebig erweitern lässt und sich damit den verschiedenen Anforderungen und Bedürfnissen anpassen kann. Diese Flexibilität ist von einem großen Vorteil, da die Implementierung der Schlüsselprozesse dem jeweiligen Anbieter frei überlassen wird (vgl. BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003, S. 31).

4.4 Prozessmodell des Deposit System for Electronic Publications (DSEP)

Im Jahr 1998 wurde ein Gemeinschaftsprojekt mehrerer europäischer Nationalbibliotheken und –archive, Organisationen aus der Informations- und Kommunikationstechnologie sowie Verlagen gegründet – das Projekt *Networked European Deposit Library (NEDLIB)*³⁸. Dieses Projekt, unter der Leitung der Nationalbibliothek der Niederlande, hatte zum Ziel, Lösungsmöglichkeiten für die langfristige Archivierung von elektronischen Publikationen zu entwickeln. Zu

³⁸ <http://nedlib.kb.nl/>

diesem Zweck wurde das Konzept eines *Deposit System for Electronic Publications (DSEP)* vorgestellt, in dem Prozesse modelliert wurden, die Bibliotheken zur langfristigen Archivierung von elektronischen Dokumenten anwenden müssen. Das DSEP wird hier nicht als eigenständige Einheit betrachtet, sondern soll in den Geschäftsgang einer digitalen Bibliothek integriert werden. Traditionell wird der Geschäftsgang einer Bibliothek in die vier Bereiche

- Bestandsaufbau
- Bestandserschließung
- Bestandsaufbewahrung und Bestandserhaltung
- Bestandsvermittlung

eingeteilt (vgl. BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003, S. 32-33).

Das DSEP wird als eigenständiges Modul in einem gewöhnlichen Bibliothekssystem eingefügt, um die Funktionen des bestehenden Systems im Bezug auf die elektronische Langzeitarchivierung zu erweitern und ergänzen. Als Basis des DSEP dient das OAIS-Referenzmodell, wobei den Komplexen besonderes Gewicht beigemessen wird, welche in einem herkömmlichen Bibliotheksmodell bisher nicht unterstützt wurden. Der Geschäftsgang eines DSEP besteht daher aus der Schnittmenge zwischen den vom traditionellen Bibliotheksmodell verwendeten Prozessen, sowie denjenigen, die zur Bearbeitung digitaler Objekte erforderlich sind (vgl. LIEGMANN 2001, S. 106-107).



Abb. 11: Geschäftsgang einer digitalen Bibliothek mit einem DSEP, EP steht für „Elektronische Publikation“ (vgl. LIEGMANN 2001)

Das DSEP besitzt im Gegensatz zum OAIS-Referenzmodell den Unterschied, dass es bereits über eine bestimmte Umgebung verfügt. Daher tritt an Stelle des „Producers“ und des „Consumers“³⁹, also den Datenerzeugern bzw. Datenverbrauchern, das vorhandene Bibliothekssystem. Hieraus ergeben sich im DSEP zwei neue Prozesse, die als Schnittstellen zum Bibliothekssystem dienen sollen. Daraus resultiert das folgende Prozessmodell, wobei sich die eingeklammerten Zahlen auf die einzelnen Prozesse des Geschäftsgangs aus Abb. 11 beziehen und wie sie auf die sechs Schlüsselprozesse des OAIS-Referenzmodells verteilt sind (vgl. BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003, S. 33).

³⁹ siehe Abb. 10

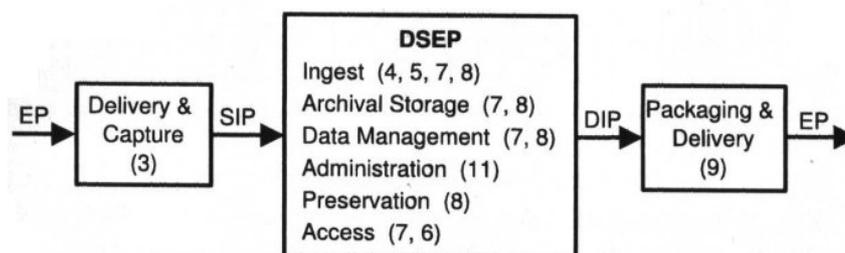


Abb. 12: Das Prozessmodell eines DSEP (vgl. BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003, S. 33)

Aus diesem Modell gehen die zwei neuen Prozesse hervor, *Delivery & Capture* sowie *Packaging & Delivery*. Die Aufgaben dieser Prozesse werden im folgenden genauer beschrieben:

- **Delivery & Capture**

Der Prozess *Delivery & Capture* ist für das Annehmen und Aufbereiten neu eingehender elektronischer Publikationen zuständig, die in das DSEP aufgenommen werden sollen. Diese werden von der Erwerbungs-komponente des Bibliothekssystems zur Verfügung gestellt. Da die Bibliotheken auf die verwendeten Datenformate der übermittelten Publikationen keinen Einfluss haben, liegen diese in unterschiedlichen Formaten vor, die vom Prozess *Delivery & Capture* in ein den Standards des DSEP entsprechendes Submission Information Package (SIP) umgewandelt werden. Ist dieser Prozess abgeschlossen, wird das SIP an den Prozess *Ingest*⁴⁰ weitergeleitet.

- **Packaging & Delivery**

Der *Packaging & Delivery*-Prozess ist verantwortlich für die Auslieferung von den in der DSEP gespeicherten Publikationen. Hierfür wird vom *Access*-Prozess ein *Dissemination Information Package* (DIP) angefordert und für den Nutzer aufbereitet. Ein DIP enthält das angeforderte Dokument in einem bestimmten Format, sowie Metadaten und eventuell Software, wie zum Beispiel ein Viewer-Programm oder ein Emulator, um das gewünschte Dokument mittels des Bibliothekssystems anzeigen zu können (vgl. VAN DER WERF 2000, S. 22-23 u. 45-46).

⁴⁰ siehe hierfür unter Punkt 3.3

Eine zentrale Bedeutung im DSEP-Prozessmodell nimmt der Preservation-Prozess ein. Dieser Prozess, der unter Punkt 3.3 beschrieben wurde, war im ursprünglichen OAIS-Referenzmodell nicht vorgesehen und wurde erst auf Anregung der NEDLIB in das OAIS-Modell aufgenommen. Im DSEP-Prozessmodell gliedert sich dieser Prozess in zwei Subprozesse: *Preservation Planning* und *Preservation Activities*.

Das Preservation Planning ist für die Probleme und Lösungsansätze der Langzeitarchivierung zuständig. Dazu gehören das Entwerfen von Standards und Konzepten für die Archivumgebung, die Entwicklung von Designs für die SIPs, AIPs und DIPs, das Definieren der verwendeten Hard- und Softwarekomponenten sowie die Beobachtung der aktuellen Entwicklungen im IT-Bereich, die sich auf das DSEP auswirken könnten.

Der Subprozess Preservation Activities dient zur Koordination und Überwachung der laufenden Aktivitäten zur Langzeitarchivierung. Hierzu zählen die Aktualisierung der gespeicherten AIPs, etwa im Falle einer Migration der Dokumente. Des Weiteren werden in diesem Prozess neue Referenz-Plattformen⁴¹ erzeugt, etwa wenn neuere Publikationen auf der aktuellen Plattform nicht laufen und daher ein Hardware- und/oder Softwareupdate benötigt wird (vgl. BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003, S. 32-33).

5 Erhaltungsstrategien zur Langzeitarchivierung

5.1 Migration

Unter dem Begriff *Migration* versteht man ein Verfahren, um digitale Dokumente so zu modifizieren, dass sie unter veränderten Umgebungsbedingungen ohne inhaltlichen oder strukturellen Informationsverlust weiterhin verwendet werden können (vgl. LIEGMANN 2001, S. 103). Der Abschlussbericht der *Task Force of Digital Information* aus dem Jahr 1996 liefert hierzu eine häufig zitierte Definition:

⁴¹ Eine Referenz-Plattform besteht aus der Hardware, dem Betriebssystem, Emulatoren sowie Software

Migration ist der periodische Transfer digitalen Materials von einer Hard- bzw. Softwarekonfiguration zu einer anderen Konfiguration, von einer Generation der Computertechnologie zur nachfolgenden Generation. Das Ziel der Migration ist es, die Integrität von digitalen Objekten zu erhalten. Auf Anwenderseite soll stets gewährleistet sein, dass Daten trotz sich ständig ändernder Technologien empfangen, angezeigt oder anders genutzt werden können (TFADI 1996, S. 6).

Das hauptsächliche Ziel der Migrationsstrategie ist es also, digitale Dokumente zu konvertieren, bevor die verwendeten Dateiformate oder Datenträger veraltet sind, um sie auf den jeweils aktuellen Rechnern und Programmen betrachten zu können. Da sich technologische Veränderungen ständig vollziehen, ist die Migration kein einmaliger Prozess, sondern muss regelmäßig durchgeführt werden, um auf diese Veränderungen angemessen zu reagieren (vgl. BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003, S. 38-39). Die Durchführung der Migration unterscheidet hauptsächlich zwei Verfahren, die hier ausführlich vorgestellt werden sollen.

- **Change Media – Wechseln des Datenträgers**

Dieses Verfahren unterscheidet drei Möglichkeiten. Zum einen die Migration auf nicht-digitale Medien wie Papier oder Mikrofilm⁴², die den Vorteil der längeren Haltbarkeit gegenüber digitalen Speichermedien bietet. Des weiteren besteht die Möglichkeit der Migration von einem digitalen Speichermedium zu einem anderen, wie zum Beispiel von Magnetband zu optischen Speichermedien. Dies bietet den Vorteil, dass logische Dateistrukturen größtenteils beibehalten werden können. Eine dritte Variante ist das sog. *Refreshment*, das Übertragen von Informationen von einem Medium zu einem anderen Medium des selben Typs, um Verluste durch Alterung des Medientyps zu verhindern (vgl. BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003, S. 45 ; HESS 2000, S. 4).

- **Change Format – Ändern des Formats**

Eine weitere Migrationsstrategie ist die Änderung des Datenformats. Hierzu werden Daten in Formate umgewandelt, die momentan als Standards angesehen werden, um sie mit aktuellen Anwendungsprogrammen betrachten und verarbeiten zu können. Da sich der Softwaremarkt ständig

⁴² Die Speicherung von digitalen Daten auf Mikrofilmen wurde unter Punkt 2.2.1 beschrieben

weiterentwickelt und sich somit auch die verwendeten Formate ändern, ist diese Methode der Migration regelmäßig durchzuführen. Durch das Verwenden von weit verbreiteten Standardformaten finden Formatwechsel jedoch seltener statt, außerdem wird die Komplexität zukünftiger Migrationsvorgänge verringert, da weniger unterschiedliche Dateiformate zu verarbeiten sind und eine gewisse Software- und Plattformunabhängigkeit geschaffen wird (vgl. BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003, S. 48 ; HESS 2000, S.6). Von besonderer Wichtigkeit bei diesem Verfahren ist es, die logischen Dateistrukturen, Zugriffsbeschränkungen oder Formatierungen zu erhalten. Allerdings kann dies nicht immer gewährleistet werden, da zwischen dem alten und neuen Format Unterschiede bestehen, was dazu führen kann, dass Daten verfälscht werden oder im schlimmsten Fall verloren gehen. „...there is always concern about the loss of data or problems with the quality when a transfer is made.” (HODGE, CARROLL 1999, S. 56) Daher ist es nach Möglichkeit ratsam, konvertierte Daten auf Abweichungen gegenüber dem Original zu prüfen.

5.2 Emulation

Neben dem Migrationsverfahren besteht eine weitere häufig verwendete Strategie zur Erhaltung digitaler Objekte – die *Emulation*⁴³. Bei diesem Verfahren wird ein veraltetes System mittels eines Emulatorprogramms in einer neuen Hard- und Softwareumgebung imitiert, um unveränderte Originalsoftware in ihrer ursprünglichen Form lauffähig zu halten. Jeff Rothenberg liefert hierfür folgende Definition:

(...) an emulator is a program that runs on the new computer and makes it behave like the old computer, which allows the new computer to run virtually any program that originally ran on the old computer, thereby virtually recreating the old computer (ROTHENBERG 2002, S. 40).

⁴³ Emulation stammt vom lateinischen Begriff *aemulari* (Nachahmen)

Das Prinzip der Emulation ist nicht neu und wurde auch nicht speziell für die Erhaltung digitaler Dokumente entwickelt. Im Internet finden sich zahlreiche Emulatoren, um Computerspiele und ihre Plattformen⁴⁴ sowie veraltete Rechnergenerationen⁴⁵ zu Simulieren (vgl. VAN DER HOEVEN, VAN WIJNGAARDEN 2005, S. 6). Insgesamt unterscheidet man drei Möglichkeiten der Emulation:

1. Die direkte Emulation der Anwendungsprogramme, ohne die zugrundeliegende Hardware oder das Betriebssystem zu berücksichtigen.
2. Die Archivierung der Anwendungsprogramme bei Emulation des Betriebssystems, ohne die ursprünglich zugrundeliegende Hardware zu berücksichtigen.
3. Die Archivierung der Anwendungssoftware und des Betriebssystems bei Emulation der ursprünglichen Hardware (vgl. ROTHENBERG 2000, S. 25-26).

Die dritte Möglichkeit scheint für die Emulation am geeignetsten, da komplexe Programme wie Software oder Betriebssysteme nach heutigem Stand einfach nicht präzise und vollständig emuliert werden können. Da Emulatoren schon beim Entwurf neuer Hardware eingesetzt wird, kann man davon ausgehen, dass sich ältere Hardwaretypen hinreichend präzise durch Emulation nachbilden lassen (vgl. BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003, S. 67). Um die ursprüngliche Hardware zu emulieren wird allerdings eine sehr genaue Spezifikation dieser zu emulierenden Hardware benötigt. Diese sog. *Emulatorspezifikation* enthält alle Informationen, die zur genauen Nachbildung einer Rechnerarchitektur erforderlich sind, wie Prozessor, Bedienung, Originalgeschwindigkeit des Systems oder Bildschirmdarstellung.

Daneben muss die Emulatorspezifikation alle Informationen zur Programmierung des Emulators enthalten sowie von der jeweiligen Computerplattform unabhängig sein. Somit kann bei jedem Schritt auf eine neue Plattform auf Grundlage der Spezifikation ein neuer Emulator programmiert werden (vgl. BÓDI 2000, S. 8 ; ROTHENBERG 1999, S.18).

⁴⁴ Emulatoren gibt es für fast alle Videospiele, wie z. B. Atari, Sega oder Nintendo. Ein bekannter Emulator für alte Spielhallenklassiker ist MAME (<http://www.mame.net>)

⁴⁵ Als Beispiele seien hier der Commodore 64 oder der Amiga genannt

Um die Emulationsstrategie konkret durchzuführen, schreibt Rothenberg bestimmte Voraussetzungen vor:

1. Die Entwicklung einer Technik für das Erstellen der Emulatorspezifikation, um dessen Nutzung auch auf zukünftigen Computersystemen gewährleisten zu können.
2. Entwicklung von Methoden zur Erstellung und Verarbeitung von Metadaten.
3. Entwicklung von Methoden zur Verkapselung von Daten, die den natürlichen Zusammenhalt der Daten sowie Schutz vor unberechtigtem Zugriff sicherstellen sollen.
4. Entwicklung von Hilfen, die dem zukünftigen Benutzer bei der Handhabung der emulierten Soft- und Hardware unterstützen sollen, zum Beispiel durch Bereitstellung der Bedienungsanleitung der veralteten Programme (vgl. ROTHENBERG 2000, S. 57-61).

Diese oben erwähnten *Datenkapseln* bilden die Basis der Emulation und bestehen aus den gespeicherten Dokumenten mitsamt ihrer Software, den dazugehörigen Metadaten sowie der Emulatorspezifikation. Zusätzlich zu den digitalen Dokumenten müssen in der Kapsel die vollständige Software sowie das Betriebssystem enthalten sein, welche zur Verarbeitung der archivierten Dateien notwendig sind. Neben der oben erwähnten Emulatorspezifikation sind auch Metadaten von Bedeutung. Außer den üblichen beschreibenden Informationen müssen hier auch Daten über die Herkunft und Geschichte des Dokuments sowie Angaben über die emulierte Hardware und verwendete Software gespeichert werden. Besonders wichtig ist es, dem Benutzer Informationen bereit zu stellen, die ihm beschreiben, wie die eingekapselten Daten extrahiert und bearbeitet werden können. Fehlen diese Informationen, bleiben dem Benutzer diese Daten unter Umständen verwehrt (vgl. BÓDI 2000, S. 7-8).

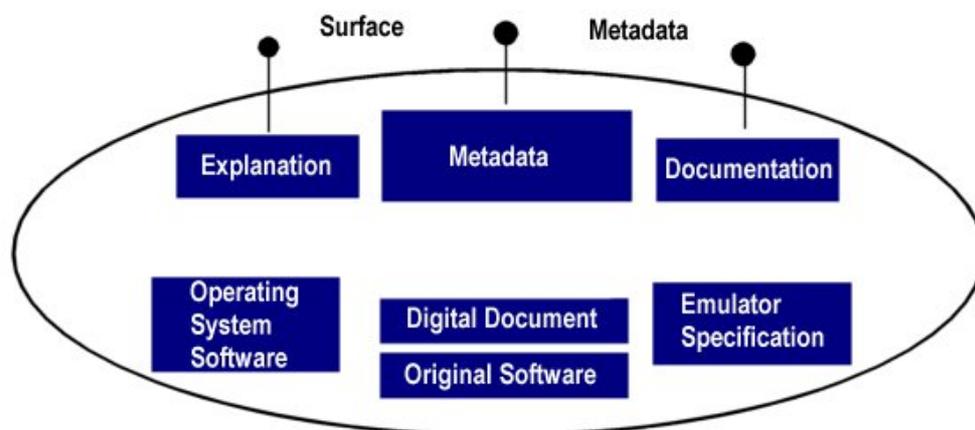


Abb. 13: Aufbau einer Datenkapsel (vgl. ROTHENBERG 2000)

5.1 Hardware-Museum

Um veraltete elektronische Dokumente in ihrer ursprünglichen Umgebung bearbeiten zu können, wurde die Strategie verfolgt, veraltete Hardware mitsamt der dazugehörigen Software in einem so genannten *Hardware-Museum* zu bewahren. Dieser Ansatz ist allerdings aufgrund zahlreicher Probleme zum Scheitern verurteilt. Zuerst sei hier die Lebensdauer der Hardware genannt. Computerchips unterliegen chemischen Alterungsprozessen, die nicht aufzuhalten sind, sollte das Gerät auch noch so vorsichtig gelagert oder so gut wie nie benutzt worden sein (vgl. DOOIJES 2000, S. 1-4 ; ROTHENBERG 1999, S. 13). Da für obsolete Gerätschaften in der Regel keine Ersatzteile mehr hergestellt werden, müsste man die technischen Spezifikationen zur Aufbau und Funktionsweise des Gesamtsystems aufbewahren, um diese Bausteine bei Bedarf selbst zu produzieren. Des Weiteren müsste man sämtliche erforderliche Software, beispielsweise Betriebssysteme oder Anwendersoftware, bereithalten und bei Bedarf installieren (vgl. BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003, S. 18). Da aber, wie schon unter Punkt 2 beschrieben, Datenträger nur eine begrenzte Haltbarkeit besitzen, ist nicht gewährleistet, dass die Software auf den Originaldatenträgern überhaupt noch funktionsfähig ist. Ein weiterer Punkt ist die Bedienbarkeit der

Geräte. Bei Maschinen, die ohne grafische Benutzeroberfläche funktionieren, bedarf es Personal, welches über entsprechendes Wissen verfügt, um mit Befehlszeileneingabe oder exotischen Programmiersprachen umgehen zu können. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Aufbau eines Hardware-Museums aufgrund seines hohen Bedarfs an Material und Personal umfangreiche Kosten verursacht und durch die zu erwartende Ausfallrate bei Hard- und Software für die Langzeitarchivierung nicht geeignet ist (vgl. BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003, S. 16-18 ; ROTHENBERG 1999, S. 12-13).

5.4 Verwendung von Standardformaten

Wie bereits beim Migrationsprozess unter 4.1 angesprochen, ist ein zentraler Punkt für die Gewährleistung der Langzeitarchivierung die Wahl des richtigen Datenformats. Durch die große Anzahl von Software existiert mittlerweile eine fast unüberschaubare Auswahl an verschiedenen Formaten. Einige Anwendungen benutzen zur Datenspeicherung ihre eigenen Dateiformate, welche speziell an diese Programme gebunden sind und von anderen Anwendungen meist nicht verarbeitet werden können, wie z. B. Dateiformate der Microsoft-Office Anwendungen. Daneben existieren sogenannte *Austauschformate*, dessen Spezifikationen offengelegt wurden und auf größtmögliche Kompatibilität mit verschiedenen Systemen ausgelegt sind. Als Beispiel hierfür sei das PDF-Format genannt. Um das passende Dateiformat für die Langzeitarchivierung zu wählen, sollten diese gewisse Kriterien erfüllen:

- **Standardisierung**

Es sollte ein Format gewählt werden, welches von einer internationalen Standardisierungsinstitution⁴⁶ anerkannt ist. Dadurch kann auf Veränderungen effektiver reagiert werden.

⁴⁶ Hierzu zählen die International Organisation of Standardization (ISO), American National Standard for Information Sciences (ANSI) oder das World Wide Web Consortium (W3C)

- **Transparenz**

Das Format sollte nach Möglichkeit öffentlich sein, d.h. die Spezifikationen des Formats sind frei zugänglich.

- **Bekanntheit**

Um sicherzustellen, dass ein Format auf vielen Plattformen abgespielt werden kann, sollte man sich für ein anerkanntes und häufig genutztes Format entscheiden.

- **Gebührenfreiheit**

Auf das Format sollten keine Patent- oder Lizenzgebühren erhoben werden. Hier ist Vorsicht bei gebührenfreien, patentierten Formaten geboten, bei denen die Patenthalter erst später Lizenzgebühren erheben, so geschehen beim JPEG-Format (vgl. BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003, S. 42 ; www.digitalpreservation.gov. 29.05.2006).

Welches Format für die Archivierung gewählt wird, hängt außer den obigen Anforderungen auch von der Art des Dokuments ab und wofür es verwendet wird. Eine Auflistung der momentan verbreiteten Standardformate wird in der folgenden Tabelle präsentiert:

Kategorie	Standardformate
Daten	PDF, PostScript, ASCII, CSV, SQL
Strukturierter Text	PostScript, PDF, TeX, DSSSL, SGML, HTML, XML
Office-Dokument	PostScript, PDF, DSSSL, RTF, ASCII, SGML, TIFF, CGM
Bild	PostScript, PDF, TIFF, GIF, JPEG
Tonaufnahme	MPEG-1 audio layers 1/2/3 , MP3, MIDI
Videoaufnahme	MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4

Tab. 4: Standardformate für verschiedene Datentypen (vgl. HENDLEY 1998)

Die wichtigsten Formate für textbasierte Dokumente sollen im folgenden Abschnitt kurz vorgestellt werden.

5.5 Langzeitstabile Formate für textbasierte Informationen

- **American Standard Code for Information Interchange (ASCII)**

ASCII-Text ist die einfachste Art, Textdokumente zu kodieren. Mit seinen insgesamt 256 darstellbaren Zeichen können nur Buchstaben und Sonderzeichen dargestellt werden. Auf zusätzliche Funktionen wie Formatierung, Hyperlinks oder Multimediale Elemente kann nicht zugegriffen werden, es ist also ein reines Textformat, was zur Darstellung lediglich einen einfachen Editor oder Viewer benötigt (vgl. MÖNNICH 2000, S.193-194). Zur Langzeitarchivierung wäre der ASCII-Code aufgrund seiner Standardisierung und einfachen Konvertierungsmöglichkeiten gut geeignet, ist aber wegen seiner einfachen Strukturierung für heutige Bedürfnisse nicht mehr zeitgemäß.

- **Portable Document Format (PDF)**

Das PDF-Format ist ein 1993 von *Adobe Systems* entwickeltes Format zur systemübergreifenden Seitenbeschreibung und hat sich in den letzten Jahren als Standard für die Erzeugung von Druckvorlagen entwickelt, nicht zuletzt durch die weite Verbreitung des kostenlosen *Adobe Reader*. PDF ist „als universelles Dateiformat konzipiert, das alle Schriften, Formatierungen, Farben und Grafiken eines beliebigen Quelldokuments beibehält, unabhängig von dem Programm und dem Betriebssystem, mit dem es erstellt wurde.“ (MÖNNICH 2000, S. 198) Da es aufgrund seiner eingeschränkten Recherchierbarkeit und Konvertierbarkeit zur Langzeitarchivierung weniger geeignet ist, wird speziell für diesen Zweck das Format PDF/A entwickelt, um einen internationalen Standard für die digitale Archivierung von Schriftgut zu definieren, der im Jahr 2006 als ISO-Standard aufgenommen werden soll (vgl. FUELLE, OTT 2006, S. 38).

- **SGML, XML und HTML**

Besonders langzeitstabile Formate für textbasierte Informationen sind die beschreibenden Sprachen SGML, XML und HTML. SGML (Standard Generalized Markup Language) ist eine Dokumentenbeschreibungssprache,

welche die logische Struktur und den Inhalt von elektronischen Dokumenten beschreibt. Eine SGML-Datei besteht aus einer normalen Textdatei, wobei die Auszeichnung der Inhalte ebenfalls in Textform erfolgt. So kann ein Text in SGML wie folgt als Überschrift deklariert werden:

```
<ueberschrift> Text der Überschrift </ueberschrift>
```

Der Vorteil von SGML liegt darin, dass die Auszeichnung nicht vorgegeben ist und vom Anwender frei definiert werden kann, wodurch jedes Dokument entsprechend seiner Eigenart nach Inhalt und Struktur erschlossen wird. Allerdings konnte sich SGML aufgrund seiner komplexen Möglichkeiten nur begrenzt durchsetzen. Erst durch die Seitenbeschreibungssprache für Internetbrowser – HTML (Hypertext Markup Language) – wurde SGML verbreitet, da HTML eine konkrete Anwendung von SGML ist. Allerdings können mit HTML aufgrund seiner festgelegten Struktur medienneutrale oder inhaltlich orientierte Auszeichnungen nur begrenzt vorgenommen werden (vgl. FUELLE, OTT 2006, S.18-19). Aufgrund der eingeschränkten Funktion von HTML wurde vom World Wide Web Consortium⁴⁷ (W3C) eine Möglichkeit geschaffen, die Vorteile der Sprache SGML zu nutzen ohne deren volle Komplexität einzubringen. So wurde XML (Extended Markup Language) als vereinfachte Teilmenge von SGML entwickelt. Zu den Vorteilen zählen hier die freie Festlegung der Attribute, wodurch Anpassungen an der Syntax und Semantik der Beschreibungselemente vorgenommen werden können. Wie bei HTML können Links in die Dokumentenstruktur integriert werden um auf bestehende Dokumente zu referenzieren. Des weiteren kann XML von allen neueren Webbrowsern interpretiert werden (vgl. www.bsi.de. [b] 03.06.2006) Da XML ein kostenfreies, offenes, vom W3C standardisiertes und zunehmend weit verbreitet Format ist, erfüllt es sämtliche Voraussetzungen zur Langzeitarchivierung.

⁴⁷ <http://www.w3c.org>

6 Auseinandersetzung verschiedener Aspekte der Langzeitarchivierung

Die Langzeitarchivierung von digitalen Daten umfasst ein weites Feld aus vielen Aspekten. Für lange Zeit wurde das eigentliche Problem, die Speicherung und Nutzbarkeit digitaler Informationen über einen langen Zeitraum, weitgehend ignoriert. Erst als man sich der Gefahr bewusst wurde, dass riesige Mengen an Informationen durch Datenverlust unwiederbringlich verloren gehen und somit das „digitale Erbe“ für zukünftige Generationen ausgelöscht werden kann, begann man über Lösungsstrategien nachzudenken. Allerdings sind Lösungen für eine vernünftige Langzeitarchivierung mit sehr viel Aufwand und Schwierigkeiten verbunden (vgl. REINER 2006).

6.1 Datenträger und ihre Rolle in der Langzeitarchivierung

Oftmals ist man der Illusion verfallen, dass digitale Objekte, da sie ja eigentlich nur aus einer Folge von Nullen und Einsen bestehen, ewig von Bestand sind, im Gegensatz zum „klassischen“ Medium Papier, welches im Laufe der Jahre einem erheblichen physischen Verfall ausgesetzt ist. Allerdings müssen Daten gespeichert werden, was zu einem ernsten Problem führt: Speichermedien für digitale Daten haben eine begrenzte Lebensdauer. Hierbei muss man sich vor Augen führen, dass sich, besonders seit der Einführung von optischen Speichermedien, ein immer schnellerer technologischer Wandel vollzogen hat. Damit einhergehend hielten wechselnde Standardmedien Einzug. Während Magnetbänder seit den 1950er Jahren bis heute noch in ständig weiterentwickelten Formen bestehen, hat das Medium Diskette als Massenspeicher heutzutage fast keine Bedeutung mehr. Noch schneller schreitet die Entwicklung der optischen Speichermedien voran. Hatte sich die CD-ROM seit den 1990er Jahren als

Speichermedium etabliert, wurde sie schon zu Beginn des 21. Jahrhunderts von der DVD abgelöst. Doch auch die noch relativ junge DVD wird schon bald von ihren Nachfolgeformaten HD-DVD bzw. Blu-Ray Disc technisch überholt werden (vgl. COY 2006, S. 29). Gerade dieser Technologiewandel führt zu dem Problem, dass obsoletere Abspielgeräte vom Markt verschwinden und die Daten auf den veralteten Medien nicht mehr auszulesen sind. Ältere Magnetbändergenerationen und besonders Diskettenmedien sind hiervon betroffen. Aufgrund fehlender Schnittstellen zu heutigen Computern und fehlender Hardware ist es kaum noch möglich, beispielsweise Daten von 5 ¼-Zoll Disketten – sollten sie aufgrund ihrer Alterung überhaupt noch lesbar sein – auf die heutige Technologie „herüberzuretten“ (vgl. REINER 2006). Bei optischen Speichermedien ist hingegen eine Abwärtskompatibilität gegeben, was dieses Problem entschärft. Allerdings muss man bei der Langzeitarchivierung immer von großen Zeiträumen ausgehen, daher muss man damit rechnen, dass in 50 Jahren die optische Speichertechnik von einer ganz anderen Technologie abgelöst werden kann und die auf ihr gespeicherten Daten nicht mehr ausgelesen werden können. Abgesehen von der technischen Veralterung der Abspielgeräte besteht gerade bei optischen Speichermedien das Problem ihrer ungewissen Lebensdauer. Aufgrund der in Kapitel 3 beschriebenen technischen Eigenschaften dieser Datenträger sind diese eigentlich als unempfindlich geltenden Medien über einen längeren Zeitraum Umwelteinflüssen ausgesetzt, die unter ungünstigen Voraussetzungen zu Datenverlust bis hin zum Totalausfall des Speichermediums führen können. Da es sich hier um ein relativ „junges“ Speichermedium handelt, insbesondere was beschreibbare bzw. wiederbeschreibbare CD/DVD-Medien angeht, sind naturgemäß keine Erfahrungswerte im Bereich der Langzeitarchivierung vorhanden. Die durchgeführten Alterungstests können höchstens statistisch einen bestimmten Punkt voraussagen, an dem das Medium wahrscheinlich nicht mehr lesbar ist, ob die vom Hersteller prognostizierte Lebensdauer erreicht wird, kann nicht garantiert werden (vgl. GISELMANN 2005, S. 44). Bezüglich der Lebensdauer existieren eine weite Spanne an Aussagen. Von Herstellerseite werden – je nach Medientyp – 100 bis 200 Jahre angegeben, allerdings sind auch Fälle bekannt, in denen Medien schon innerhalb von fünf Jahren nicht mehr

gelesen werden konnten. Diese variablen Angaben führen bezüglich der Verwendung als Archivmedium zu Verunsicherung (vgl. IRACI 2005, S. 134). Nicht zuletzt aufgrund dieser Unsicherheit über die Haltbarkeit optischer Speichermedien ist der Mikrofilm wieder verstärkt in den Fokus getreten, welcher von Archiven nach wie vor bevorzugt zur Langzeitarchivierung eingesetzt wird. Dieser besitzt den Vorteil der geringeren Kosten sowie eine lange Lebensdauer, kann aber multimediale, Hypertext- oder Datenbank-Dokumente nicht mit ihren Funktionen speichern und bietet keinen direkten Zugriff auf die gesicherten Daten (vgl. BEI DER WIEDEN 2006). Für textbasierte Dokumente ist der Mikrofilm besser geeignet, besonders die Entwicklung neuer Techniken im Bereich der COM-Anlagen kann trotz hoher Investitionskosten einen wichtigen Beitrag zur Zukunftsfähigkeit des Mikrofilms darstellen (vgl. FISCHER 2005). Einen ähnlichen Ansatz zur Langzeitarchivierung auf einem analogen Datenträger bietet die sogenannte *Rosetta-Disk* oder *HD-Rosetta*, welche von der Firma *Norsam*⁴⁸ entwickelt wurde. Hierbei handelt es sich um einen quadratischen Datenträger mit etwa 5 cm Kantenlänge, auf dem Daten mittels eines Ionenstrahls in eine Nickellegierung geätzt werden. Auf diese Weise lassen sich zwischen 30.000 und 350.000 Textseiten oder TIFF-Dateien in einer etwa tausendfachen Verkleinerung speichern. Dieser Datenträger soll bis zu 2000 Jahre haltbar sein (vgl. LUPPRIAN 2001). Allerdings ist dieses System eher als Backup-Medium anzusehen, da nur wenige Formate unterstützt und multimediale Objekte auch hier nicht gespeichert werden können (vgl. COY 2006, S. 28).

Neben den momentan entwickelten Nachfolgeformaten der DVD steht ein vielversprechendes optisches Speichermedium kurz vor der Marktreife – der holografische Speicher⁴⁹. Diese Speichertechnik würde die heute verwendeten optischen Speichermedien in ihrer Kapazität und Übertragungsgeschwindigkeit weit übertreffen. So soll ein Medium etwa 300 Gigabyte an Daten fassen, was mehr als sechzig DVDs (4,7 GB) entspricht. In einer weiteren Produktgeneration sollen sogar Kapazitäten von 1,6 Terabyte möglich sein (vgl. FEDDERN 2005 b,

⁴⁸ <http://www.norsam.com/rosetta.html>

⁴⁹ Bei der Aufzeichnung in einem Holografiespeicher wird der Laserstrahl in einen Signalstrahl, welcher die Daten enthält, sowie einen Referenzstrahl aufgeteilt. Der Signalstrahl wird durch einen Modulator verändert und vereinigt sich auf dem Speichermedium mit dem Referenzstrahl. Das dabei entstehende Interferenzmuster wird dreidimensional auf dem Datenträger gespeichert, der aus anorganischen Kristallen oder Photopolymeren besteht.

S. 90). Ob sich dieses Medium auf dem Markt durchsetzen kann und welche Kosten für Laufwerke und Medien aufgebracht werden müssten, ist zu diesem Zeitpunkt allerdings noch nicht vorauszusehen.

Auch neuentwickelte, langzeitstabile Datenträger können die Probleme der Langzeitarchivierung nicht grundsätzlich lösen. Da sich Formate und Softwareumgebungen ständig ändern, ist eine regelmäßige Migration immer notwendig. Vorteile könnten sich dadurch ergeben, dass sich durch neue Technologien der Zeitpunkt zwischen einzelnen Migrationsvorgängen verlängern kann, außerdem würden mehr Daten auf einen Datenträger gespeichert werden, was den Migrationsprozess weiterhin erleichtern könnte (vgl. REINER 2006).

6.2 Standardisierung in der Langzeitarchivierung

Eine wichtige Herausforderung für die Langzeitarchivierung stellt die Verwendung und Entwicklung von einheitlichen Standards für Dateiformate und Metadaten dar. Während bei der Emulation die Formate eine untergeordnete Rolle darstellen, ist es bei der Migration um so notwendiger, die Anzahl der Datenformate enorm zu reduzieren (vgl. FORNARO 2006). Hier ist besonders darauf zu achten, offene und weit verbreitete Formate zu verwenden. Formate, die einem bestimmten Hersteller zugeordnet werden, wie das Word-Format von Microsoft (.doc), sind zwar verbreitet, allerdings für die Langzeitarchivierung weniger geeignet, da sie nur mit einer bestimmten Software abgespielt werden können und sich das Format oftmals ändert oder vom Markt verschwindet (vgl. REINER 2006). Für textbasierte Dokumente hat sich das PDF-Format mittlerweile als Standard durchgesetzt, obwohl es nicht als offenes Format gilt. Besonders die Entwicklung des PDF/A Formats wird dazu beitragen, die Position von PDF in der Langzeitarchivierung zu festigen. Sollte sich dieses Format durchsetzen, könnte es sehr lange lesbar bleiben (vgl. BORGHOFF 2006 ; LIEGMANN 2002, S. 45-46). Im Bereich von Datenbankdokumenten geht die Tendenz zur Auszeichnungssprache XML. Hier liegt der Vorteil an der Trennung

von Inhalt und Layout sowie der Darstellbarkeit in Webbrowsern. XML kann auch als zukunftssicheres Format für Texte angesehen werden.

6.3 Diskussion von Migration und Emulation

Da die Strategie eines Hardwaremuseums mit zu vielen Schwierigkeiten verbunden ist⁵⁰, findet im Bezug auf die Langzeitarchivierung eine Diskussion zwischen den beiden Strategien Migration und Emulation statt.

Die Strategie der Migration bietet diverse Vorteile, allerdings ist sie auch mit gewissen Risiken verbunden. Zu den Vorteilen zählt unter anderem die Aktualität, da das Dokument mit aktueller Software bearbeitet werden kann, die dem Benutzer keine Einarbeitungszeit abverlangt. In einem aktuellen Format bieten sich außerdem vielfältige Bearbeitungs- und Darstellungsmöglichkeiten an, die eventuell im Originalformat nicht gegeben waren. Durch kontinuierliche Migrationsprozesse sind die gebrauchten Mechanismen und Werkzeuge allgemein bekannt und erfordern keinen zusätzlichen Aufwand für Schulungen. Weiterhin werden Konversionswerkzeuge für wichtige Formate aufgrund des großen Bedarfs ständig weiterentwickelt und in Zukunft stets vorhanden sein (vgl. BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003, S. 55-56). Allerdings ist die Migration keine vollkommen zufriedenstellende Methode der Langzeitarchivierung. Wie bereits unter dem Punkt des *Change Format*-Verfahrens beschrieben, kann es bei Konvertierungen zu Verfälschungen oder Datenverlust kommen, beispielsweise beim Format einer Textdatei, wodurch die Integrität und Authentizität des Originaldokuments nicht gesichert werden kann. „The more complex the digital resources then the more problems are involved ... and the more valuable data is likely to be lost in the process.” (HENDLEY 1998) Stichproben hinsichtlich Qualitäts- oder Datenverlust würden einen erheblichen Mehraufwand an Kosten und Personal bedeuten. Ein weiteres Problem der Migration besteht darin, dass dies ein sehr aufwändiger Prozess ist. Da die Zahl der Daten exponentiell zunimmt, müssen auch immer größere Datenmengen mit der Zeit mittels Migration entweder auf neue Datenträger oder Formate konvertiert werden. Dies

⁵⁰ Siehe Punkt 4.3

bedeutet zum Beispiel für ein elektronisches Archiv, dass „analog dem Zuwachs des Speicherinhalts zwangsläufig ein größer werdender Teil der Kapazität für die Übertragung auf die nächste Systemgeneration reserviert werden muss – Kapazität die ... der eigentlichen Anwendung verloren geht.“ (KUHN 1997, S.359) Durch die immer größere Menge an Daten wird nicht nur eine längere Zeitspanne benötigt, auch die Kosten⁵¹ für den Migrationsprozess werden exponentiell ansteigen (vgl. BUCHHOLZ 1999, S.104-105).

Auch die Emulation ist mit gewissen Vorteilen und Risiken verbunden. Vorteilhaft ist zum einen die Authentizität, da das Originaldokument in seiner ursprünglichen Form erhalten bleibt und Verfälschungen oder Datenverlust somit ausbleiben. Des weiteren ist die Emulation nicht auf bestimmte Formate beschränkt. Auch ist die Emulation mit erheblich weniger Aufwand verbunden, da nur für die Quell- und Zielplattformen ein Emulatorprogramm entwickelt werden müsste, die Anzahl der gespeicherten Dokumente würde hier keine Rolle spielen. Ein Nebeneffekt der Emulation ist, das veraltete Programmsysteme und Rechner für zukünftige Generationen – wenn auch nur virtuell – bewahrt werden können. Allerdings ist auch das Verfahren der Emulation nicht als perfekt anzusehen. Hier wäre zum Beispiel die Weiterverwendbarkeit der Daten zu erwähnen. Will man die Dokumente mit ihrer Originalsoftware weiterverarbeiten, kann der Emulator eventuell an seine Grenzen stoßen. Besonders problematisch sind im Zusammenhang mit der Emulation die urheberrechtlichen Probleme. Werden in einer Datenkapsel die Software und das zugehörige Betriebssystem gespeichert, muss eine Zustimmung seitens der Hersteller vorliegen. Da für die Rechte der Soft- bzw. Hardwarehersteller Lizenzgebühren bezahlt werden müssten, kann dies umfangreiche Kosten verursachen. Zuletzt ist in Zukunft nicht garantiert, dass ein Nutzer noch mit der emulierten Hard- und Softwareumgebung vertraut ist. Bedienung und Benutzeroberfläche können sich in den nächsten Generationen so verändern, dass ein Anwender selbst bei ausführlichen Hilfssystemen mit aus seiner Sicht vorsintflutlichen Programmen nicht zurechtkommt (vgl. BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003, S.81-82 ; BÓDI 2000, S. 11).

⁵¹ Die Kosten für ein Zehnjahresprojekt des Bundesarchivs zur Archivierung elektronischer Daten werden zum Beispiel auf etwa 2,4 Millionen Euro geschätzt

Welche Strategie letztendlich am Sinnvollsten ist, hängt von den Anforderungen ab. Will man auf reine Textdokumente ständig Zugriff haben, scheint Migration die vorteilhaftere Methode zu sein. Komplexe Dateiformate sind auf ihre ursprüngliche Software-Umgebung angewiesen, hier ist Authentizität der entscheidende Faktor, wodurch für diese Formate der Emulationsansatz mehr an Bedeutung gewinnt. In der Praxis scheint ein kombinierter Ansatz sinnvoll, d. h. Dokumente werden nach der Entfernung von Kopierschutz und digitalen Signaturen von ihrem ursprünglichen Datenträger gelöst und in ihrer Ursprungsform samt zugehöriger Abspielumgebung erhalten. Parallel dazu würde man dann per Migration die Dokumente in das aktuelle Format überführen, wobei allerdings mit Verlusten zu rechnen ist (vgl. BORGHOFF 2006).

6.4 Das OAIS-Referenzmodell und seine Anwendung in der Praxis

In den letzten Jahren hat sich das OAIS-Referenzmodell als Standard für die elektronische Archivierung etabliert und wurde mittlerweile von führenden Archivierungsinitiativen übernommen. So hat das nationale Datenarchiv Großbritanniens (NDAD⁵²) seine Routinen und Prozeduren auf das OAIS-Modell umgestellt. Ebenfalls am OAIS-Referenzmodell orientieren sich das australische Nationalarchiv im Rahmen seines PANDORA⁵³-Projektes, welches zur Archivierung von Web-Inhalten dient, sowie dem Projekt „*Object Persistent Archiving*“ des amerikanischen Nationalarchivs⁵⁴. An dieser Stelle sollte besonders das NEDLIB-Projekt erwähnt werden, in dem auf Basis des OAIS-Referenzmodells ein Depotsystem für elektronische Publikationen⁵⁵ entwickelt wurde (vgl. BRÜBACH 2002, S. 8-9). Durch die hier erfolgte Zusammenarbeit von verschiedenen europäischen Nationalbibliotheken ist zu erwarten, dass

⁵² <http://www.ndad.nationalarchives.gov.uk/>

⁵³ PANDORA (Preserving and Accessing Networked Documentary Resources of Australia), siehe unter <http://pandora.nla.gov.au>

⁵⁴ NARA (National Archives and Records Administration), siehe unter <http://www.archives.gov/>

⁵⁵ siehe Punkt 3.4

zukünftig entwickelte Archivsysteme zueinander kompatibel sein werden. Somit leistet das OAIS-Referenzmodell einen wichtigen Beitrag zur Standardisierung im Bereich der Langzeitarchivierung (vgl. REINER 2006). Auf nationaler Ebene wurden Projekte gestartet, welche auf dem OAIS-Modell basierende Archivsysteme beinhalten. Als Beispiele können hier das „*Bibliothekarische Archivierungs- und Bereitstellungssystem*“⁵⁶ der bayrischen Staatsbibliothek oder das Projekt „*Kopal*“⁵⁷ genannt werden, welches erste Testläufe schon erfolgreich durchlaufen hat.

7 Zusammenfassende Betrachtung und Ausblick

Die Erhaltung von elektronischen Dokumenten jeglicher Art ist heutzutage von großer Bedeutung. In unserer Gesellschaft ist die Benutzung von digitalen Informations- und Kommunikationsmedien mittlerweile ein fester Bestandteil des Alltags geworden. Damit einhergehend werden immer größere Mengen an Daten produziert, nicht zuletzt durch die wachsende Bedeutung des Internets steigt die Zahl der ausschließlich digital verfügbaren Informationen. Um dieses stetig wachsende Erbe der Wissens- und Informationsgesellschaft zu bewahren, sind aufwändige Maßnahmen erforderlich, da digitale Informationen nicht ohne ständige Pflege erhalten werden können. Bezeichnend hierfür ist die Situation im Bereich der Datenträger. Bis heute ist kein digitales Speichermedium in der Lage, Informationen über einen längeren Zeitraum zuverlässig zu speichern. Während sich magnetische Speichermedien aufgrund ihrer kurzen Lebensdauer eher als Backupmedium eignen, ist die Nutzung von optischen Speichermedien als Langzeitspeicher noch mit vielen Unsicherheiten behaftet. Da bei optischen Medien ein einheitlicher Qualitätsstandard fehlt, um diese als archivgeeignet zu zertifizieren, wird vielfach dazu übergegangen, Daten schon nach wenigen Jahren komplett auf neue Medien herüberzukopieren. Als einzigstes Medium ist momentan der Mikrofilm in der Lage, Daten über 100 Jahre zu speichern. Da aber

⁵⁶ <http://www.babs-muenchen.de/>

⁵⁷ <http://kopal.langzeitarchivierung.de>

dieses analoge Medium nicht fähig ist, multimediale Objekte aufzunehmen, die in Zukunft immer mehr von Bedeutung sein werden, kann der Mikrofilm nicht als zufriedenstellende Lösung angesehen werden. Durch die schnell voranschreitende technische Entwicklung muss sich ständig wechselnden Standards angepasst werden, was die zuverlässige Langzeitarchivierung weiterhin erschwert. Zum jetzigen Zeitpunkt ist noch nicht geklärt, welche Archivierungsstrategie langfristig am erfolgversprechendsten ist. Zu Migration und Emulation lassen sich diverse Vor- und Nachteile aufzählen. Momentan wird die Migrationsstrategie von vielen Archivierungsinitiativen bevorzugt, da aber Aufwand und Kosten mit steigender Datenmenge anwachsen, sollte dieser Ansatz so weit wie möglich automatisiert werden. Dies kann allerdings zu erheblichen Einbußen in der Authentizität der zu sichernden Dokumente führen.

Eine der wichtigsten Herausforderungen für die digitale Langzeitarchivierung wird die Entwicklung und Anwendung von standardisierten Formaten sein. Um den Zugriff auf digitale Dokumente in Zukunft zu sichern, sollte hier auf offen gelegte Standards gesetzt werden, die auch nach längerer Zeit noch anwendbar sind. Obwohl durch die Entwicklung auf dem Softwaremarkt immer mit neuen Formaten zu rechnen ist, liegt es nahe, die Anzahl der Formate auf ein handhabbares Maß zu beschränken, um so den Aufwand bei Migration und Emulation klein zu halten.

In den letzten Jahren ist man sich der Problematik der digitalen Langzeitarchivierung immer mehr bewusst geworden. Um die Bemühungen in dieser Hinsicht auf nationaler wie internationaler Ebene zu koordinieren wurden zahlreiche Initiativen gegründet. In den USA sei hier das „*National Digital Information Infrastructure and Digital Preservation Program*“⁵⁸ genannt, in Großbritannien die „*Digital Preservation Coalition*“⁵⁹. Auch in Deutschland wurde in diesem Bereich gehandelt:

Das Projekt „*nestor – Kompetenznetzwerk Langzeitarchivierung und Langzeitverfügbarkeit Digitaler Ressourcen in Deutschland*“⁶⁰ dient u. a. als Informations- und Kommunikationsplattform, soll Standards festlegen und ein

⁵⁸ <http://www.digitalpreservation.gov/>

⁵⁹ <http://www.dpconline.org>

⁶⁰ <http://www.langzeitarchivierung.de>

Konzept für die Koordination verschiedener Einrichtungen aufstellen, da einheitliche Richtlinien zur Langzeitarchivierung fehlen. Dass international anerkannte Standards in der Langzeitarchivierung erfolgreich sein können, hat die Entwicklung des OAIS-Referenzmodells gezeigt. Allerdings sind viele Probleme noch ungelöst. Neben den in dieser Arbeit beschriebenen technischen Aspekten stellt sich noch der organisatorische Aspekt. Hier müssen z. B. Sammelrichtlinien erstellt werden, um zu klären, welche digitalen Dokumente überhaupt erhaltenswert sind. Zusätzlich müssen rechtliche Aspekte geklärt werden - Regelungen wie das Urheberrecht oder Kopierschutzmaßnahmen würden die angedachten Strategien Migration oder Emulation gesetzlich aushebeln. In der Zukunft wird es eine große Herausforderung für die digitale Langzeitarchivierung sein, technische Neuentwicklungen genau zu beobachten und angemessen auf sie zu reagieren. Erste Schritte sind bereits getan, doch es ist noch ein langer Weg bis zum Ziel. Die Hauptidee dieser Arbeit ist, dass der Verlust von digitalen Daten aus heutiger Sicht unvermeidlich erscheint. Durch rechtzeitige Reaktion sowie umfangreiche Vorsorgemaßnahmen zur Datenerhaltung kann den vorgenannten Schwierigkeiten begegnet und ein befürchtetes „digitale Mittelalter“ abgewendet werden.

Quellenverzeichnis

ADELBERGER 2004 Adelberger, Sandra: *Bandspeicher-Technologien im Überblick*. In: *Funkschau* (2004), Nr. 2, S. 22-23.

http://www.funkschau.de/heftarchiv/pdf/2004/02/fs_0402_s22.pdf

AWV 2004 Arbeitsgemeinschaft für wissenschaftliche Verwaltung e.V. (Hrsg.): *Sicherheit, Haltbarkeit und Beschaffenheit optischer Speichermedien*. Eschborn : AWV, 2004.

BENNETT 2004 Bennett, Hugh ; Optical Storage Technology Association (Hrsg.): *Understanding Recordable & Rewritable DVD*. Optical Storage Technology Association : Cupertino, California, 2004.

<http://www.osta.org/technology/dvdqa/pdf/dvdqa.pdf>

BLU-RAY DISC FOUNDERS 2004 Blu-Ray Disc Founders (Hrsg.): *White Paper : Blu-ray Disc Format – General*.

http://www.blu-raydisc.com/assets/downloadablefile/general_bluraydiscformat-12834.pdf

BÓDI 2000 Bódi, Dominik: *Emulation als Methode zur Langzeitarchivierung digitaler Dokumente*. Schriftliche Ausarbeitung eines Vortrags im Rahmen des Seminars „Digitale Bibliotheken“ an der Universität der Bundeswehr München. Mai 2000.

<http://scholar.google.de/scholar?hl=de&lr=&safe=off&q=cache:jG9CThnFRLUJ:www2-data.informatik.unibw-muenchen.de/Lectures/FT2000/Digitale-Bibliotheken/handout5.pdf+Emulation+als+Methode+zur+Langzeitarchivierung+digitaler+Dokumente>

BOSCH 2001 Bosch, Xavier : *Fungus Eats CD*. – nature.com. – Version vom: 27.06.2001.

<http://web.archive.org/web/20040608203933/http://www.nature.com/nsu/010628/010628-11.html>

BORGHOFF, RÖDIG U.A. 2003 Borghoff, Uwe M. ; Rödiger, Peter ; Scheffczyk, Jan ; Schmitz, Lothar: *Langzeitarchivierung : Methoden zur Erhaltung digitaler Dokumente*. Heidelberg : dpunkt-verlag, 2003.

BRÜBACH 2003 Brübach, Nils: *OAIS – Das „Open Archival Information System“: Ein Referenzmodell zur Organisation und Abwicklung der Archivierung digitaler Unterlagen*. August 2003.

http://www.sachsen.de/de/bf/verwaltung/archivverwaltung/pdf/pdf_onlinepublikationen/pp_bruebach.pdf

BUCHHOLZ 1999 Buchholz, Matthias: *Archivische Vorbewertung als Instrument elektronischer Überlieferungssicherung*. In: *Archivische Informationssicherung im digitalen Zeitalter : optische-elektronische Archivierungssysteme in der Verwaltung und die Konsequenzen für Kommunale Archive*. Pulheim : Rheinland-Verl. ; Bonn : Habelt, 1999. (Archivhefte / Landschaftsverband Rheinland, Archivberatungsstelle Rheinland ; 33)

BYERS 2003 Byers, Fred R. ; Council on Library and Information Resources (Hrsg.) ; National Institute of Standards and Technology (Hrsg.): *Care and Handling of CDs and DVDs : A Guide for Librarians and Archivists*. Gaithersburg, Maryland : 2003.

<http://www.itl.nist.gov/div895/carefordisc/CDandDVDCareandHandlingGuide.pdf>

CCSDS 2002 Consultative Committee for Space Data Systems (Hrsg.): *Reference Model for an Open Archival Information System (OAIS) : CCSDS 650.0-B-1 Blue Book*. Washington, DC : 2002.

<http://public.ccsds.org/publications/archive/650x0b1.pdf>

COY 2006 Coy, Wolfgang ; nector – Kompetenznetzwerk Langzeitarchivierung und Langzeitverfügbarkeit Digitaler Ressourcen in Deutschland (Hrsg.): *Perspektiven der Langzeitarchivierung multimedialer Objekte*. Frankfurt am Main : nector c/o Die Deutsche Bibliothek, 2006.

DANNEHL 2004 Dannehl, Siegfried: *Grundlagen der MO-Technologie*. – Speicherguide.de – Version vom: 25.11.2004.

<http://speicherguide.de/magazin/optical.asp?todo=de&theID=700&lv=&mtyp>

DIEDRICH, RABANUS 2000 Diedrich, Oliver ; Rabanus, Christian: *Notaufnahme : Alle Daten futsch – was nun?* In: *c't* (2000), Nr. 6, S. 106.

DOOIJES 2000 Dooijes, E.H.: *Old Computers, now and in the future.*
Department of Computer Science, University of Amsterdam.
Dezember 2000.

http://www.science.uva.nl/museum/oldcomputers_dec2000.pdf

ECMA 1996 ECMA International (Hrsg): *Standard ECMA-130 : Data interchange on read-only 120mm optical data disks (CD-ROM).*
ECMA International : Genf, 1996.

<http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECma-130.pdf>

FELDMANN 2000 Feldmann, Reinhard: *Formatkonversion: Übertragung von Informationen auf andere Trägermaterialien (Mikroformen) – Forum Bestandserhaltung.* – Version vom: 21.11.2001.

<http://www.uni-muenster.de/Forum-Bestandserhaltung/konversion/allg-feldm.html>

FEDDERN 2005 a Feddern, Boi: *Gerettet! : Daten auf Magnetbänder sichern.*
In: *c't* (2005), Nr. 23, S. 188 – 192.

FEDDERN 2005 b Feddern, Boi: *Große Pläne mit kleinen Speichern : Die Suche nach den Datenträgern der Zukunft.* In: *c't* (2005), Nr. 18, S. 86-91.

FEIBUS 2004 Feibus, Mike: *DVD-Know-how im Detail: Alles über Brenner und Formate.* – ZDNet.de – Erstellt am: 01.09.2004.

<http://www.zdnet.de/enterprise/storage/0,39027625,39125457,00.htm>

FISCHER 2005 Fischer, Harald: *Sicherung digitaler Daten auf Mikrofilm – Forum Bestandserhaltung.* – Version vom: 07.2001

<http://www.uni-muenster.de/Forum-Bestandserhaltung/konversion/digi-fischer.html>

FRÖHLICH 2003 Fröhlich, Karl: *Disketten trotzen tapfer allen technischen Entwicklungen.* - Speicherguide.de. – Version vom: 22.05.2003.

<http://www.speicherguide.de/magazin/datentraeger.asp?todo=de&theID=57&lv=&mtyp>

FUELLE, OTT 2006 Fueelle, Gunnar ; Ott, Tobias ; nestor – Kompetenznetzwerk Langzeitarchivierung und Langzeitverfügbarkeit Digitaler Ressourcen in Deutschland (Hrsg.): *Langzeiterhaltung digitaler Publikationen : Archivierung elektronischer Zeitschriften (E-Journals)*. Frankfurt am Main : nestor c/o Die Deutsche Bibliothek, 2006.

GISELMANN 2005 a Giselmann, Hartmut: *Gegen das Vergessen : US-Forscher prüfen Lebensdauer von CDs und DVDs*. In: *c't* (2005), Nr. 1, S. 44.

GISELMANN 2005 b Giselmann, Hartmut: *Zerstrittene Erben : Blu-ray Disc und HD DVD im Vergleich*. In: *c't* (2005), Nr. 22, S. 228 – 231.

GSCHWIND 2000 Gschwind, Rudolf ; Frey, Franziska ; Rosenthaler, Lukas ; Universität Basel, Abt. für wiss. Photographie (Hrsg.): *Konzept „Neue Technologien und Kulturgüter“*. Basel : 2002 - Forschungsbericht im Auftrag des Bundesamtes für Zivilschutz, Bern.

http://www.bevoelkerungsschutz.admin.ch/internet/bs/de/home/the men/kgs/publikationen_kgs.ContentPar.0002.DownloadFile.tmp/ne uetechnologienI.pdf

HARTMANN, MASIERO 2002 Hartmann, Nico ; Masiero, Manuel: *DVD-Schreibformate im Überblick*. – tecChannel.de. – Erstellt am: 11.01.2002.

<http://www.tecchannel.de/storage/grundlagen/401774/>

HENDLEY 1998 Hendley, Tony: *Comparison of Methods & Costs of Digital Preservation*. In: *British Library Research and Innovation Report* (1998), Nr.106.

http://www.ukoln.ac.uk/services/elib/papers/tavistock/hendley/hendley.html#_Toc422714273

HENZE 1999 Henze, Volker: *Langzeitarchivierung von Disketten*. In: *Dialog mit Bibliotheken*, 11 (1999), Nr. 3, S. 15-17.

HIMMELEIN 2002 Himmelein, Gerald: *Plus oder Minus : Die Qual der Wahl eines beschreibbaren DVD-Formats*. In: *c't* (2002), Nr. 25, S. 112.

HODGE, CARROLL 1999 Hodge, Gail ; Carroll, Bonnie C. ; International Council for Scientific and Technical Information (Hrsg.): *Digital Electronic Archiving : The State of The Art And The State of Practice*. April 1999.

http://www.icsti.org/Dig_Archiving_Report_1999.pdf

IMATION 2004 Imation Deutschland (Hrsg.): *Digital Guide : Wie Datenspeicherung wirklich funktioniert!*. Imation Deutschland : Neuss, 2004.

<http://www.imation.de/features/digital-guide-03-04-D.pdf>

IRACI 2005 Iraci, Joe: *The Relative Stabilities of Optical Disc Formats*. In: *Restaurator*, 26 (2005), Nr. 2, S. 134-150.

IRLBECK, LANGENAU, MAYER 2002 Irlbeck, Thomas ; Langenau, Frank ; Mayer, Franz: *Computer-Lexikon : Die umfassende Enzyklopädie*. München : Dt. Taschenbuch-Verl. [Beck], 2002.

JURRAN 2005 Jurrán, Nico: *High-Definition-Domino : Gewichtsverlagerung im Kampf um die DVD-Nachfolge*. In: *c't* (2005), Nr. 22, S. 38.

KOLOKYTHAS 2006 Kolokythas, Panagiotis: *Viel Platz für Daten: Seagate präsentiert 750-GB-Festplatte*. – PC-Welt.de – Version vom: 27.04.2006.

<http://www.pcwelt.de/news/hardware/136639/index.html>

KUHN 1997 Kuhn, Frieder: *Schöne neue Datenwelt : Vom Nutzen und Schaden sogenannter Archivierungssysteme*. In: *Bestandserhaltung : Herausforderung und Chancen* / hrsg. von Hartmut Weber - Stuttgart : Kohlhammer, 1997. S. 355-360.

KUNY 1998 Kuny, Terry: *A Digital Dark Ages? : Challenges In The Preservation Of Electronic Information*. In: *International Preservation News : A Newsletter of the IFLA Core Programme for Preservation and Conservation (PAC)*. (1998), Nr. 17.

<http://www.aiim.org/fbia/documents/63kuny1.pdf>

LANGA 2001 Langa, Fred: *Langa-Letter : Is Your Data Disappearing?* – InformationWeek – Version vom: 23.07.2001.

<http://www.informationweek.com/LP/showArticle.jhtml;jsessionid=OI5OCSQ3F52VIQSNDBECKH0CJUMKJVN?articleID=6505958&pgno=1&queryText>

LIEGMANN 2001 Liegmann, Hans: *Langzeitverfügbarkeit digitaler Publikationen*. In: *Zeitschrift für Bibliothekswesen und Bibliographie : Sonderhefte* (2001), Nr. 81, S. 99-114.

LIEGMANN 2002 Liegmann, Hans: *Langzeiterhaltung digitaler Ressourcen in einer Archivbibliothek*. In: *Geschichte und Informatik* (2002/2003), Nr. 13/14, S. 41-55.

LIPINSKI 2005 Lipinski, Klaus (Hrsg.): *Backup : wichtiges über die Datensicherung*. Dietersburg : DATACOM-Buchverl., 2005.

http://www.networkcomputing.de/cms/fileadmin/nwc/downloads/pdf/itwissen_ebook_backup.pdf

LUPPRIAN 2000 Lupprian, Karl-Ernst: *Open Archival Information System*. Vortrag im Rahmen der EDV-Tage Theuern 2000.

http://www.edvtage.de/vortrag.php?kapitel=2000_07

MCFADDEN 2005 McFadden, Andy : *How long do CD-Rs and CD-RWs last?* – CD-Recordable FAQ – Version vom: 14.04.2005.

<http://www.cdrfaq.org/faq07.html#S7-5>

MÖNNICH 2000 Mönnich, Michael: *Elektronisches Publizieren von Hochschulschriften : Formate und Datenbanken*. In: *Zeitschrift für Bibliothekswesen und Bibliographie : Sonderhefte* (2000), Nr.81, S. 187-213.

MURRAY, MAEKAWA 1996 Murray, William P. ; Maekawa, Koji: *Reliability Evaluation of 3M Magneto-Optic Media*. In: *Journal of the Magnetism Society of Japan*, 20 (1996), Supplement S1, S. 309-314.

NEWMÉRIQUE 2005 Newmérique, Bob A. ; DVD-Forum (Hrsg.): *HD-DVD : Eine Einführung in die Technik*. DVD-Forum :Tokio, 2005.

http://www.dvdforum.org/images/Forum_HD_DVD_Universal_24_German.pdf

NIST 2005 National Institute for Standards and Technology (Hrsg.): *Information Technology : NIST / Library of Congress (LoC) Optical Media Longevity Study*. NIST Special Publication 500-263. National Institute for Standards and Technology : Gaithersburg, Maryland, 2003.

OSTA 2003 Optical Storage Technology Association (Hrsg.): *Understanding CD-R & CD-RW*. Optical Storage Technology Association : Cupertino, California, 2003.

http://www.osta.org/technology/pdf/cdr_cdrw.pdf

RATHJE 2002 Rathje, Ulf: *Technisches Konzept für die Datenarchivierung im Bundesarchiv*. In: *Der Archivar*, 55 (2002), Nr. 2, S. 117-120.

ROHDE-ENSLIN 2004 Rohde-Enslin, Stefan ; nestor – Kompetenznetzwerk Langzeitarchivierung und Langzeitverfügbarkeit Digitaler Ressourcen in Deutschland (Hrsg.): *Nicht von Dauer : Kleiner Ratgeber für die Bewahrung digitaler Daten in Museen*. Frankfurt am Main : nestor c/o Die Deutsche Bibliothek; Berlin : Institut für Museumskunde, 2004.

ROTHENBERG 1999 Rothenberg, Jeff ; Council on Library and Information Resources (Hrsg.): *Avoiding Technical Quicksand : Finding a Viable Technical Foundation for Digital Preservation. A Report to the Council on Library and Information Resources*. Washington, DC : 1999.

<http://www.clir.org/pubs/reports/rothenberg/pub77.pdf>

ROTHENBERG 2000 Rothenberg, Jeff: *Using Emulation to Preserve Digital Documents*. Den Haag : Koninklijke Bibliotheek, 2000.

ROTHENBERG 2002 Rothenberg, Jeff: *Preservation of the Times*. In: *Information Management Journal*, 36 (2002), Nr. 2, S. 38-42.

SCHWENS, LIEGMANN 2004 Schwens, Ute ; Liegmann, Hans: *Langzeitarchivierung digitaler Ressourcen*. In: *Grundlagen der praktischen Information und Dokumentation*. München : Saur, 2004. S. 567-570.

SIMS 2003 University of California at Berkeley / School of Information Management and Systems (Hrsg.): *How much Information 2003?*. Version vom: 27.10.2003. Abruf: 01.06.2006.

http://www2.sims.berkeley.edu/research/projects/how-much-info-2003/printable_report.pdf

SLATTERY, LU U.A. 2004 Slattery, Oliver ; Lu, Richang ; Zheng, Jian ; Byers, Fred ; Tang, Xiao: *Stability Comparison of Recordable Optical Discs : A Study of Error Rates in Harsh Conditions*. In: *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 109 (2004), Nr. 5, S. 517-524.

STEINMETZ 2000 Steinmetz, Ralf: *Multimedia-Technologie : Grundlagen, Komponenten und Systeme*. Berlin [u.a.] : Springer, 2000.

STÖBE 2001 Stöbe, Markus: *Kleine Scheibe, aber oho*. In: *c't* (2001) Nr. 6, S. 210.

STRASS 2001 Strass, Hermann: *Grundlagen : Festplattentechnik*. – tecCHANNEL.de. - Version vom: 18.06.2003.

<http://www.tecchannel.de/storage/grundlagen/401602/>

TAYLOR 2006 Taylor, Jim ; Stupka, Carsten (Übers.): *DVD Demystifiziert - Häufig gestellte Fragen zur DVD (und Antworten)*. Version vom: 10.02.2006.

<http://www.dvddemystifiziert.de/dvdfaq.html>

TFADI 1996 *Preserving Digital Information : Report of the Task Force on Archiving of Digital Information*. Mai 1996.

<http://www.rlg.org/legacy/ftpd/pub/archtf/final-report.pdf>

VAN BOGART 1995 Van Bogart, John W. C. ; The Commission on Preservation and Access (Hrsg); National Media Laboratory (Hrsg.): *Magnetic Tape Storage and Handling : A Guide for Libraries and Archives*. St.Paul,Minnesota : 2005.

www.imation.com/america/pdfs/AP_NMLdoc_magtape_S_H.pdf

VAN DER HOEVEN, VAN WIJNGAARDEN 2002 van der Hoeven, Jeffrey ; van Wijngaarden, Hilde: *Modular emulation as a long-term preservation strategy for digital objects*. Den Haag : Koninklijke Bibliotheek, 2002.

<http://www.iwaw.net/05/papers/iwaw05-hoeven.pdf>

VAN DER WERF 2000 van der Werf, Titia: *A Process Model : The Deposit System for Electronic Publications*. Den Haag : Koninklijke Bibliotheek, 2000.

<http://nedlib.kb.nl/results/DSEPprocessmodel.pdf>

VILSBECK 2001 Vilsbeck, Christian: *Professionelle Datenrettung*. – tecChannel.de – Erstellt am: 19.02.2001. - Version vom: 17.08.2005.

<http://www.tecchannel.de/storage/grundlagen/401608/>

VILSBECK 2002 Vilsbeck, Christian: *Gefahr: IDE-Festplatten im Dauereinsatz*. – tecChannel.de – Erstellt am: 24.06.2002 - Version vom: 14.05.2003.

<http://www.tecchannel.de/storage/grundlagen/401914/>

WAGNER 2005 Wagner, Oliver: *Haltbarkeit von Magnetbändern*. - Speicherguide.de. – Version vom: 24.05.2005.

<http://www.speicherguide.de/magazin/bandlaufwerke.asp?todo=de&theID=1037&lv=30&mtyp>

WEBER 1992 Weber, Hartmut: *Verfilmen oder Instandsetzen? Schutz- und Ersatzverfilmung im Dienste der Bestandserhaltung*. In: *Bestandserhaltung in Archiven und Bibliotheken*, Stuttgart 1992, S. 91-133

Weitere Internetquellen

www.bsi.de [a] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (Hrsg.): *Maßnahmenkatalog 4.169: Verwendung geeigneter Archivmedien*. Abruf: 06.04.2006. URL: <http://www.bsi.de/gshb/deutsch/m/m04169.htm>

www.bsi.de [b] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (Hrsg.): *Maßnahmenkatalog 4.170: Auswahl geeigneter Datenformate für die Archivierung von Dokumenten*. Abruf: 03.06.2006. URL: <http://www.bsi.de/gshb/deutsch/m/m04170.htm>

www.digitalpreservation.gov *Formats, Evaluation Factors and Relationships*. Abruf: 29.05.2006. Version vom: 06.03.2006. URL: http://www.digitalpreservation.gov/formats/intro/format_eval_rel.shtml#factors

www.dvd-tipps-tricks.de Frormann, Udo ; Wienicke, Andreas : *Die ultimativen DVD Tipps & Tricks*. Abruf: 17.04.2006. URL: <http://www.dvd-tipps-tricks.de/main/info-grundlagen.php#i.0.2>

www.elektronikinfo.de *Aufbau und Grundlageninfos zur Audio Compact Disc*. Abruf: 09.04.2006. Version vom: 08.01.2006. URL: <http://www.elektronikinfo.de/audio/cd.htm>

- www.elektronik-kompodium.de** *Beschreibbare DVD-Formate.* Abruf: 24.04.2006. URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/com/1001101.htm>
- www.golem.de** *Iomega verkauft weniger.* Erstellt am: 23.04.2001. Abruf: 16.04.2006. URL: <http://www.golem.de/0104/13575.html>
- www.heise.de** *CD-Pilz liebt Tropen-Klima.* Version vom: 04.07.2001. Abruf: 15.04.2006. URL: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/19001>
- www.heritagemicrofilm.com** *Brief History of Microfilm.* Abruf: 13.05.2006. URL: <http://www.heritagemicrofilm.com/History.aspx>
- www.itwissen.info** *Festplatten-Laufwerk – Definition.* Abruf: 24.05.2006. URL: http://www.itwissen.info/definition/lexikon///hdd_hard%20disk%20drive_festplatten-laufwerk.html
- www.pro-datenrettung.net** *Geschichte der DVD / Datenrettung DVD.* Abruf: 17.04.2006. URL: <http://www.pro-datenrettung.net/datenwiederherstellung-dvd.html>
- www.r-z-multimedia.de** *Informatives.* Abruf: 05.04.2006. URL: <http://www.r-z-multimedia.de/000000972d0d6612c.html>
- www.sony.net** *Sony History – Chasing and being chased.* Abruf: 23.03.2006. URL: <http://www.sony.net/Fun/SH/1-20/h1.html>

Weitere Quellen

- BORGHOFF 2006** Telefonisches Experten-Interview: Uwe M. Borghoff, Universität der Bundeswehr München, durchgeführt am 03.06.2006.
- REINER 2006** Experten-Interview: Dr. Bernd Reiner, Leibniz Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften München, durchgeführt am 01.06.2006.
- BEI DER WIEDEN 2006** Experten-Interview: Dr. Brage bei der Wieden, Niedersächsisches Landesarchiv Hannover, durchgeführt am 06.04.2006.
- FORNARO 2006** Experten-Interview: Dr. Peter Fornaro, Universität Basel, durchgeführt am 28.03.2006.

Titelbild

http://www.supag.ch/upload/cms/user/mikrofilmRolle_180.jpg

Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere, die vorliegende Arbeit selbständig ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt zu haben. Die aus anderen Werken wörtlich entnommenen Stellen oder dem Sinn nach entlehnten Passagen sind durch Quellenangabe kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift