

Seminar  
Langzeitarchivierung  
Speichermedien in der  
Langzeitarchivierung

Felix Ritscher  
1070181  
08.06.2009

Aufgabensteller:  
Prof. Dr. Uwe M. Borghoff  
Betreuer:  
Dipl.-Inform. Nico Krebs



Institut für Softwaretechnologie  
Fakultät für Informatik  
Universität der Bundeswehr München



<i>INHALTSVERZEICHNIS</i>	3
---------------------------	---

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1 Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2 Analoge Speichermedien</b>	<b>4</b>
2.1 Mikrofilm . . . . .	5
2.2 Nickelplatte und HD-Rosetta Disk . . . . .	5
<b>3 Digitale Speichermedien</b>	<b>6</b>
3.1 Magnetische Speichermedien . . . . .	6
3.1.1 Magnetbänder . . . . .	6
3.1.2 Festplatten . . . . .	8
3.2 Optische Speichermedien . . . . .	9
3.2.1 Compact Disk - CD . . . . .	9
3.2.2 Digital Video Disk - DVD . . . . .	10
3.2.3 Blu-ray Disk und UDO . . . . .	11
3.3 Magneto-Optische Disk . . . . .	11
<b>4 Ausblick</b>	<b>12</b>
4.1 Holographischer Speicher . . . . .	13
<b>5 Schluss</b>	<b>13</b>

## 1 Einleitung

„Ein Langzeitarchiv muss über zuverlässige Speicherstrategien verfügen, [...]. Solche Strategien müssen sicherstellen, dass zu keinem Zeitpunkt Datenbestände unzugänglich werden, weil ihre Trägermedien nicht mehr lesbar sind.“[1, Seite 12-9]

Für solche Speicherstrategien bedarf es Speichermedien, die viele verschiedene Anforderungen erfüllen müssen. Eine wichtige Anforderung, ist die lange Haltbarkeit, des gewählten Speichermediums, um möglichst lange die Lesbarkeit von Daten sicherzustellen. Im Hinblick auf niedrige Kosten, sind auch hohe Speicherkapazitäten, unkomplizierte Lagerbedingungen und nicht zuletzt ein niedriger Preis pro Gigabyte von Bedeutung. Auch niedrige Zugriffszeiten und eine hohe Datentransferrate gehören zu den Anforderungen, die an moderne Speichermedien, in der Langzeitarchivierung, gestellt werden. Durch die „Grundsätze ordnungsmäßiger DV-gestützter Buchführungssysteme (GoBS)“, ergibt sich eine weitere Anforderung an die Speichermedien. An verschiedenen Stellen des GoBS wird gefordert, dass Daten nicht verändert werden dürfen und vor Fremdeingriffen geschützt werden müssen.[27] Das bedeutet, dass in der Langzeitarchivierung nicht nur die häufige Überschreibbarkeit von Vorteil ist, sondern auch die Unveränderbarkeit gewisser Medien. Die wichtigsten in der Langzeitarchivierung verwendeten Medien werde ich hier vorstellen und ihre Eigenschaften herausarbeiten. Jedoch sind Speichermedien nicht der einzige Bestandteil einer zuverlässigen Speicherstrategie. Ebenso wichtig ist Migration und Emulation. Migration bedeutet, alte Datenformate oder Speichermedien durch neue zu ersetzen, spätestens wenn die alten Formate oder Medien komplett vom Markt verschwunden sind. Datenformate haben einen Formatmigrationszyklus, der angibt, wie häufig die Daten in andere Formate umgewandelt werden müssen. Bei der Emulation, werden alte Speichermedien und Dateiformate, meist durch eine Art virtuellen Computers, auf neuen Computersystemen lauffähig gemacht. Migration und Emulation werden zu einem späteren Zeitpunkt in diesem Seminar noch genauer behandelt.

## 2 Analoge Speichermedien

Analoge Speichermedien sind, wenn es um authentische Langzeitarchivierung geht, noch lange nicht veraltet, schon weil die logische Interpretierbarkeit der gesicherten Daten unabhängig von der technischen Entwicklung ist. Texte und Bilder auf analogen Speichermedien müssen nicht umständlich interpretiert werden. So beschäftigt sich zum Beispiel das Rosetta Projekt mit der Konservierung von mehr als 2500 Sprachen, mit Hilfe der Rosetta Disk, die hier noch ausführlicher beschrieben wird.

## 2.1 Mikrofilm

Der Mikrofilm ist zwar aus den meisten industriellen Bereichen verschwunden, erfreut sich aber, wenn es um dauerhafte Archivierung unwiederbringlicher Dokumente geht, großer Beliebtheit. Heutzutage stellt die Firma Ilford den hochauflösenden Farbmikrofilm Ilfochrome Micrographic her, der mit 300 Linienpaaren pro Millimeter eine theoretische Pixelzahl von 62.400 x 88.800 auf 104x148mm erreicht, das entspricht 15240dpi.[2] In der Praxis werden, bedingt durch die Optik, jedoch nur 140-180lp/mm erreicht. „Bis zu einem Verkleinerungsfaktor von 30 wird denn auch soviel Bildinformation gespeichert, dass wir von einem Zwischenoriginal sprechen können.“[3, Absatz 3] Man spricht bei Mikrofilm von einer Lebensdauer von mehr als 500 Jahren bei einer Luftfeuchtigkeit von 50 Prozent und 20 Grad Celsius.[4] Außerdem entfällt bei Mikrofilm jeglicher Migrationsaufwand und er ist auch noch mit einfachsten technischen Mitteln lesbar. Es reichen Licht und Lupe. Der Mikrofilm kann auch als Grundlage zur Digitalisierung und zu Hybrider Archivierung dienen. „Hybride Archivierung bedeutet das gleichzeitige digitale und analoge Vorhalten von Daten.“[5, Hybride Archivierung] Es ist auch möglich digitale Daten auf Mikrofilm zu archivieren. Bei der Archivierung von digitalen Daten entsteht auch beim Mikrofilm ein Migrationsbedarf. Es ist also unumgänglich bei der Archivierung auf Metadaten und Format zu achten. Die Kosten für die Archivierung auf Mikrofilm werden erhöht, wenn ein Format gewählt wird, dass aufgrund eines kurzen Migrationszyklus, häufig aktualisiert werden muss. Auch eine große Anzahl an Metadaten, kann dazu führen das Mikrofilm kein geeignetes Medium mehr ist.

## 2.2 Nickelplatte und HD-Rosetta Disk

Für die fast dauerhafte Archivierung gibt es neben der Steintafel, die in der Geschichte schon häufig verwendet wurde, noch die Nickelplatte. Nickel ist bei Raumtemperatur gegen Luft, Wasser, Salzsäure und Laugen sehr beständig und wird häufig auch als Korrosionsschutz verwendet. Durch diese Eigenschaften zeichnet sich Nickel als guter Datenträger aus, wenn es um Haltbarkeit von tausend oder mehr Jahren geht. Jedoch ist eine normalgroße Nickelplatte, wegen des Gewichtes und der Größe, ungeeignet, wenn es zum Beispiel, um die Archivierung eines Buches geht. Als Alternative bietet sich die HD-Rosetta Disk an: eine mit Nickel überzogene Siliziumscheibe auf der in mikroskopischer Größe, ähnlich wie beim Mikrofilm, Daten eingraviert werden können. Es lassen sich auf einer Rosetta Disk bis zu 196.000 Seiten an Daten speichern, die dann eine geschätzte Lebensdauer von 1.000 Jahren haben sollen, außerdem kann sie Temperaturen von bis zu 500 Grad Celsius widerstehen.[6] Je nach Verkleinerungsfaktor lassen sich die Seiten auf der

Disk schon mit bloßem Auge erkennen oder müssen mithilfe eines Elektronenmikroskops ausgelesen werden. Die Rosetta Disk ist benannt nach dem gleichnamigen Rosetta Stein und gilt als potentieller Nachfolger des Mikrofilms.

### 3 Digitale Speichermedien

Bei digitalen Speichermedien spielt, im Gegensatz zu analogen Speichermedien, neben der Haltbarkeit noch die Verfügbarkeit von kompatiblen Systemen eine wichtige Rolle. Digitale Speichermedien können nur mit speziellen Techniken gelesen werden und sollten diese schon veraltet oder komplett verschwunden sein, sind die vielleicht sogar noch intakten Daten auf dem Medium verloren. Bei digitalen Speichermedien können aktuelle Lesegeräte, Betriebssysteme und Treibersoftware vom Markt verschwinden. Bei alten Lesegeräten und Treibern kann es vorkommen, dass sie mit neuen Betriebssystemen nicht mehr funktionieren. Ältere Betriebssysteme laufen teilweise nicht mehr auf neuer Hardware. Es muss also dafür gesorgt werden, dass die genutzten Speichermedien auch zu einem späteren Zeitpunkt noch ausgelesen werden können. Digitale Speichermedien lassen sich grob in drei Gruppen unterteilen: magnetische, optische und der Vollständigkeit halber magneto-optische Speichermedien; teilweise wird auch Online- und Offline-Speicher unterschieden. Online-Speicher ist in der Regel konstant für den Zugriff verfügbar und Offline-Speicher werden nur im Bedarfsfall in ein Laufwerk eingelegt und ausgelesen.[1]

#### 3.1 Magnetische Speichermedien

Die magnetischen Speichermedien, angefangen bei der Diskette bis hin zur Festplatte, sind die wohl am stärksten genutzten Speichermedien in fast allen Bereichen. Sowohl privat als auch in der Industrie und in großen Archiven werden magnetische Speichermedien genutzt, um Daten zu speichern und zu archivieren. Diverse magnetische Speichermedien haben hervorragende Eigenschaften: lange Haltbarkeit, schnelle Zugriffszeiten, riesiges Speichervolumen, einfache Überschreibbarkeit oder unkomplizierte Lagerbedingungen. Auch wenn kein Medium alle Eigenschaften in sich vereint macht es doch deutlich, wie groß das Anwendungsspektrum der magnetischen Speichermedien ist.

##### 3.1.1 Magnetbänder

Magnetbänder sind die wohl älteste digitale Speichertechnik, die heute noch Verwendung findet. Magnetbänder wurden in den 50er Jahren entwickelt

und kommen trotz ihres hohen Alters in der heutigen Zeit, wegen der Vielzahl ihrer Vorzüge, wieder vermehrt zum Einsatz. Magnetbänder speichern die Daten auf einem beschichteten Kunststoffband, das an jedem Ende auf einer Spule aufgerollt ist. Die Magnetbänder gibt es im Normalfall in einem sogenannten Cartridge, welches die Bänder vor Beschädigung schützen soll. Es gibt zwei Varianten wie die Daten auf dem Kunststoffband angeordnet werden können. Zum einen im Linearverfahren, in dem die Daten auf Spuren geschrieben werden, die über die gesamte Bandlänge parallel verlaufen. Zum anderen im Schrägspurverfahren oder auch Helical-Scan, bei dem die Spuren auf dem Band schräg von Kante zu Kante verlaufen. Das Schrägspurverfahren bedarf auch eines anderen Laufwerks, bei dem der rotierende Magnetkopf schräg zum Band steht.[1] „Die wichtigsten Bandtechnologien, die auf dem Linearverfahren beruhen, sind Linear Tape Open(LTO), Digital Linear Tape(DLT), die Nachfolgetechnologie Super-DLT und Advanced Digital Recording(ADR). Für das Schrägspurverfahren können als wichtigste Vertreter Advanced Intelligent Tape(AIT), Mammoth-Tapes, Digital Audio Tapes(DAT) und Digital Tape Format(DTF) genannt werden.“[1,Seite 11-10] In den letzten Jahren wurden die Kapazitäten und die Transferraten stark erhöht. Die LTO Ultrium der Generation 4 hat bereits bis zu 1,6TB Speicher pro Cartridge und eine Datentransferrate von bis zu 240MB/sec. Diese soll in Generation 6 bis zu 6,4TB Speicher und eine Datentransferrate von 530MB/sec bieten.[7] Jedoch sind die Zugriffszeiten der Bänder extrem schlecht, da um die einzelnen Datenstellen zu erreichen, erst gespult werden muss. Es ist somit der letzte sequentielle Speicher der noch verwendet wird. Unter kontrollierten Bedingungen haben die Bänder eine Haltbarkeit von bis zu 30 Jahren. Um diese wirklich zu erreichen, muss die Luftfeuchtigkeit unter 60 Prozent bleiben und die Temperatur bei zirka 18-20 Grad Celsius. Außerdem sollten die Bänder aufrecht gelagert werden. Um ein „durchdrücken“ der Daten zu vermeiden, sollten die Bänder regelmäßig umgespult werden. Stöße können die Spulen beschädigen, so dass das Band nicht mehr rund läuft. Außerdem ist die Oberfläche des Bandes vor Beschädigung und Staub zu schützen und von Magnetfeldern fernzuhalten.[8] Die Lebensdauer der Bänder kann auch durch ein defektes Lesegerät stark vermindert werden, da dieses die Oberfläche beschädigen könnte. Auch zu häufiges Benutzen und vor allem das Schreiben und Lesen von kleineren Datensätzen im Start-Stopp-Verfahren kann die Lebensdauer des Bandes senken, da dies eine hohe physikalische Belastung für das Band bedeutet. Bei neueren Geräten gibt es schon die Möglichkeit, die Bandgeschwindigkeit anzupassen oder einen Zwischenpuffer zu verwenden. Um größere Mengen Magnetbänder zu verwalten existieren speziell entwickelte Bandroboter, die Wartung und Lagerung übernehmen können.[1] Der Einsatzbereich der Magnetbänder wird stark durch die geringen Zugriffszeiten und durch den hohen Verschleiß im Betrieb eingeschränkt. Die Bänder eignen sich nicht für Daten, die stark frequentiert werden oder deren Formate schnell veral-

ten. Jedoch sind Magnetbänder durch ihren niedrigen Preis hervorragend geeignet um große Mengen statischer Daten zu archivieren, auch wenn die Laufwerke verhältnismäßig teuer sind. So sind Bandbibliotheken nach einer Untersuchung von Dianne McAdam um zirka 90 Prozent billiger als reine Festplattenarchive.[9] Bandbibliotheken könne ohne weiteres Größen im Petabytebereich annehmen. „In vielen Datenzentren sind bis zu 80 Prozent der Daten statisch, das heißt sie werden niemals verändert und selten aufgerufen“[10] Also bietet es sich an, die niedrigen Zugriffszeiten und den hohen Verschleiß zu kompensieren, indem man Magnetbänder mit anderen Speichermedien, in einem hierarchischen Speichermanagement, kombiniert. „Dabei werden die Medien so angeordnet, dass teure und performante Medien, Daten mit hoher Zugriffshäufigkeit vorhalten, weniger oft angeforderte Daten dagegen auf preiswerte Offline-Medien[, wie Magnetbänder,] ausgelagert werden.“[1, Seite 10-7] Es gibt auch im Bereich der Magnetbänder sogenannte WORM-Medien, „write-once-read-multiple“, durch die, die in der Einleitung angesprochenen gesetzlichen Kriterien erfüllt werden können.

### 3.1.2 Festplatten

Die Festplatte ist ebenfalls ein magnetisches Speichermedium. Die Festplatte braucht im Gegensatz zum Magnetband kein Lesegerät. Dieses ist bereits integriert. Die wichtigsten Komponenten einer Festplatte sind die Schreib-/Leseköpfe die direkt über den drehenden magnetischen Scheiben positioniert sind. Die Komponenten der Festplatte sind fest in einem Gehäuse verbaut, so dass der Schreib-/Lesekopf viel näher an der magnetischen Scheibe entlanggeführt werden kann und die Scheibe selbst höhere Drehzahlen als übliche Wechselmedien erreichen kann. Die verringerte Entfernung zwischen den Schreib-/Leseköpfen und den Scheiben ermöglicht eine höhere Datendichte. Durch die hohen Drehzahlen und der Möglichkeit die Festplatte durchgehend zu betreiben sind die Zugriffszeiten der Festplatte in der Regel weitaus besser als bei allen Offline Medien. Jedoch ist die Haltbarkeit von Festplatten mit nur 3 bis maximal 10 Jahren und durchschnittlich 5 Jahren, relativ gering.[1] Die Temperatur des Laufwerks sollte bei zirka 40 Grad Celsius liegen. Temperaturen von mehr als 45 Grad Celsius sorgen bei Laufwerken, die mindestens drei Jahre alt sind, für höhere Ausfallquoten. Niedrige Temperaturen von 15 bis 30 Grad Celsius hingegen, erhöhen die Ausfallwahrscheinlichkeit bei jüngeren Platten. Bei 40 Grad Celsius wiesen die Platten die geringsten Ausfallraten auf. Festplatten sind sehr empfindlich gegenüber Stößen und einige Einzelteile sind durch den dauerhaften Betrieb verschleißgefährdet.[11] Die Festplatte sollte also möglichst stoßfrei gelagert werden. Datenverluste auf Festplatten können verschiedenste Ursachen haben. Zum Beispiel wenn der Schreib-/Lesekopf die Scheibe berührt, der sogenannte „head crash“. Ein zu langes Lagern kann dazu führen, dass die Schei-



be stecken bleibt, auch „sticky disk“ genannt, selbst wenn es bei modernen Festplatten nur noch selten auftritt. Auch Magnetfelder können zu einem Datenverlust führen.[1] Die schnellen Zugriffszeiten und die Option komplexe Speichernetze aufzubauen, sind die größten Vorteile der Festplatten. Komplexe Speichernetze, wie ein RAID („Redundant Array of Independent disks“), sind konzipiert, um bei Ausfall einer Platte, die gespeicherten Daten der Platte mit Hilfe von Paritätssummen noch im Betrieb wiederherstellen zu können. RAID Systeme sind daher gut geeignet, um die unzuverlässige Lebensdauer und die hohe Ausfallrate von Festplatten zu kompensieren. Die Speicherkapazität von Festplatten liegt derzeit bei zirka einem Terabyte. Jedoch stellt Hitachi für 2010 Platten mit bis zu 5 Terabyte in Aussicht.[12] Festplatten werden in Archiven häufig als Ergänzung in einem hierarchischen Speichermanagement, zur Verbesserung der Zugriffszeiten verwendet. Für Daten mit einem kurzem Formatmigrationszyklus sind Festplatten recht gut geeignet, da die geringe Haltbarkeit kaum eine Rolle spielt.

## 3.2 Optische Speichermedien

„Die ersten kommerziellen Produkte an optischen Speichern waren die Videoplatte und die CD-ROM-Platten.[...] Optische Plattenspeicher haben ihren Ursprung in den Videoplattensystemen, die Ende der siebziger Jahre eingeführt wurden.[...] Auf optischen Platten werden die Daten auf der Oberfläche der Platte als eine Serie von Vertiefungen oder Veränderungen auf mehrfachen konzentrischen oder spiralförmigen Spuren aufgebracht.“[13] Die prinzipielle Funktionsweise aller bisher entwickelten optischen Speichermedien ist gleich. Ein Lichtstrahl wird von einer Schicht innerhalb des Mediums reflektiert und passiert dabei die Datenschicht. Für jeden Zustand wird das Licht anders gebrochen oder ganz absorbiert. Ein Sensor nimmt das Licht auf und erkennt so den aktuellen Zustand.

### 3.2.1 Compact Disk - CD

Die CD ist das erste optische Medium, das den Markt erobern konnte. Technisch wurde sie später von der DVD abgelöst, kommt aber heute noch immer zum Einsatz. Die Daten einer CD werden mit Hilfe eines Infrarotlasers ausgelesen und gegebenenfalls auch geschrieben. Über die Lebensdauer von CDs gibt es viele verschiedene Aussagen. Die Prognosen reichen von zwei Jahren bis zu mehr als 100 Jahren. Die Ursachen für die hohe Anzahl unterschiedlicher Prognosen zu Lebenserwartung von CDs sind vielfältig. Bei CDs kommt es sehr auf die Lagerbedingungen an. Falsche Handhabung, schlechte Lagerbedingungen und zu häufiges Benutzen führt dazu das CDs schnell nicht mehr lesbar sind. Auch die verschiedenen Materialien, die von den verschiedenen Herstellern genutzt werden, führen zu sehr unterschiedlichen Lebens-

erwartungen. Auch die Beschaffenheit der Schutzschicht ist wichtig. Sollte Feuchtigkeit durch die Schutzschicht dringen, so werden die Metalle in der CD schnell angegriffen und es droht der Datenverlust.<sup>1</sup>[14] Die CDs sollten immer in der Schutzhülle gelagert werden. Zusätzlich ist die CD vor Sonneneinstrahlung zu schützen. Optimale Bedingungen haben CDs bei 18 bis 20 Grad Celsius und einer Luftfeuchtigkeit von 45 bis 50 Prozent.[15] CDs existieren in verschiedenen Varianten. Die ROM Variante hat eine reflektierende Datenschicht aus Metall. In diese Schicht werden Löcher gepresst, an denen das Licht nicht mehr reflektiert wird. Da es für die CD-ROM nur wenige Untersuchungen zur Haltbarkeit gibt, schwanken die Schätzungen zur Lebensdauer zwischen 20 und 100 Jahren. Eine andere Variante ist die CD-R. Mit Hilfe eines Lasers wird die Datenschicht, aus organischem Farbstoff, erhitzt und zur chemischen Reaktion gebracht. Nachdem der organische Farbstoff einmal gebunden ist, kann die CD nicht erneut beschrieben werden. Bei sachgerechter Lagerung können CD-Rs 100 bis 200 Jahre lesbar bleiben. Die letzte Variante ist die CD-RW. Zum Beschreiben wird die Datenschicht aus einer Metallegierung über den Schmelzpunkt erhitzt und kühlt dann wieder ab. Durch das Erhitzen einer Hilfsschicht kann gesteuert werden, welchen Zustand die Datenschicht nach dem Abkühlen annimmt. Dieses Verfahren nennt sich „Phase-Changing“. Bei optimalen Lagerbedingungen können CD-RWs eine Lebensdauer von 25 Jahren und mehr erreichen.[15] Obwohl die CD mittlerweile technisch überholt ist und nur eine geringe Speicherkapazität von zirka 700MB hat, wird sie doch noch in verschiedenen Archiven verwendet. Ein prominentes Beispiel ist das Bundesarchiv in Koblenz.[16]

### 3.2.2 Digital Video Disk - DVD

Die DVD ist der Nachfolger der CD. Bei der DVD wird ein roter Laser verwendet, der ein vielfaches genauer ist, als der Infrarotlaser, der bei der CD verwendet wird. Durch den genaueren Laser kann sich die Optik näher an der Datenschicht befinden, so konnte die Datendichte erhöht werden. Die Speicherkapazität wurde auf 4,7GB pro Schicht erhöht. Die DVD kann durch den geringeren Abstand zwischen Optik und Datenschicht, von beiden Seiten genutzt werden. Desweiteren sind zwei Schichten pro Seite möglich die durch unterschiedliche Wellenlängen angesteuert werden können. Durch die zwei Schichten konnte die Speicherkapazität auf 8,5 GB, sogenannte „Double-Layer“ und 17,1 GB, bei „Double-Sided, Double-Layer“, erhöht werden. Auch bei der DVD gibt es die Varianten DVD-ROM, DVD-R und DVD-RW, welche die gleiche Haltbarkeit und Lagerbedingungen, wie ihre Gegenstücke aus der CD Familie, haben.[15] Zusätzlich gibt es noch die

---

<sup>1</sup>Weitere Informationen zu der Beständigkeit der verschiedenen Materialien und Herstellernd bei CDs gibt es unter: <http://www.uni-muenster.de/Forum-Bestandserhaltung/downloads/iraci.pdf>

DVD-RAM: ein im Hinblick auf Datensicherheit optimiertes DVD Format. DVD-RAM benötigt ein spezielles Gerät, das DVD-RAM gleichzeitig lesen und schreiben kann. Die DVD-RAM ist theoretisch bis zu 10.000 mal überschreibbar, um zirka 50 Prozent langsamer als eine normale DVD und hat eine ähnliche Lebensdauer wie CD-RWs und DVD-RWs, von 25 Jahren. Hersteller garantieren sogar eine Lebensdauer von 30 Jahren.[17]

### 3.2.3 Blu-ray Disk und UDO

Die Blu-ray Disk ist die Weiterentwicklung der DVD. Dabei wird ein violetter Laser verwendet. Durch die erhöhte Genauigkeit des Lasers wird die Speicherkapazität auf bis zu 25GB pro Schicht erweitert. Eine Blu-ray Disk kann theoretisch bis zu 8 Schichten pro Seite ansteuern und somit einen Gesamtspeicher von 400GB.[18] Auch bei der Blu-ray Disk gibt es die Varianten BD-ROM, BD-R und BD-RW, die sich der selben Technik wie CDs und DVDs bedienen. Auch sind die Lagerbedingungen gleich. Die Geschwindigkeit ist mehr als drei mal so hoch. Die Lebensdauer der verschiedenen Blu-ray Disks wird mit 30 bis 50 Jahren angegeben, was nicht zuletzt durch die Verwendung von „Durabis“ als Schutzschicht ermöglicht wird.[19] „Durabis“ ist eine von der Firma TDK entwickelte Beschichtung für Blu-ray Disks. Durch die verbesserte Beschichtung ist es nicht mehr notwendig Blu-ray Disk durch ein Cartridge zu schützen, da die mit „Durabis“ beschichtete Scheibe laut TDK 100 mal kratzfester als eine Normale Scheibe ist.[20 und 21] Die Blu-ray Disk hat andere Formate wie die HD-DVD und die PDD-Disc vom Markt verdrängt. Lediglich die UDO Disk ist noch ein ernstzunehmender Konkurrent. Die UDO hat eine Speicherkapazität von bis zu 120GB und eine Lebenserwartung von 50 Jahren. Die UDO Disk wird zwar oft als Nachfolger der MO-Disk gehandelt, entspricht jedoch mehr einer DVD-RAM mit Blu-ray Technologie. Das Schreib- und Leseverfahren gleicht der Blu-ray Disk. Die UDO Disk ist in drei verschiedenen Varianten erhältlich: als True-Write-Once Disk, als Compliance-Write-Once und als Rewritable.[22] Damit ist auch die UDO Disk zur Erfüllung der in der Einleitung beschrieben gesetzlichen Auflagen geeignet.

### 3.3 Magneto-Optische Disk

Die MO Disk ist mittlerweile vom Markt fast verschwunden und wird auch nicht mehr weiterentwickelt, deshalb wird sie hier auch nur Vollständigkeit halber erwähnt. Der Lesevorgang läuft wie bei den normalen optischen Speichermedien unter Ausnutzung des Kerr Effekts<sup>2</sup> ab. Das Schreiben geschieht durch das Erhitzen der gewünschten Stelle, zur Senkung der Koer-

---

<sup>2</sup>„Der magnetooptische Kerr-Effekt (MOKE)[...] besagt, dass sich die Polarisations Ebene eines linear polarisierten Lichtstrahls bei Reflexion an einer magnetisierten Probe um

zitivkräfte<sup>3</sup>. Danach kann die magnetische Oberfläche neu ausgerichtet werden. Durch das besondere Schreibverfahren ist die Disk bis 100 Grad Celsius unempfindlich gegen Licht, Temperatur und magnetische Einflüsse. Sie ist durch eine Schutzhülle gegen physische Schäden gut geschützt. Bis zu 100 Millionen Schreibvorgänge lassen sich realisieren. Die Speicherkapazität reicht von 2,3 GB bis 16,7 GB. Die Lese- und Schreibgeschwindigkeiten sind um ein Vielfaches höher als bei DVDs und die Disks halten problemlos 50 Jahre.[23 und 24] Ich denke, der Grund, dass sich die MO Disks nicht durchgesetzt haben, war der relativ hohe Preis und das hohe Risiko, dass dieses Medium vom Markt verschwindet. Durch fehlende Investitionen konnte dieser Entwicklung nicht entgegen gewirkt werden.

## 4 Ausblick

Gordon Moore formulierte 1965 das sogenannte „Moorsche Gesetz“. Es besagt, dass sich die Rechenleistung von Computern zirka alle 18 Monate verdoppelt. Auch in den meisten anderen Gebieten der Informatik ist dieses Gesetz gültig. Zum Beispiel sind die Speicherkapazitäten von 1979 bis heute im gleichen Maße wie die Rechenleistung gestiegen.[28] Es stellt sich nun die Frage, ob dieser Trend unendlich so weitergehen kann. Die magnetischen Speichermedien haben schon häufig den Sprung über eine angebliche physikalische Grenze geschafft. Der superparamagnetischer Effekt, der beschreibt, dass zu kleine Teilchen keine bleibende Magnetisierungen halten, wurde schon öfters als physikalische Grenze für magnetische Speichermedien genannt. Jedoch gab es auch hier immer wieder Möglichkeiten diese Grenze zu umgehen. Im Jahr 2000 dachte man diese Grenze sei bei 40 Gigabit pro Quadratzoll erreicht, derzeit sieht man die Grenze eher bei 1000Gigabit pro Quadratzoll.[30] Zudem wurden optische Speichermedien entwickelt. Heutzutage können die optischen Speichermedien im Gebiet Speicherkapazität nicht mit den magnetischen mithalten. Eine handelsübliche Blu-ray Disk mit 50 Gigabyte erreicht gerade mal ein zwanzigstel der Speicherkapazität einer handelsüblichen Festplatte. Jedoch wird schon eine weitere Generation der optischen Speichermedien entwickelt, die die Möglichkeiten des magnetischen Speichers in allen Punkten übertreffen könnte: der holographische Speicher.

---

einen Winkel QK (Kerr-Winkel) dreht. Somit kann über die Messung des Kerr-Winkels die Magnetisierung einer Probe beschrieben werden.“ [<http://institut2a.physik.rwth-aachen.de/praktikum/Versuche/vers107.pdf>]

<sup>3</sup>„Die Koerzitivkraft ist ein Maß für die magnetische Feldstärke, die erforderlich ist, um den Restmagnetismus, eines magnetischen Speichermediums vollständig zu beseitigen.“ [<http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Koerzitivkraft-coercive-force.html>]

## 4.1 Holographischer Speicher

Der holographische Speicher basiert auf einem kristallinen Material. Erst seit kurzer Zeit ist es möglich, dieses Material künstlich und kostengünstig zu produzieren. In dem Material wird ein Hologramm gespeichert, welches unter Zuhilfenahme von zwei Lasern wieder ausgelesen und rekonstruiert werden kann. „Der große Vorteil des holographischen Speichers ist, dass die gesamten Infos übereinander gespeichert werden [...] Alle Daten werden parallel aufgenommen, sogar die dritte Dimension“[24, Zitat von Prof. Dr. Cornelia Denz, zweiter Absatz] Der Holographische Speicher kann riesige Datenmengen erfassen, hat Zugriffszeiten von unter einer Millisekunde und erreicht Lesegeschwindigkeiten von mehreren Gigabyte pro Sekunde. Der holographische Speicher kann verschleißfrei ohne Qualitätsverlust unendlich oft ausgelesen werden und soll auch noch nach tausend Jahren lesbar sein.[24] Die ersten holographischen Speicher werden zur Zeit entwickelt. 2012 soll eine 500GB Disk von General Electric marktreif werden.[25] Auch Firmen wie InPhase Technologies und Holographic Versatile Disc, die beide große internationale Partner haben, entwickeln holographische Speicher, die in ein paar Jahren einsatzbereit sein sollen.[26]

## 5 Schluss

Es empfiehlt sich zur Sicherheit, Daten redundant zu speichern und räumlich und organisatorisch zu trennen. So sind, auch bei menschlichem Versagen, Naturkatastrophen oder anderen unvorhersehbaren Ereignissen, die Daten nicht für immer verloren. Der beste historische Beweis dazu ist der Brand der Bibliothek von Alexandria. Zur Zeit sind kombinierte Speicherstrategien von verschiedenen Medien am sinnvollsten. Bisher ist kein einziges Medium in der Lage alle Anforderungen der Langzeitarchivierung zu erfüllen. Sollte der holographische Speicher jedoch wirklich die vermuteten Eigenschaften besitzen, so wäre er der erste Speicher, der wirklich alle Anforderungen erfüllen könnte. Aber selbst dann wird es aller Wahrscheinlichkeit nach wieder verschiedenste Formate geben, die Hardwaremigration notwendig machen. Es wird wohl niemals ein endgültiges Speichermedium zur Langzeitarchivierung geben.



## Literatur

- [1] Heike Neuroth, Achim Oßwald, Regine Scheffel, Stefan Strathmann, Mathias Jehn/ nestor Handbuch - Eine kleine Enzyklopädie der digitalen Langzeitarchivierung Version 1.5 Dezember 2008  
<http://nestor.sub.uni-goettingen.de/handbuch/nestor-handbuch.pdf>
- [2] Florian Müller/ Weshalb Mikrofilm?  
[http://www.peviar.ch/index.php?content=why\\_microfilm&mainnav=projektuebersicht](http://www.peviar.ch/index.php?content=why_microfilm&mainnav=projektuebersicht)
- [3] Martin Gubler und Thomas Klöti/ Der farbige Mikrofilm - Zwischenoriginal für konventionelle und digitale Bildarchivierungssysteme  
<http://www.stub.unibe.ch/stub/ryhiner/filmtxd.html>
- [4] Gubler Imaging/ Datensicherung auf Colormikrofilm  
[http://www.mikrosave.ch/d/technologien/mikro\\_filmeigerschaft.html](http://www.mikrosave.ch/d/technologien/mikro_filmeigerschaft.html)
- [5] Deutsches Mikrofilm Institut/ Glossar  
<http://www.dmi.de/index.php?id=glossar>
- [6] HD-Rosetta Archival Preservation Services  
<http://www.norsam.com/hdrosetta.htm>
- [7] LTO Technology/ Ultrium format  
<http://www.lto.org/technology/uformat.php?section=0&subsec=uformat>
- [8] Dr. Stefan Rohde-Enslin/ Materialien aus dem Institut für Museumskunde Sonderheft 2  
<http://edoc.hu-berlin.de/series/nestor-ratgeber/1/PDF/1.pdf>
- [9] Dianne McAdam/ Is Tape Really Cheaper Than Disk?  
[http://www-03.ibm.com/industries/global/files/DMG\\_tape\\_disk.pdf?g\\_type=pspot](http://www-03.ibm.com/industries/global/files/DMG_tape_disk.pdf?g_type=pspot)
- [10] Siegfried Dannehl/ Archivierung mit optischen Medien  
<http://www.speicherguide.de/magazin/optical.asp?todo=de&theID=2306&lv=500&mtyp=>
- [11] Eduardo Pinheiro, Wolf-Dietrich Weber und Luiz André Barroso/  
Failure Trends in a Large Disk Drive Population  
[http://labs.google.com/papers/disk\\_failures.pdf](http://labs.google.com/papers/disk_failures.pdf)
- [12] Thomas Kretschmann/ Hitachi erhöht Festplatten-Datendichte  
<http://www.tomshardware.com/de/Hitachi-GST-TByte-Perpendicular,news-241437.html>
- [13] Wolfgang H. Janko / Optische Speicher  
<http://wwwai.wu-wien.ac.at/edv/VO/book/node46.html>

- [14] Stefan Lehmacher/„Mindestens haltbar bis: ...“ und „Benutzen verboten?“/ Interview und Artikel mit Matthias Hemmje  
<http://www.heute.de/ZDFheute/inhalt/17/0,3672,4090865,00.html>  
<http://www.heute.de/ZDFheute/inhalt/18/0,3672,4090866,00.html>
- [15] Fred R. Byers/ Care and Handling of CDs and DVDs  
<http://www.clir.org/pubs/reports/pub121/pub121.pdf>
- [16] Margarete Payer/ „Unterlagen zum Modul Digitale Bibliothek : Langzeitarchivierung“  
<http://www.payer.de/digitalebibliothek/digbib02.htm>
- [17] Rainer Mersmann/ DVD-Ram - Das unterschätzte Format  
<http://www.stern.de/computer-technik/computer/:DVD-Ram-Das-Format/596230.html>
- [18] Sasan Abdi/ Pioneer bannt 400 GB auf Blu-ray-Medium/ Quelle: Pressemitteilung  
[http://www.computerbase.de/news/hardware/laufwerke/optische\\_speicher/2008/juli/pioneer-ray-medium/](http://www.computerbase.de/news/hardware/laufwerke/optische_speicher/2008/juli/pioneer-ray-medium/)
- [19] Blu-Ray-Disc  
<http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Blu-Ray-Disc-BD-blu-ray-disc.html>
- [20] CeBIT: TDK härtet die Blu-Ray-Disk  
[http://www.tecchannel.de/storage/news/422063/cebit\\_tdk\\_haertet\\_die\\_blu\\_ray\\_disk/index](http://www.tecchannel.de/storage/news/422063/cebit_tdk_haertet_die_blu_ray_disk/index)
- [21] TDK/ DURABIS2 Technologie  
<http://www.tdk-media.eu/de/bluray/durabis2.php>
- [22] Press Release/ Sony Develops Next Generation Optical Disk Storage System For the Data Server Market  
[http://www.sony.net/SonyInfo/News/Press\\_Archive/200011/00-54E1](http://www.sony.net/SonyInfo/News/Press_Archive/200011/00-54E1)
- [23] MO-Disc  
<http://www.itwissen.info/definition/lexikon/MO-Disc-MOD-magnetic-optical-disc.html>
- [24] Dagmar Etirel/ Speichermedien für die Langzeitarchivierung  
<http://www.pc-professionell.de/special-articles/2008/04/17/20080415025.aspx/5>
- [25] Susann Blum/ Die Zukunft des Speicherns liegt im Würfelzucker-Format  
<http://www.forward2business.com/index.php?id=52>



- [26] Bernd Reder/ General Electric entwickelt optischen Speicher mit 500 GByte Kapazität  
<http://www.networkcomputing.de/general-electric-entwickelt-optischen-speicher-mit-500-gbyte-kapazitaet/>
- [27] Siegfried Dannehl/ Optische Speichertechnologien der Zukunft  
<http://www.speicherguide.de/magazin/optical.asp?todo=de&theID=1466&lv=500&mtyp=>
- [28] Grundsätze ordnungsmäßiger DV-gestützter Buchführungssysteme (GoBS)  
<http://www.bdzk.de/Portfolio/Firmenkunden/GoBS/gobs.html>
- [29] Prof. em. Hartmut Wedekind / 25Jahre Datenbanken: Hin zu Verteilten Systemen  
<http://www6.informatik.uni-erlangen.de/events/25-years/25JahreINF6-Manuskript-HW.pdf>
- [30] Technologie-Trends bei Festplatte & Co  
[http://www.tecchannel.de/storage/komponenten/401615/technologie\\_trends\\_bei\\_festplatten\\_co/](http://www.tecchannel.de/storage/komponenten/401615/technologie_trends_bei_festplatten_co/)