

# Holographische Datenspeicher

## Archivierung für den professionellen Videomarkt

Holographie versprach lange die Speichertechnik zu sein, die das Potenzial für große Kapazität und hohe Datenraten hätte. Jüngste Technikfortschritte lassen diese Vision Wirklichkeit werden. Im Beitrag wird die Funktionsweise der holographischen Datenspeichertechnik von InPhase Technologies grundlegend beschrieben.

Holography has long held promise as a data storage technology with the potential for vast capacity and high data rates. Recent advances in materials, multiplexing architectures, and components are finally making this vision a reality. Basically, the contribution describes the development of a holographic data storage system by InPhase Technologies.

### Wachstum der Archivdaten

Eine Studie mit dem Titel „How Much Information“ der University of California in Berkeley stellt fest, dass auf der Welt im Jahr 2003 etwa 12 Milliarden GBytes an Information produziert wurden, von der etwa die Hälfte – die sogenannte feste Content-Information – nicht verändert wird. Sie gilt als aktive Referenz, und dazu zählen zahlreiche Formen wie zum Beispiel sensible Geschäfts-, Rechts- und Referenzdokumente. Anders als Datenbanken und Dateien, die sich verändern und permanent aktualisieren, ist der Wert von festen Contentdaten die Versicherung für Datendauerhaftigkeit, erweitertem Datenzugang und langer Lebensdauer der Information. Dazu gehören auch Bildarchivierungen wie die Archivierung von Patientenaufzeichnungen im medizinischen Bereich, die Speicherung von Aufzeichnungen im Finanzbereich wie Scheck-Scans, und anderes mehr.

Starken Zuwachs, auch aufgrund von gesetzlichen Regelungen, werden Rich-Media-Anwendungen haben, also Sendeinhalte, Satellitenbilder und wissenschaftliche Anwendungen. Derartige Archive erfordern nicht nur dauerhafte und langlebige Archivmedien mit mindestens 50 Jahren Archivdatenlebensdauer, sondern auch extrem zuverlässige Geräte und die gleiche Multigenerations-Rückwärts-Lesekompatibilität wie beim Band. Die Random-Access-Leistung, die den direkten Zugang zu den Daten gewährt, ist eine weitere kritische Anforderung.

#### M. Lanciloti

Mike Lanciloti ist der Leiter des Vertriebs bei InPhase Technologies in Longmont, Colorado (USA). Gekürzte Fassung eines Beitrags aus der EBU Technical Review Nr. 307, 07/2006 mit freundlicher Genehmigung. Aus dem Englischen übertragen von Reinhard E. Wagner.

Die Herausforderung für Anbieter von professionellen Archivierungsprodukten besteht in der Bereitstellung von Lösungen, die den Bedarf in Sachen Datenlanglebigkeit, Sicherheit und Offenheit decken, aber konkurrenzfähig im Sinne von Kapazität, Leistung und Preis sind. Ein derzeitiger Trend im Archivierungsmarkt ist die begrenzte Adoption von Festplattentechnik (HDD) für Archivierungsanwendungen und Content-adressierbarem Speicher, ein Verfahren, um HDDs in Archivierungsanwendungen einzusetzen. Obwohl Festplatten einige wichtige Anforderungen für Archive erfüllen können, im Besonderen bei der Kapazität und der Leistung, sind sie für viele Anwendungen nicht konkurrenzfähig (zum Beispiel Preis oder Datenlanglebigkeit). Holographischer Datenspeicher stellt sich hier – im Vergleich mit Festplatten – als eine Alternative zur Lösung dieser Aufgaben dar.

### Information Lifecycle Management

Die Zunahme beim „festen Datencontent“ hat zudem die Adaption von 'Information Lifecycle Management'-Anwendungen (ILM) beschleunigt. Traditionell sind die meisten elektronischen Daten in Betrieben online auf Festplatten. Periodische Datensicherungen auf Band bieten eine zusätzliche Offline-Kopie insbesondere für die Wiederherstellung im Katastrophenfall, falls der erste Datensatz nicht zur Verfügung steht. Diese Praktik ist aber bei Zunahme der Datenmenge wirtschaftlich nicht mehr vertretbar. Viele Anwender speichern schon mehrere Terabytes an Daten online, sich schnell zu Speichergößen von Petabyte bzw. Exabyte hinbewegend. Sie sind einfach nicht in der Lage, ihre Online-Datenspeicherung mit dem Anwachsen ihrer Daten aufrecht zu erhalten.

ILM bietet eine kostengünstige Lösung zur Verwaltung der explosionsartig steigenden Datenmenge. Sie ermöglicht Anwendern

den Einsatz einer Reihe von Speichergeräten, jedes mit anderer Auswahl an unterschiedlicher Performance, unterschiedlichen Kosten und weiteren Eigenschaften. Unterschiedliche Datentypen können dann auf verschiedenen Speichergeräten gespeichert und somit die Gesamtkosten reduziert werden.

In ILM-Anwendungen stellt die Datenarchivierung eine kritische Stufe innerhalb der Speichermischung dar. Es ist eine Langzeitablage für Information, die für den Betrieb von Wichtigkeit sind, um damit die Investitionen, die für Online-HDD-Speicher erforderlich sind, zu erhalten. Archivdaten müssen nicht nur für einen Zeitraum von 50 Jahren und länger zugänglich bleiben, sondern müssen auch vor unbeabsichtigter oder absichtlicher Änderung geschützt werden.

Eine andere Stufe innerhalb der ILM-Tiered-Speicherstruktur, bekannt als Nearline-Speicher, ist ausgereift wird aber zurzeit nicht durch Produkte unterstützt. Wie der Name impliziert, hat ein Nearline-Speicher Merkmale, die zwischen Online-, HDD-Lagerung und -Archivierung oder Offline-Band-basierender Lagerung beruht. Ein Beispiel für Nearline-Speicherung wäre eine Datei-Wiederherstellungsanwendung, die eine Vielzahl von Files verwaltet. Alle Ordner auf Festplatten online zu halten, ermöglicht den Dateizugriff in Millisekunden, aber zu sehr hohen Kosten. Hingegen würde die Speicherung auf Band kostengünstiger sein, aber die Wiederherstellungszeit würde von Millisekunden auf Minuten oder noch länger steigen. Eine Nearline-Speicherung würde für einen Dateizugriff in Sekunden sorgen und das zu einem Preis, der merklich geringer als für HDDs wäre. Heute gibt es nur wenige Erzeugnisse, die dieser Nearline-Speicherung gerecht werden. Band-Bibliotheken werden manchmal mit dieser Kapazität eingesetzt, aber die Zugangszeit ist oft langsam und die Wiederherstellung vom Band ist oftmals unzuverlässig.

Eine holographische Speicherung ist nicht nur eine Lösung für die Archivierungsstufe von ILM, sondern stellt auch eine für die Nearline-Speicherung zur Verfügung. Bei einem Speicherleben von mindestens 50 Jahren sind 'Write Once Read Many'-(WORM-)Möglichkeiten und kostengünstige Medien – zusammen mit holographischer Speicherung – eine Archivlösung. Holographische Technik adressiert auch die Nearline-Stufe, um für schnellen und zuverlässigen Zugang zu Daten zu sorgen, aber zu einem Preis, der merklich geringer als der von HDDs ist. Zugriff auf irgendwo auf einem holographischen Medium abgelegte Daten ist in Millisekunden möglich.

### Professional Videomarkt

Der Bedarf bei professionellen Anwendern ist einzigartig, wenn man ihn mit anderen Anwendern vergleicht. Während IT-Systeme die Zuverlässigkeitsanforderungen dieser Anwender erfüllen können, wird der Echtzeitanspruch bei audiovisuellem Material und sein Einfluss auf die Videozulieferkette häufig von IT-Profis falsch verstanden.

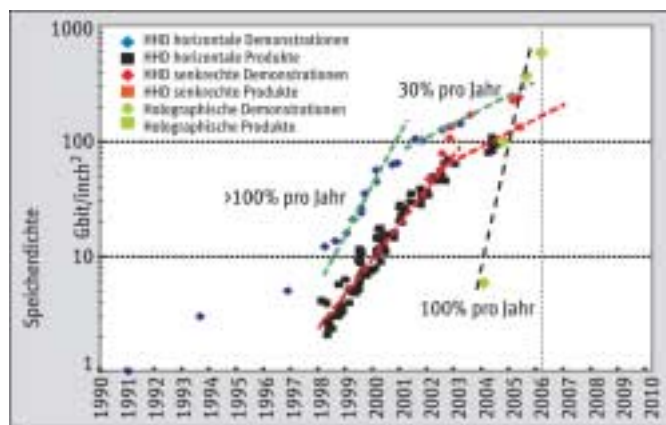
Der Videoworkflow im Professional-Bereich ist ein fortlaufender Prozess der vom Content-Erwerb über Postproduktion, Mastering und Verteilung bis zur Archivierung geht. Dieser lange und komplizierte Prozess wurde bisher durch die digitale Technik wegen unzureichender Performance, Kapazität und Bandbreite nur schlecht bedient. Erst in den letzten Jahren wurden hier bessere Anpassungen erreicht.

Die Archivierung ist im Broadcastbereich besonders wichtig. Content ist wertvoll und muss für einen langen Zeitraum gelagert werden, oftmals auch unbegrenzt, und das wiederum muss sicher und kosteneffektiv geschehen. Der Trend zu HD-Formaten erhöht die zu speichernde Datenmenge erheblich. Es ist nicht mehr praktisch, Regale mit Offline-Bändern als primäres Archiv zu betreiben.

### Grenzen des Festplattenspeichers

Für viele Jahre waren Festplattenlaufwerke in der Lage, die Speicherkapazität stetig ansteigen zu lassen. Die Plattenspeicherdichte verdoppelte sich durchschnittlich alle 18 bis 24 Monate (Bild 1). Während die Speicherdichte stieg, fielen die Preise und man hoffte, dass High-Density-Festplatten (HDDs) eventuell kostengünstig genug werden würden, um als universeller Speicher für alle Anwendungen benutzt werden zu können.

Die Speicherdichte der Festplatten stieg



**Bild 1.** Speicherdichtetrends: Festplatte gegen holographischen Speicher (Quelle: Carnegie Mellon University, Electrical and Computer Engineering/DSSC und InPhase Technologies)

auch kontinuierlich, aber das Verfahren der Datenspeicherung auf der Oberfläche eines Mediums, in dem man die abzulegenden Bits immer dichter zusammenrückt, stößt langsam an seine praktikablen Grenzen stößt. Die dreidimensionale holographische Speichertechnik stellt sich als möglicher Weg der Zukunft dar.

### Holographische Speicherung

Im Dezember 2000 wurde die InPhase Technologies als ein Geschäftsteil von Lucent Technologies gegründet, die sich wiederum aus der Entwicklungsabteilung von Bell Labs gegründet hatten. Ziel der Gründung war es, die erste Firma zu sein, die holographischen Speicher auf den Markt bringen wird. Durch die technischen Entwicklungen der Bell Labs-Wissenschaftler, konnte InPhase zahlreiche grundlegende Probleme im Zusammenhang mit holographischem Speicher beseitigen, einschließlich der Herstellung von zuverlässigen Speichermedien und der Fähigkeit des Systems, Hologramme aufzuzeichnen. Das Ergebnis der mehr als zehnjährigen Entwicklungsarbeit führten schließlich zu dem holographischen Tapestry-Medium und -Laufwerk von InPhase.

Die Holographie durchbricht die Speichergrenzen von konventionellem Speicher indem man nicht nur auf der Oberfläche, sondern auch in die Tiefe des Speichermediums aufzeichnet. Anders als andere Techniken, die nur jeweils ein Bit zur gleichen Zeit aufzeichnen können, können bei der Holographie Millionen Datenbits mit einem einzigen Lichtblitz parallel geschrieben und gelesen werden. Das ermöglicht Übertragungsraten, die erheblich höher als bei optischen Speichergeräten sind.

Mit der Kombination von hoher Speicherdichte und schnellen Übertragungsraten, gekoppelt an beständige, zuverlässige und kostengünstige Medienträger, kann Holographie die Wahl für kommende Speichergenerationen und Content-Verteilanforderungen werden.

Außerdem ermöglicht die Flexibilität die-

ser Technik die Entwicklung einer breiten Vielfalt holographischer Speicherprodukte, von tragbaren Consumergeräten bis hin zu Speicherprodukten für den Unternehmensbereich. Man stelle sich nur vor, dass 2 GB Daten auf eine Briefmarke, 20 GB auf eine Kreditkarte oder 300 GB auf eine Disk von der Größe einer DVD passen.

### Datenaufzeichnung

Die Datenaufzeichnung erfolgt mit Licht von einem einzelnen blauen Laserstrahl, der in zwei Strahlen aufgeteilt wird, den Signalstrahl (der die Daten transportiert) und den Referenzstrahl. Das Hologramm wird aus beiden Strahlen geformt, indem sich die beiden Strahlen im Aufzeichnungsmedium überlagern und interferieren (Bild 2).

Der Datenencodierprozess wird über den so genannten 'Spatial Light Modulator' (SLM) durchgeführt. Der SLM übersetzt die elektronischen Daten – Nullen und Einsen – in ein optisches Schachbrett-Muster aus hellen und dunklen Pixeln. Die Daten werden in einem Array oder einer Seite von etwa eine Million Bits abgelegt. Die genaue Bitzahl wird über die Pixelzählung des SLMs bestimmt.

Am Schnittpunkt der Überlagerung von Referenz- und Signalstrahl wird das Hologramm in das lichtempfindliche Speichermedium aufgezeichnet. Eine chemische Reaktion, die durch das Auftreffen der hellen Teile des Signalstrahls beim Überlagern mit dem Referenzstrahl entsteht, bewirkt, dass das Hologramm gespeichert wird. Durch Veränderung des Winkels oder der Wellenlänge des Referenzstrahls oder der Mediumposition können unterschiedliche Hologramme auf dem gleichen Medium aufgezeichnet werden.

Jede Datenseite wird mit einer eigenen Adresse innerhalb des Materials und mehrere hundert Datenseiten, ebenfalls jede mit einer unterschiedlichen Adresse, am gleichen Ort des Mediums abgelegt. Eine Datenseitensammlung wird auch als Buch bezeichnet. Die von InPhase patentierte polytopische Auf-

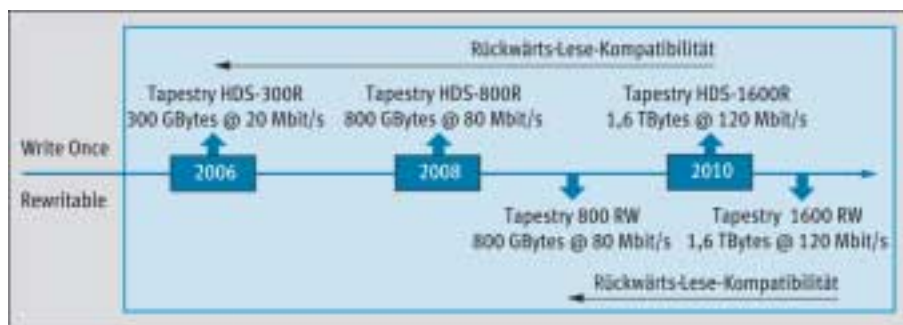




**Bild 4.** Holographische Datenträger von InPhase Technologies ↑



**Bild 5.** Prototyp eines holographischen Laufwerks, das auf der NAB 2006 gezeigt wurde ↑



**Bild 6.** Entwicklung der holographischen Datenspeicher ↓

benszeittests simulieren das Langzeitverhalten durch Belastungen, wie sie bei einer normalen Umweltbeeinflussung und Nutzung nicht auftreten könnten. Die holographischen Medien kamen in eine spezielle Umweltkammer, in der die Temperatur bis auf 80°C bei 95% relativer Luftfeuchte angehoben wurde. Regelmäßig wurde die optische Qualität der Medien gemessen, um festzustellen, ob es zu irgendeiner Veränderung im Aufzeichnungsverhalten des holographischen Trägers gekommen war. Typischerweise fordern 50-Jahre-Archivtests von optischen Medien, dass sie die optische Qualität für 1000 Stunden unter diesen erhöhten Temperaturen und Feuchtigkeitsbedingungen halten. Die Tests zeigten, dass die holographischen Datenträger stabile optische Eigenschaften für mehr als 3.000 Teststunden unter den genannten Bedingungen erreichten.

### Holographische Speicherprodukte

Erst vor kurzem wurden einige Faktoren geschaffen, die schließlich InPhase die Möglichkeit boten, ein kommerziell nutzbares holographisches Speichergerät zu entwickeln. Die Faktoren sind dabei die Verfügbarkeit von Lasern mit blauem Licht (blue laser), SLMs (Spatial Light Modulatoren) und Kamerachips mit ausreichend hoher Auflösung. Des Weiteren war auch ein Schlüsselfaktor die Entwicklung des Tapestry-Mediums mit passender optischer Güte, Produzierbarkeit und Archivierungs-Lebensdauer (**Bild 4**). Schließlich trugen auch Techniken wie das polytopische Multiplexing dazu bei, signifikant höhere

Speicherdichte mit konkurrenzfähigen Speicherkapazitäten und Preisen anbieten zu können.

Das erste holographische Speicherlaufwerk von InPhase wird ein 'Write Once Read Many'-(WORM-)Laufwerk sein, das sequenzielles Schreiben und wahlfreies Auslesen unterstützt. Es hat einen 2-GB-Buffer als Cache für die Schreibvorgänge, um sie in der Leistung für lange, ununterbrochene Schreibsessions zu unterstützen (**Bild 5**). Das Laufwerk kann eine Reihe von existierenden Speichergeräten emulieren: LTO-Band- und 'Magnet Optical'-(MO-)Laufwerke. Zunächst wird das Laufwerk mit einer SCSI-Schnittstelle ausgestattet sein, obwohl der modulare Aufbau die unbegrenzte Möglichkeit der Implementierung zukünftiger Schnittstellen wie zum Beispiel Fibre Channel, Gigabit-Ethernet, SATA, USB-2 und SAS anbietet. Das Ergebnis dieser Standardschnittstellen und Laufwerkemulationen bedeutet, das bestehende Anwendungen einfach mit dem holographischen Laufwerk verbunden werden können, so als ob es sich um ein Bandlaufwerk oder MO-Gerät handeln würde, ohne irgendwelcher Änderungen bei der Anwendung.

### Entwicklungsstrategien

Das erste holographische Speicherprodukt von InPhase Technologies hat den professionellen Archiv- und Nearline-Speichermarkt mit WORM-Laufwerken und Medien als Ziel. Das Startprodukt wird eine Kapazität von 300 GB unkomprimierter Daten und Schreib-

/Lese-Transferaten von 20 MB/s haben. Nachfolgende Generationen an WORM-Geräten werden die Kapazität bis auf 800 GB und Transferaten von bis zu 80 MB/s steigern, gefolgt von 1,6 TB Speicherkapazität und 120 MB/s Datentransferaten (**Bild 6**).

InPhase wird zudem einen wiederbeschreibbaren holographischen Datenträger entwickeln, der ein Löschen und Wiederbeschreiben ermöglicht. Das erste wiederbeschreibbare Produkt soll eine Speicherkapazität von 800 GB und eine Datenübertragungsrate von 80 MB/s haben. Geplante weitere Entwicklungen sind 1,6 TB Speicher und 120 MB/s Transferate.

Schließlich ist holographischer Speicher auch an kostengünstige und Read-only-Anwendungen adaptierbar. Holographische Leser können preisgünstig entwickelt werden, da sie keine kostenintensiven optischen Bauelemente enthalten müssen. Die Vervielfältigungstechnik ist schnell und äußerst kostengünstig. Obwohl im **Bild 4** nicht dargestellt, entwickelt InPhase zurzeit ein tragbares holographisches Gerät für die Contentverteilung auf Consumerprodukte.

### Turner On-air-Demonstration

Seit Oktober 2005 sendet Turner Network Television als erstes Rundfunkunternehmen Content von holographischen Speichermedien. Ingenieure von InPhase Technologies und Turner Broadcasting System, Inc. (TNT) zeichneten dazu einen Werbeblock auf eine holographische Tapestry-Disk als Datenfile auf. Aufgezeichnet wurde mit dem Laufwerk-Prototyp von InPhase, über den anschließend das Material auf einen Server migriert und zur vorgeplanten Sendezeit ausgespielt wurde. Dieser Werbeblock wird von TNT noch immer genutzt und aktiv im System vorgehalten.

Die Vorteile der holographischen Lösung sind laut TNT das große Speichervolumen, Random Access, große Bandbreite, Sicherheit, tragbar und kostengünstig.

### Zukünftige Entwicklungen

Holographische Speichertechnik ist auf dem Vormarsch. Ermöglicht wird dieser Vormarsch insbesondere durch neue, verbesserte Materialien für die Aufzeichnungsmedien. Verbunden mit den Vorteilen geringer Speicherkosten und der langen Lebensdauer sind holographische Datenspeicher besonders für Archivierungen im Rundfunkbereich von Interesse.