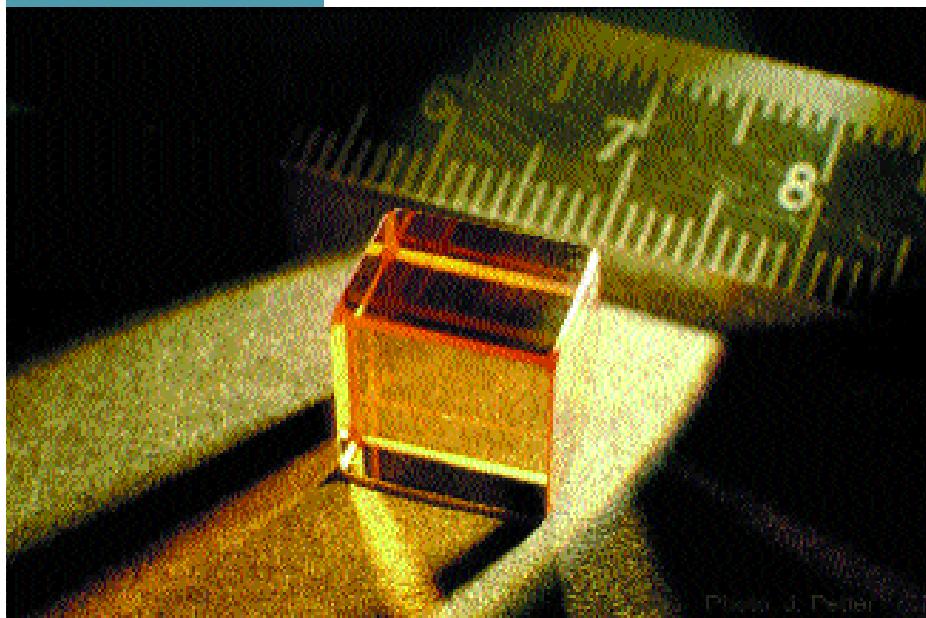


Datenspeicher im Zuckerwürfelformat

Von Dr. Cornelia Denz



Photorefraktiver LiNbO₃-Speicherkristall

Dem explodierenden Speicherbedarf im digitalen Datenbereich werden herkömmliche Speichersysteme schon bald nicht mehr gewachsen sein.
An der Technischen Universität in Darmstadt wurde ein neues Verfahren entwickelt, mit dem es theoretisch möglich ist, Daten im Bereich eines Terabyte in einem zuckerwürfelformigen Kristall abzuspeichern – bei Ausleseraten von einem Gigabyte pro Sekunde und Zugriffszeiten unter einer Millisekunde.

Die Datenspeicherung ist eine der großen Herausforderungen des ständig expandierenden Multimediamarktes. Datenarchivierung in Bibliotheken, in der Medizin oder im Bereich der Kunst verlangen nach hochkapazitiven Speichern, die ganze Bildseiten auf einmal speichern können. Gleichzeitig explodiert der Speicherbedarf im digitalen Datenbereich. Videodatenbanken, Netzwerkdienste oder Satellitenkommunikation sind einige der Gebiete, in denen in Zukunft Terabytes von Daten gespeichert und in wenigen Tausendstelsekunden abrufbereit sein müssen. Compact Disks mit einer Standardspeicherkapazität von 650 Megabyte können die Datenflut derzeit gerade noch bewältigen. Den künftigen Bedarf an Speicherkapazitäten werden sie jedoch trotz neuer Entwicklungen wie der Digital Versatile Disk (DVD) bei weitem nicht abdecken können.

Hologramme dagegen gelten durch ihre parallele Speicherung als die Datenspeicher der Zukunft. Der Grundgedanke der Holographie besteht darin, das vollständige, von einem Objekt ausgehende Wellenfeld zu speichern. Dazu werden zwei Lichtwellen im holographischen Speichermaterial überlagert, eine die Information tragende Datenwelle und eine Referenzwelle. In der Hologrammebene entsteht dadurch ein Interferenzmuster, das wie bei der fotografischen Belichtung helle und dunkle Bereiche formt und dadurch die Information aufzeichnet. Beleuchtet später nur die Referenzwelle das Hologramm, so entsteht durch Beugung die ursprüngliche Datenwelle – die Holographie ermöglicht

Seitenblick

daher die vollständige Rekonstruktion der Daten.

Volumenhologramme bieten enormes Potential

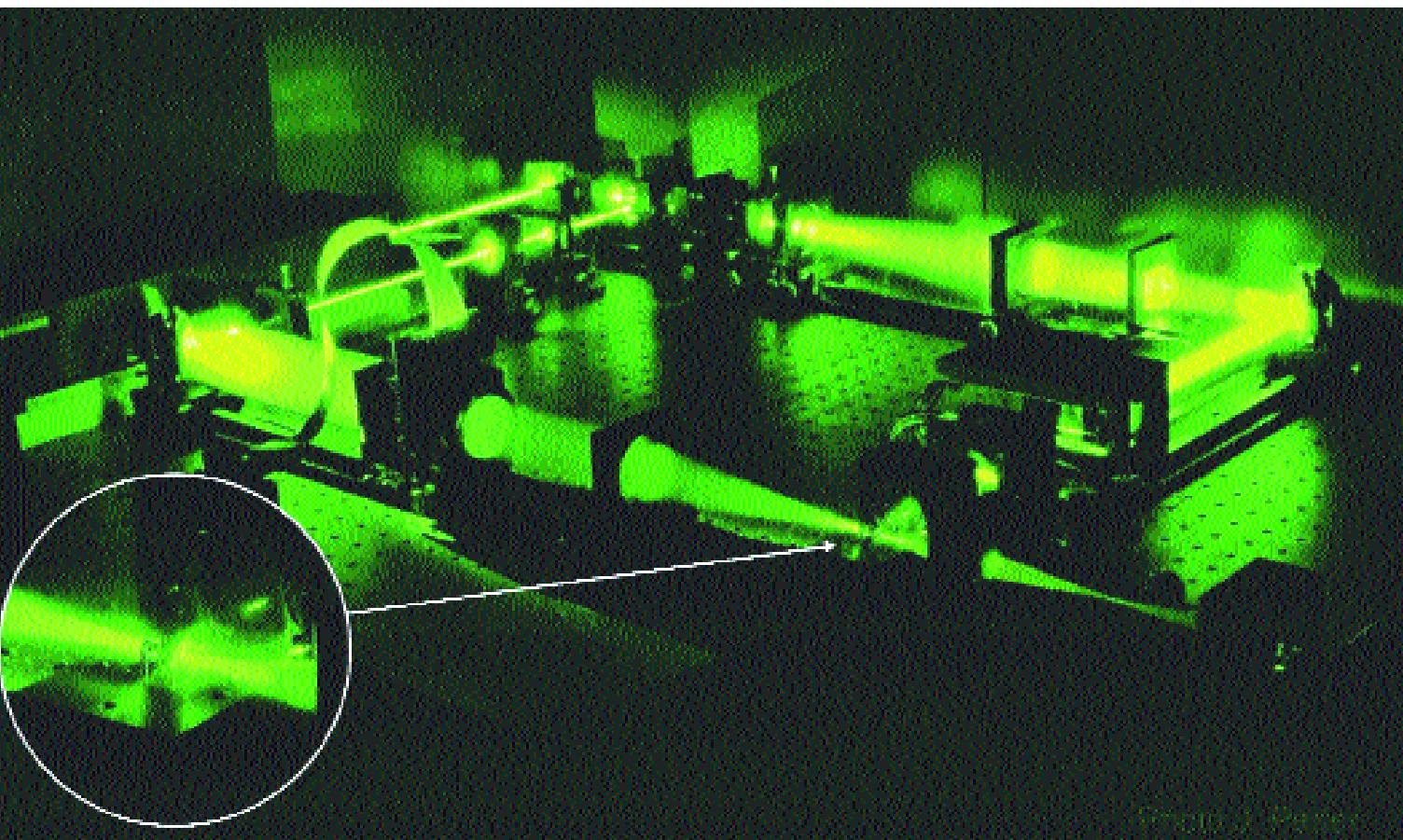
Während diese planaren Hologramme jeweils nur eine Bild- oder Datenseite erfassen, können Volumenhologramme weit aus höhere Speicherdichten erzielen. Je dicker das Material ist, desto exakter muss die Referenzwelle beim Auslesen mit derjenigen des Einschreibens übereinstimmen. Kleinste Änderungen im Beleuchtungswinkel, der Wellenlänge oder

Hologrammen an einem Ort überlagert werden, ohne sich gegenseitig zu stören. Bei der von uns entwickelten Phasenkodierung wird die Referenzwelle lediglich in verschiedene Teilgebiete unterteilt, in denen die Welle jeweils im Vergleich zum Nachbargebiet etwas verzögert wird, so dass sich die Phasenlage der Wellen in den einzelnen Gebieten relativ zueinander ändert.

So entsteht für jedes zu speichernde Bild ein charakteristisches Phasenmuster, das den gezielten und unabhängigen Zugriff auf verschiedene gespeicherte

wie Addition, Subtraktion oder Inversion – der gespeicherten Bilder in Echtzeit. Die Vorteile dieser volumenholographischen Datenspeicher liegen auf der Hand: hohe Packungsdichten und kurze Zugriffszeiten. Ein zuckerwürfelförmiger Kristall kann daher theoretisch schon eine Speicherkapazität im Bereich von einem Terabyte bei Ausleseraten von Gigabyte pro Sekunde und Zugriffszeiten unter einer Millisekunde versprechen.

Wegen ihrer relativ langsamen Schreibzeiten im Bereich von einigen hundert Millisekunden bis Sekunden pro Daten-



Das Speichersystem

in der Phasenverteilung der Welle verhindern die Rekonstruktion. Diese als Bragg-Selektivität bekannte Bedingung stellt gerade das enorme Potenzial der Datenspeicherung dar: Jede Änderung eines dieser drei Parameter, die die Eigenschaften des Volumenhologramms festlegen, ermöglicht das Einschreiben und Speichern eines neuen Bildes. Durch dieses Verfahren kann eine Vielzahl von

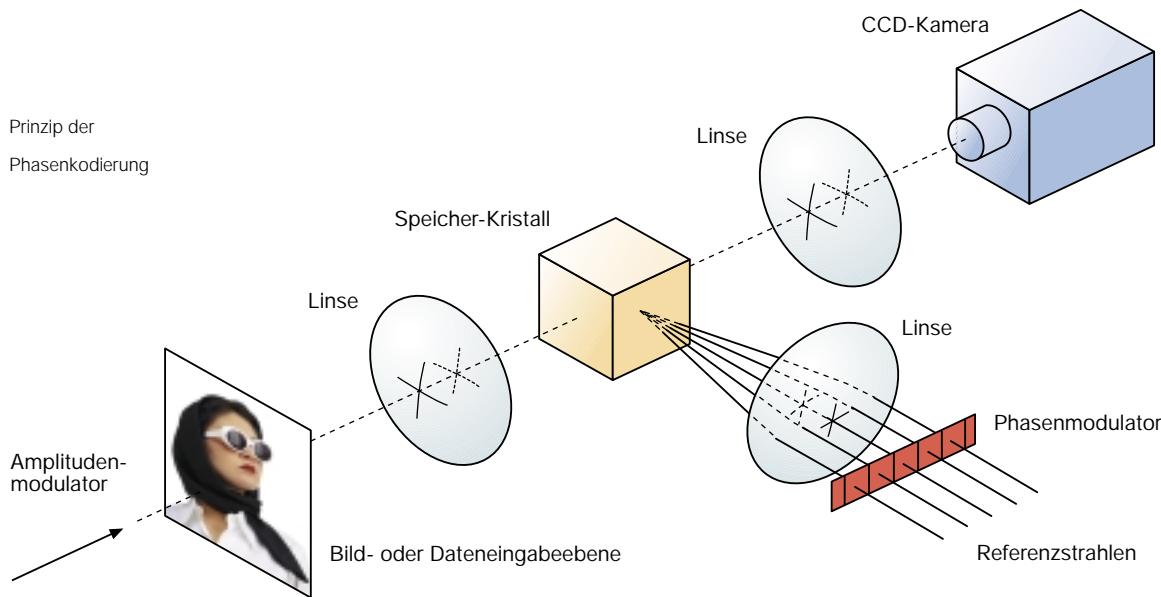
Datenseiten ermöglicht. Das Verfahren arbeitet mit einer konstanten Wellenlänge und ohne Veränderung des Referenzwellenwinkels, so dass im System keine mechanisch bewegten und damit meist störanfälligen Teile benötigt werden. Außerdem ermöglicht es als einziges der drei Speicherverfahren neben der reinen Speicherung auch die Realisierung optischer arithmetischer Operationen –

seite, den jedoch attraktiven, schnellen Zugriffszeiten und Datentransferraten, wird heute das Einsatzgebiet solcher Speicher in hochkapazitiven Archivdatenbanken gesehen.

Das Speichersystem

Aufbauend auf diesem Prinzip haben wir ein kompaktes und vollständig automatisch durch einen Rechner gesteuert

Prinzip der
Phasenkodierung



tes Speicher- und Bildverarbeitungssystem entwickelt. Dabei wird ein grüner Laserstrahl eines frequenzverdoppelten Neo-dym:YAG Lasers in einen Referenz- und einen Datenstrahl aufgespalten. Ein als räumlicher Lichtmodulator eingesetztes Flüssigkristalldisplay prägt die analogen Bilddaten oder das digitale Muster heller und dunkler Datenpunkte dem Lichtstrahl auf. Nachfolgend wird der Bildstrahl im LiNbO_3 -Kristall mit dem Strahl des Referenzarmes überlagert. Dieser ist durch den im Referenzstrahl eingebrachten zeilenförmigen Phasenmodulator speziell zur Speicherung der Bilder kodiert. Nach der Speicherung des entstehenden Interferenzmusters im Kristall wird dem Modulator ein neues Phasenmuster aufgeprägt, mit dem ein nachfolgendes Bild unabhängig eingespeichert werden kann. Nachdem alle Bilder derart abgelegt sind, können sie allein durch Eingabe des entsprechenden Phasenkodes auf dem Referenzarm unabhängig voneinander rekonstruiert und mit einem CCD-Sensor aufgezeichnet werden.

Analoge Bilder können direkt gespeichert werden, digital gespeicherte Daten können dagegen sofort auf konventionellen Computern weiter verarbeitet werden. Für den Objektvergleich, die Datenreduktion oder die Extraktion charakteristischer Merkmale von Bildern können die Datenseiten während der Rekonstruktion beliebig addiert, subtrahiert oder invertiert werden. So können z.B. Finger-

abdrücke, Röntgenbilder oder Kunstwerke mit Reproduktionen bzw. Fälschungen verglichen werden. Schließlich erlaubt der phasenkodierte Speicher auf einfachste Weise eine hochsichere Verschlüsselung der gespeicherten Daten, mit der z.B. CD-Software für einen unbefugten Nutzer praktisch nicht zu »knacken« ist.

Auf dem Weg zu einem kommerziell konkurrenzfähigen System bleibt derzeit noch die Herausforderung, kostengünstige, leicht und reproduzierbar herstellbare Speichermaterialien zu realisieren. Die hier vorgestellten photorefraktiven Einkristalle müssen nach einem langwierigen Zuchtprozess gepolt und poliert werden, so dass sie in der Herstellung extrem aufwendig und teuer sind. Neuartige Polymere eröffnen inzwischen jedoch Perspektiven, alternative Volumenmaterialien herzustellen, die sowohl die Datenspeicherung als auch die Informationsverarbeitung erlauben.

Dr. rer. nat. Cornelia Denz,
geb. 1963, leitet als wissenschaftliche Assistentin am Fachbereich Physik der Technischen Universität Darmstadt eine Arbeitsgruppe mit ca. zehn Mitarbeitern im Fachgebiet Licht- und Teilchenoptik des Instituts für Angewandte Physik.

Schwerpunkte der aktuellen Arbeiten sind neue Methoden der optischen Datenspeicherung und Informationsverarbeitung sowie grundlegende Untersuchungen zur nicht-linearen Optik.



Weitere Informationen unter
www.odi.iap.physik.tu-darmstadt.de/speicher-bericht.html

Kontakt: Dr. rer. nat. Cornelia Denz, Dipl.-Phys.
Kai-O. Müller, Institut für Angewandte Physik, TU Darmstadt, Hochschulstr. 6,
D – 64289 Darmstadt, Fon: +49 (0) 61 51 16 31 22, Fax: +49 (0) 61 51 16 41 23,
E-Mail: Cornelia.Denz@physik.tu-darmstadt.de, Kai-O.Mueller@physik.tu-darmstadt.de