

---

# ▶ Holographische Speichermedien

- ▶ Seminar Speichermedien
- ▶ Universität Heidelberg
- ▶ Milinda Joseph
- ▶ Betreuer: Julian M. Kunkel, Olga Mordvinova
- ▶ Heidelberg, den 04.11.2008

## Inhalt

---

- ▶ Einleitung
    - ▶ Holographie
    - ▶ Geschichte und Entwicklung
    - ▶ Funktionsbeschreibung
  - ▶ Holographische Speicher
    - ▶ Funktionsbeschreibung
  - ▶ Vor- und Nachteile
  - ▶ Stand der Forschung
  - ▶ Fazit
  - ▶ Quellenangabe
- 



## Holographie

---

- ▶ Holographie → Hologramm
- ▶ hólo =ganz, völlig und grámma =Nachricht
- ▶ bezeichnet die Möglichkeit, Wellen (speziell Lichtwellen)  
in ihrer Gesamtheit aufzuzeichnen

---

▶ 3

Das Wort „Hologramm“ → besteht aus den zwei Silben „holo“(ganz, völlig) und „gramm“(Nachricht) - „Ganze Nachricht“

Im Gegensatz zur normalen Photographie kann man nicht nur zweidimensionale(Intensität des vom aufzunehmenden Objekt kommenden Lichtes aufgezeichnet wird) sondern dreidimensionale Bilder aufnehmen. In einem Hologramm sind alle Informationen, die bei der Aufnahme verfügbar sind, also auch die Tiefe, gespeichert(die Richtung des Lichtstrahles)

Bei der Wiedergabe werden alle bei der Aufnahme gespeicherten Lichtstrahlen rekonstruiert und ihre Summe bildet dann das holographische Bild.

## Die historische Entwicklung

- ▶ -1948 ,Physiker Dennis Gábor als „Erfinder“

der Holografie

- ▶ - seine Idee war neben der Intensität

(Amplitude) des Lichtes auch dessen Phase

aufzuzeichnen



Abb. 1: Dennis Gabor

▶ 4

Der Erfinder der Holographie ist Dennis Gabor (Abb. 1) . Seine zufällige Entdeckung im Jahr 1948 war die Grundlage für die Herstellung von Hologrammen. Der aus Ungarn stammende englische Physiker veröffentlichte eine Arbeit über ein Verfahren, das die Funktionstüchtigkeit von Elektronenmikroskopen verbessern sollte. Deshalb führte er einen Versuch durch, der im Grunde genauso ablief wie die Herstellung eines Hologramms.

Informationen über ihren Ausgangspunkt bleiben hingegen völlig unberücksichtigt. Ließe sich aber die Phaseverschiebung der einzelnen vom Objekt ausgehenden Lichtwellen bezüglich einer „normierten“ Welle festhalten, so könnte man eine Aussage über ihren Ursprungsort machen. Diesen Gedanken erfasste auch Dennis Gabor und folgerte daraus, dass dieses „Problems“ mit Hilfe der Interferenz zu lösen sei, denn dadurch lässt sich der Phasenunterschied zweier Wellen darstellen.

Die herkömmliche Photographie vermag es nicht die aufgenommenen Bilder räumlich wiederzugeben. Dieser Mangel des bereits 1822 entwickelten Verfahrens<sup>6</sup> liegt an der Tatsache, dass photographischer Film lediglich die Intensität (bei Farbfilmern zusätzlich die Wellenlänge) der auftreffenden Lichtstrahlen „speichert“. Informationen über ihren Ausgangspunkt bleiben hingegen völlig unberücksichtigt.

Ließe sich aber die Phaseverschiebung der einzelnen vom Objekt ausgehenden Lichtwellen bezüglich einer „normierten“ Welle festhalten, so könnte man eine Aussage über ihren Ursprungsort machen. Diesen Gedanken erfasste auch Dennis Gabor und folgerte daraus, dass dieses „Problems“ mit Hilfe der Interferenz zu lösen sei, denn dadurch lässt sich der Phasenunterschied zweier Wellen darstellen.

## Die historische Entwicklung

---

- ▶ 1960 entwickelte Theodore Maiman den Rubinlaser
- ▶ 1963 Emmeth Leith und Juris Upatniek führten holographische Experimente durch
- ▶ 1964 Produktion des ersten Hologramms durch Leith und Upatnieks

---

▶ 5

Laser→Bei Laserlicht handelt es sich um kohärentes Licht, welches extrem stark gebündelt und punktgenau positioniert werden kann.

Dadurch wurde die Forschung erleichtert und 1964 entstand das erste Hologramm.

# Physikalische Funktionsbeschreibung

---

## Die Hologrammtypen

- ▶ Lasertransmissionshologramme
- ▶ Weißlichtreflexionshologramme
- ▶ Multiplexhologramme

## Holographiematerial

---

- ▶ Platte - PFG-04 >5000Linien/mm
- ▶ Laser - Helium-Neon Laser (HeNe), rot
- ▶ Linse - den Strahl aufzuweiten
- ▶ Spiegel – Laserstrahl zu lenken
- ▶ Tisch
- ▶ Chemikalien
- ▶ Objekt

---

▶ 7

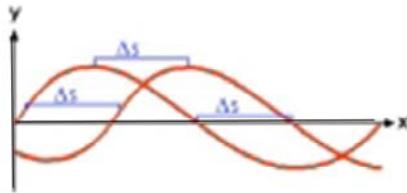
Filme sind sehr fein, nämlich im Bereich der Wellenlänge des verwendeten Lasers, also nur wenige Nanometer Silberhalogenid und Dichromatgelatine, **Objekt und der Film nicht bewegen.**

Eine Erschütterung von einem Bruchteil der Wellenlänge (1 Nanometer = 0,000001 Millimeter) reicht aus um das Hologramm unbrauchbar zu machen.

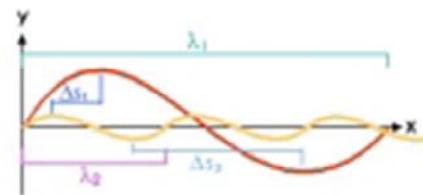
In der Fotografie gibt es verschiedene Entwickler die für die Holographie brauchbar sind. Allerdings nur bedingt. Für Transmissionshologramme funktionieren eigentlich alle feinkörnigen Entwickler wie Neutol, Neofin blau oder Dokumol die etwa 1:4 verdünnt werden. Reflexionshologramme werden damit aber nicht richtig hell. Für erste Versuche reicht es aber noch aus. Um auch helle Reflexionshologramme zu erhalten sind spezielle Entwickler nötig die es im Handel nicht gibt.

Das Objekt wird unschärfer und dunkler, je weiter es vom Film entfernt ist. Gegenstände verwenden, da diese die Strahlung des Lasers am besten reflektieren. Überraschungseier-Figuren aus Plastik sind beispielsweise schlecht bis gar nicht erkennbar, metallische Gegenstände dagegen relativ gut.

- ▶ Zwei kohärente Wellenzüge mit konstanter Phasenbeziehung ( $\Delta s$ )



- ▶ Zwei inkohärente Wellenzüge



▶ 8

Dieses lateinische Wort für „zusammenhängend“, bezeichnet die Eigenschaft einer Lichtquelle, deren Wellenzüge interferieren können. Dazu müssen diese gleiche Frequenzen und eine konstante Phasendifferenz haben. Abbildung zeigt zwei kohärente Wellenzüge mit konstanter Phasenbeziehung ( $\Delta s$ ), während in Abbildung rechts zwei inkohärente dargestellt sind.

# Physikalische Funktionsbeschreibung

## Lasertransmissionshologramms

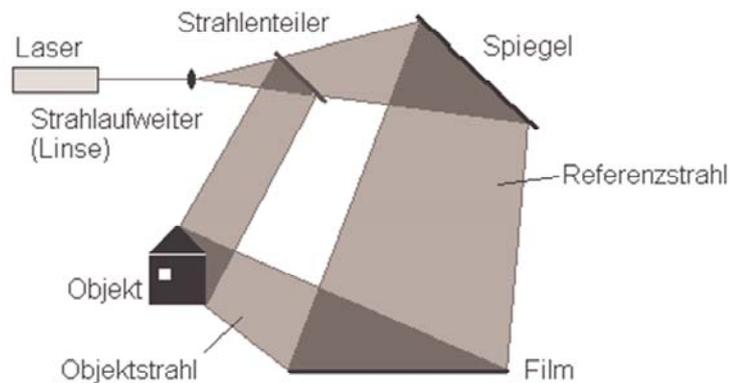


Abb. 2 :Aufnahme eines Transmissionshologramms

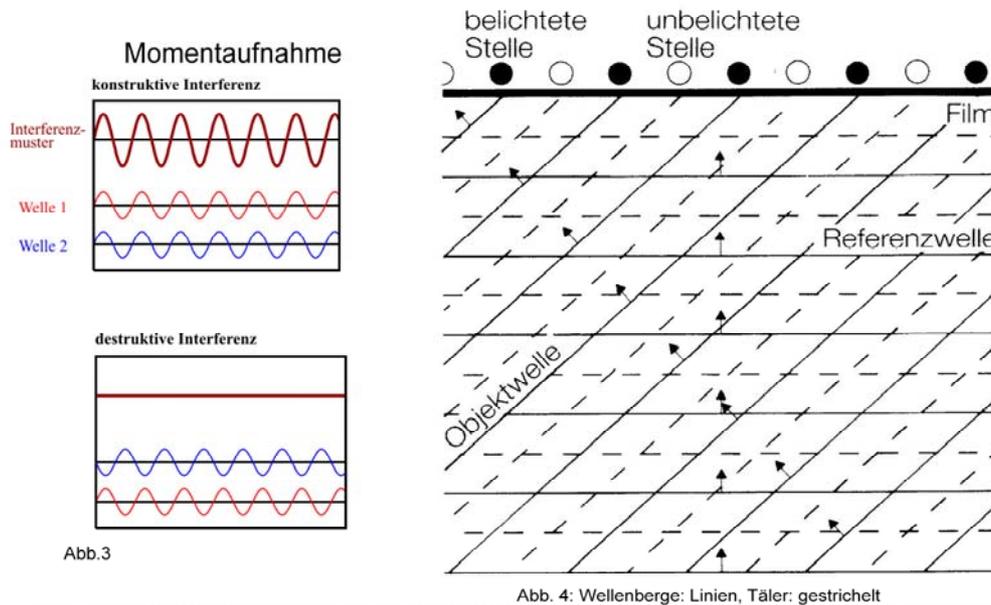
▶ 9

Bei der Aufnahme eines Hologramms treffen sowohl Referenz- als auch die Objektwelle auf das Filmmaterial. Die Objektwelle ist dabei der Strahl, der von dem aufzunehmenden Objekt reflektiert wird. Er beinhaltet also die Informationen, die in dem Hologramm gespeichert und später wiedergegeben werden sollen. Der Referenzstrahl hingegen trifft immer gleichmäßig aus demselben Winkel unverändert auf den Film. Er beinhaltet somit als einzige Information die Phase des Strahls des verwendeten Lasers.

Der Laserstrahl muss jedoch geteilt werden, um den Film richtig zu belichten. Hierzu kann eine Glasplatte als Strahlteiler verwendet werden; sie lässt einen Teil des Strahls auf das Objekt treffen und reflektiert den anderen Teil des Strahls direkt zum Film.

Bei der Aufnahme interferieren nun der Objekt- und der Referenzstrahl miteinander und bilden ein Interferenzmuster. Dieses Muster wird auf dem Film gespeichert. Es ist sehr fein, nämlich im Bereich der Wellenlänge des verwendeten Lasers, also nur wenige Nanometer. Deshalb muss für herkömmliche Holographie auch spezielles Filmmaterial verwendet werden, da selbst hochauflösende Dokumentenfilme wie z.B. der Technical Pan von Kodak nur eine Auflösung von 300 bis 400 Linienpaare pro Millimeter (Lp/mm) besitzen, holographisches Filmmaterial wie der Holotest-Film von Agfa hingegen kann bis zu 6.000 Lp/mm abbilden.

## Physikalische Funktionsbeschreibung

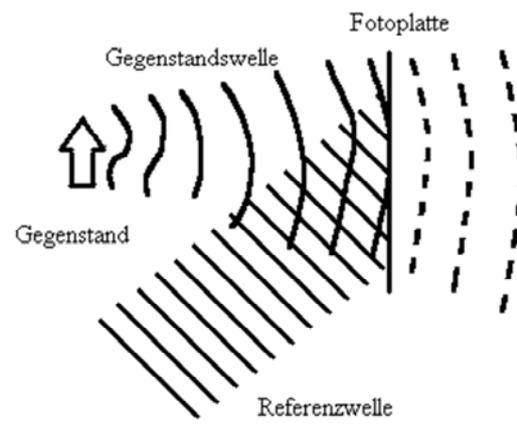


In der Abbildung ist eine Momentaufnahme dargestellt, wenn gerade ein Wellenberg der Referenzwelle auf den Film trifft. Die Wellen sind hier näherungsweise als Geraden dargestellt. Die Objektwelle trifft mit einem relativ großen Winkel auf den Film. Überall dort, wo auch ein Wellenberg der Objektwelle auf den Film trifft, wird der Film stark belichtet, da der Berg durch den Berg der Referenzwelle sogar noch verstärkt wird.

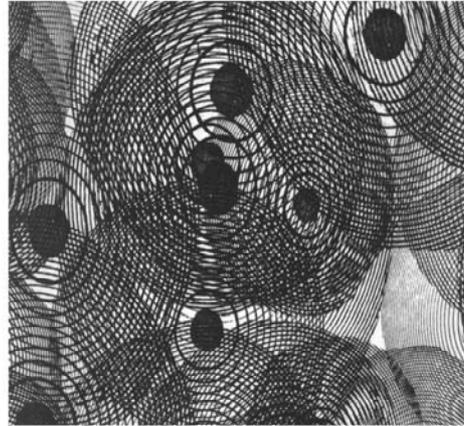
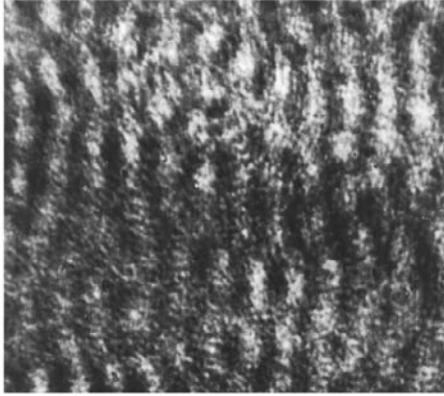
Trifft hingegen ein Wellental der Objektwelle auf den Film, bleibt er dort unbelichtet, weil ein Wellental der Objektwelle und ein Wellenberg der Referenzwelle Dunkelheit ergeben. Auf dem Film entsteht also eine Abfolge von hellen und dunklen Stellen. Wichtig für die Holographie ist nun der Abstand zwischen den unbelichteten, lichtdurchlässigen Stellen.

Auf dem Film führt die Interferenz von Objekt- und Referenzwelle zu einer Belichtung. An den Orten konstruktiver Interferenz entstehen nach dem Entwickeln Schwärzungen.

## Physikalische Funktionsbeschreibung



## Physikalische Funktionsbeschreibung

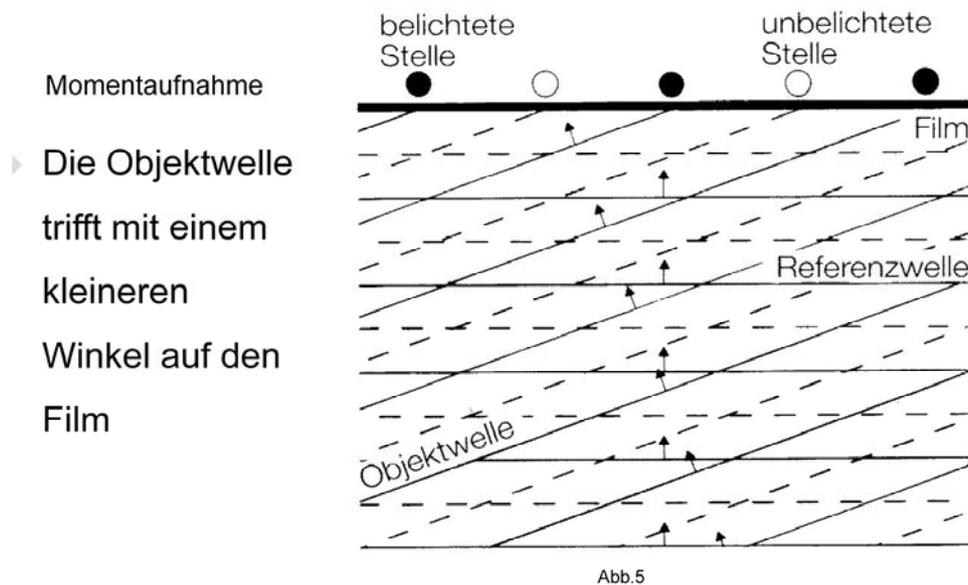


150fache Vergrößerung eines Hologrammfilms

Löschen sich die Wellen dabei gegenseitig aus, so spricht man von **destruktiver Interferenz**

Verstärken sich die Amplituden, so spricht man von **konstruktiver Interferenz**

## Physikalische Funktionsbeschreibung



In Abbildung 5 ist dieselbe Situation dargestellt wie in Abbildung 4, allerdings trifft die Objektwelle jetzt mit einem kleineren Winkel auf den Film.

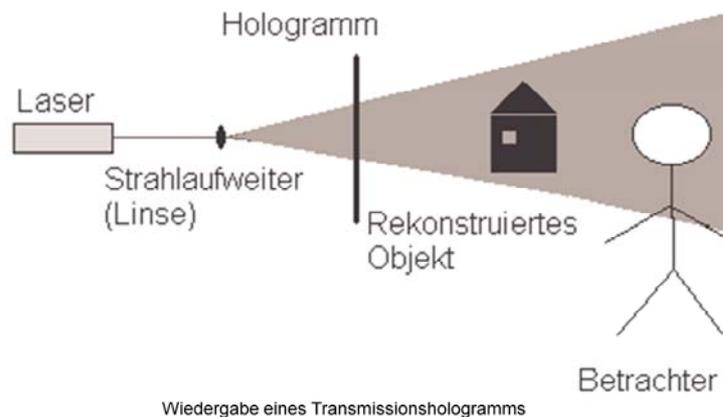
Wie man sieht, ist hier der Abstand zwischen den unbelichteten Stellen größer als bei einem Objektstrahl, der mit großem Winkel auftrifft.

Folgende These: Je kleiner der Winkel zwischen der Objektwelle und dem Film ist, desto größer ist der Abstand zwischen den lichtdurchlässigen Stellen. Es könnte noch eingewendet werden, dass bei der Aufnahme ja nicht immer ein Wellenberg der Referenzwelle auf den Film trifft, da Licht ja eine Schwingung ist. Eine halbe Wellenlänge später würde beispielsweise ein Wellental auf den Film treffen.

Man muss allerdings beachten, dass sich die Phase der Objektwelle ja auch ändert und zwar mit derselben Geschwindigkeit wie die der Referenzwelle. Trifft nun eine halbe Wellenlänge nach der dargestellten Situation ein Referenzwellental auf den Film, so ist an den Stellen, wo vorher ein Tal der Objektwelle war nun ein Berg. Ein Referenzwellental und ein Objektwellenberg ergeben allerdings genau wie vorher Dunkelheit und damit eine unbelichtete Stelle.

## Physikalische Funktionsbeschreibung

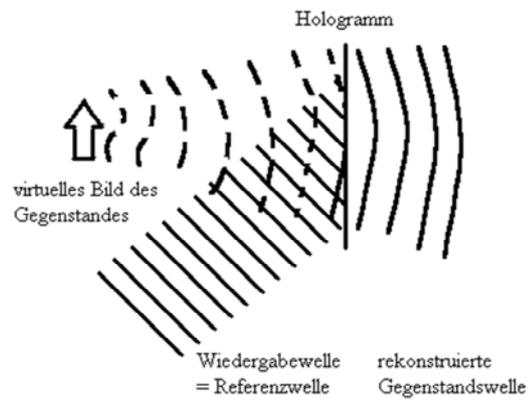
### Die Rekonstruktion: Wiedergabe eines Transmissionshologramms



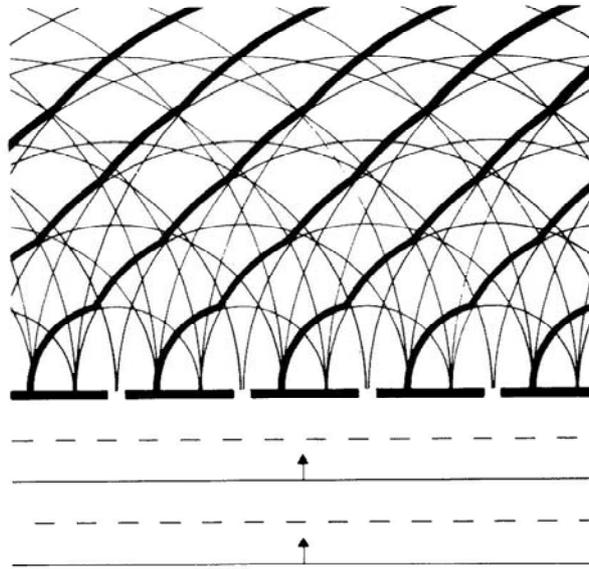
► 14

Um die Rekonstruktion, also den Vorgang beim Betrachten des Hologramms, zu erklären, kann man zunächst das Wasser als Modell hernehmen. Wenn Wasserwellen auf einen kleinen Spalt treffen, so kann man beobachten, dass sich das Wasser hinter diesem Spalt ringförmig in alle Richtungen ausbreitet. Genauso verhält es sich mit Lichtwellen. Diese werden an kleinen Spalten, die nicht viel größer als die Wellenlänge sein dürfen, ebenso gebeugt. Hat man mehrere solche Spalten nebeneinander, entstehen so genannte „Wellenfronten“, ein Zusammenschluss von Kreiswellen mit gleichem Radius. Diese verlaufen parallel zu den ankommenden Fronten und spielen für die Holographie keine große Rolle. Verbindet man allerdings die Fronten von benachbarten Kreiswellen, die jeweils einen Takt früher oder später entstanden sind, so ergeben sich schräg verlaufenden Wellenberge und -täler.

# Physikalische Funktionsbeschreibung



## Physikalische Funktionsbeschreibung



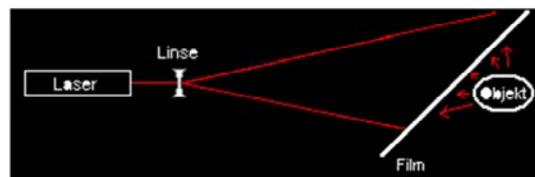
▶ 16

Je weiter die Öffnungen, an denen die Kreiswellen entstehen, voneinander entfernt sind, desto flacher sind die neuen Wellenfronten. Befinden sich die Öffnungen näher zusammen, sind die Fronten steiler. Die bei der Hologrammaufnahme entstandenen dunklen und hellen Stellen sind nichts anderes als kleine Spalte. Diese erzeugen also bei der Rekonstruktion des Hologramms ein Duplikat der ursprünglichen Gegenstandswelle. Die visuellen Informationen, also die Form des Objekts, die durch die Gegenstandswelle an das Hologramm übergeben wurden, werden nun durch ein genaues Duplikat vom Hologramm wiederhergestellt. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass zur Rekonstruktion des Hologramms monochromatisches Licht benötigt wird, welches bei der Belichtung verwendet wurde. Zusätzliche andere Wellenlängen würden das Hologramm unscharf und verschwommen darstellen.

## Physikalische Funktionsbeschreibung

### Weißlichtreflexionshologramme

- ▶ 1963 von dem russischen Wissenschaftler Yuri N. Denisyuk erfunden und wird deshalb auch manchmal als „Denisyuk-Hologramm“ genannt



Weißlichtreflexionshologramm

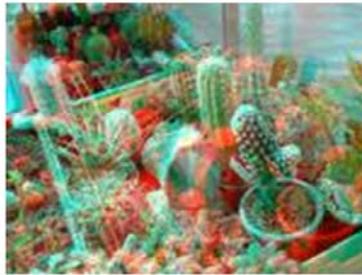
▶ 17

Weißlichtreflexionshologramme werden nach ihrem Erfinder auch Denisyuk-Hologramme genannt. Man kann sie mit normalem Tageslicht betrachten, zur Rekonstruktion wird also kein monochromatisches Licht benötigt. Zur Belichtung verwendet man Laserlicht, das durch den Film hindurch auf das Objekt gestrahlt wird und von diesem zurückgeworfen wird. Daraus ergeben sich stehende Wellen, durch die auf dem Film wieder Maxima und Minima bzw. helle und dunkle Stellen in einzelnen parallelen Schichten der photographischen Emulsion des Films entstehen. Diese Schichten speichern jeweils die Form der Objektwellenfront, allerdings werden zusätzlich noch die Informationen über die jeweilige Wellenlänge der Objektwelle gespeichert. Jede einzelne Schicht wirkt wie ein Hologramm, allerdings werden die Wirkungen aller Schichten nur durch eine einzige Wellenlänge, die durch den Schichtabstand festgelegt wird, verstärkt. Für alle anderen Wellenlängen werden die Wirkungen abgeschwächt. Um die richtige Wellenlänge zu erhalten, verwendet man einfach weißes Licht bei der Betrachtung. Nach der Bragg-Beziehung „sucht“ sich das Hologramm aus den vielen Wellenlängen die passende heraus; ähnlich wie beim Bestrahlen eines Kristalls mit Röntgenlicht wird nur eine bestimmte Wellenlänge reflektiert. Der Betrachter muss sich auf derselben Seite des Hologramms befinden wie die Lichtquelle. Diese sollte sich dort befinden, von wo aus der Film mit dem Laser belichtet wurde und möglichst punktförmig sein, um ein optimales Bild zu erhalten.

## Physikalische Funktionsbeschreibung

### Multiplexhologramme

- ▶ speichert die Zeit als vierte Dimension



▶ 18

Multiplexhologramme können neben den drei Raumrichtungen zusätzlich die Zeit als vierte Dimension speichern. Zur Herstellung dreht man beispielsweise einen Film von einem Objekt, wobei die Kamera um das Objekt gedreht wird. Im nächsten Schritt wird von jedem einzelnen Bild ein ungefähr zwei Millimeter großes Streifenhologramm aufgenommen. Diese Streifen werden zu einer Hologrammplatte zusammengefügt, welche nun aus sehr vielen zweidimensionalen Streifenhologrammen besteht. Das Gehirn setzt aus den durch die Kamerafahrt versetzten Bildern ein dreidimensionales Bild zusammen; bewegt man sich um das Hologramm, so werden unterschiedliche Streifen visualisiert, was zur Bewegung des Objekts führt. Die Herstellung dieses Typs ist sehr aufwändig und fälschungssicher, weshalb er beispielsweise auf EC- und Kreditkarten Verwendung findet.

## Holographischer Datenspeicher

---

- ▶ Technik zur Speicherung von Informationen in großer Dichte innerhalb von Kristallen
- ▶ Potential ist weitaus größer als bei etwa HD-DVD, da das gesamte Volumen und nicht nur Oberfläche genutzt wird  
→ 1 TB auf  $\text{cm}^3$

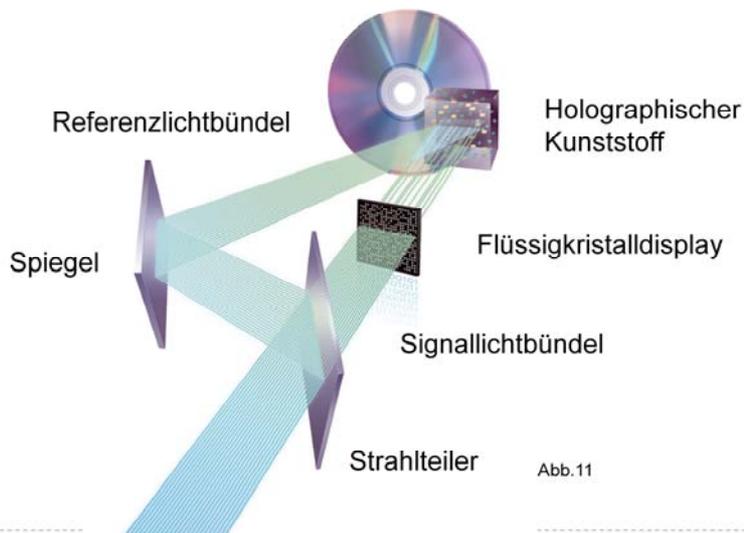
Ein kurze Erklärung was ein Holographischer Datenspeicher ist.

Die letzten Beiträge haben gezeigt wie begrenzt die Speicherkapazität eines Mediums sein kann.

Eine zukunftsorientierte Methode um mehr Daten zu speichern ist die Holographie. Forschern am Institut für Angewandte Physik in Münster ist es gelungen, ein holographisches Speichersystem zu entwickeln, bei dem ein Laser in ein optisches Speichermedium, einen Kristall, Datenmuster aufzeichnen kann. Hierbei können in einem Kristall von der Größe eines Zuckerwürfels Speicherkapazitäten im Bereich von einem Terabyte erzielt werden. Die Ausleserate beträgt mehrere Gigabyte pro Sekunde.

## Physikalische Funktionsbeschreibung

Wie kommen die Daten auf die Disk?



▶ 20

### Speichern in der dritten Dimension

Ein Laserstrahl wird an einem Strahlteiler in ein Referenz- und ein Signallichtbündel aufgespalten. Entsprechend den Nullen und Einsen der elektronischen Information filtert ein Flüssigkristalldisplay aus dem Signallichtbündel einzelne Strahlen heraus.

Das Interferenzmuster, das bei Überlagerung von Signal- und Referenzlichtbündel entsteht, lässt sich als Hologramm im Kunststoff speichern.

Um digitale Daten als Hologramm zu speichern, werden statt der Figur die „Nullen“ und „Einsen“ – die Bits – in einem Flüssigkristall als Muster aus lichtdurchlässigen und undurchlässigen Bildpunkten dargestellt – ähnlich einer Lochkarte. An diesem Lochmuster wird der Objektstrahl

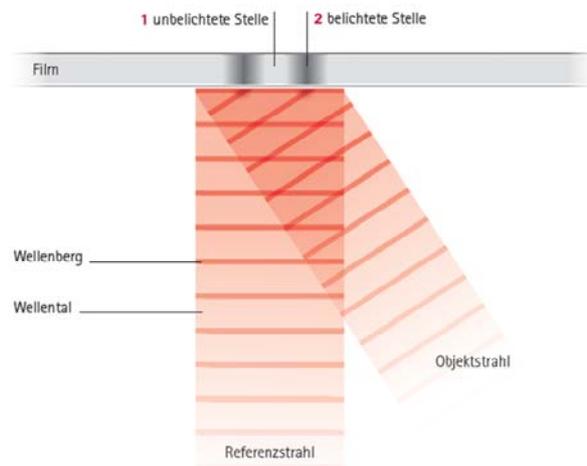
gebeugt, und in Überlagerung mit dem Referenzstrahl entsteht wieder ein Interferenzmuster. Im Gegensatz zu herkömmlichen Speichermethoden werden also die Bits nicht einzeln gespeichert, sondern das ganze Bitmuster aufgezeichnet. Um die Daten auszulesen, muss das Hologramm wieder von einem Laserstrahl derselben Wellenlänge (und im selben Winkel) angeleuchtet werden.

Ein Detektor, der ähnlich wie in einer Digitalkamera funktioniert, registriert das Lichtsignal und wandelt es in elektronische Signale um.

## Physikalische Funktionsbeschreibung

Wie kommen die Daten auf die Disk?

Digitale Daten als Hologramm



► 21

Um digitale Daten als Hologramm zu speichern, werden statt der Figur die „Nullen“ und „Einsen“ – die Bits – in einem Flüssigkristall als Muster aus lichtdurchlässigen und undurchlässigen Bildpunkten dargestellt – ähnlich einer Lochkarte. An diesem Lochmuster wird der Objektstrahl

gebeugt, und in Überlagerung mit dem Referenzstrahl entsteht wieder ein Interferenzmuster. Im Gegensatz zu herkömmlichen Speichermethoden werden also die Bits nicht einzeln gespeichert, sondern das ganze Bitmuster aufgezeichnet. Um die Daten auszulesen, muss das Hologramm wieder von einem Laserstrahl derselben Wellenlänge (und im selben Winkel) angeleuchtet werden.

Ein Detektor, der ähnlich wie in einer Digitalkamera funktioniert, registriert das Lichtsignal und wandelt es in elektronische Signale um.

### **1 Ein Wellental des Objektstrahls und ein Wellenberg des Referenzstrahls löschen sich gegenseitig**

aus. Der Film wird an dieser Stelle nicht belichtet.

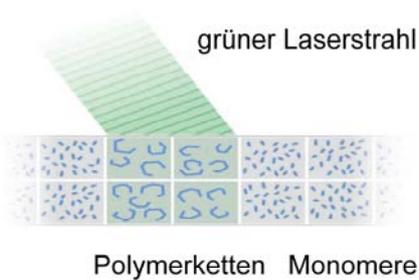
### **2 Ein Wellenberg des Objektstrahls und ein Wellenberg des Referenzstrahls verstärken sich**

gegenseitig. An dieser Stelle wird der Film belichtet.

## Physikalische Funktionsbeschreibung

### Photopolymere auf Acrylat-Basis

#### Schreiben



#### Lesen

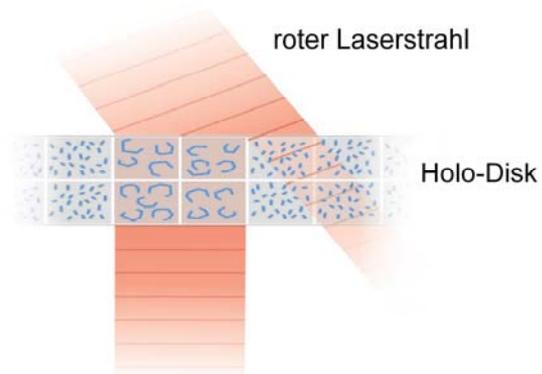


Abb.13

### Photopolymere auf Acrylat-Basis

Viel versprechend ist ein Medium aus Glas mit winzigen Löchern, die mit Acryl gefüllt sind. Glas ist sehr volumenstabil. Die meistens verwendeten Polymermaterialien schrumpfen dagegen bei der Bearbeitung und verfälschen das Hologramm. Das acrylgefüllte Glas schrumpft weniger als ein Prozent und ist damit deutlich stabiler als Polymer. Zudem erlaubt Glas eine dickere Speicherschicht als Polymer, wodurch automatisch ein größeres Speichervolumen zur Verfügung steht.

Unter Laserlicht reagieren die Monomere zu Polymer-Ketten, die sich im Strukturgerüst eines weiteren Polymers ablagern. Die Polymere verändern die optischen Eigenschaften des Materials, sodass ein Lese-Laser in den Bereichen mit Polymer-Knäueln abgelenkt wird.

→Daten halten für etwa 50 Jahre

## Die Tesa-ROM

- ▶ T-ROM Schreibvorgang-Skizze:

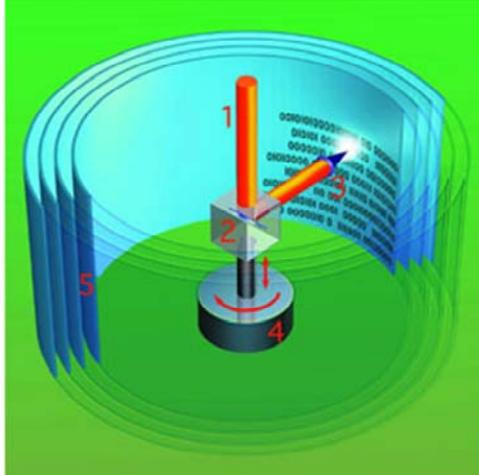


Abb.15

▶ 23

Die Tesa-ROM, oder auch T-ROM genannt, ist ein Beispiel für ein holographisches Speichermedium. Die T-ROM wurde von zwei deutschen Physikern entwickelt, die aus Jux an einem Freitag, dem 13. (1998) eine handelsübliche Tesa Rolle mit einem Laserstrahl belichteten.

Ein Laser brennt die Informationen bei einer Temperatur von ungefähr 170 Grad Celsius als Punkte, die nur wenige Mikrometer groß sind. Und dafür muss die Rolle nicht einmal abgewickelt werden, denn der Laser kann jede Schicht einzeln ansteuern. Die einzelnen Belichtungspunkte sind ebenfalls nur 1/1000 Millimeter voneinander entfernt, was eine hohe Speicherkapazität erlaubt. Rein theoretisch kann eine Tesa Rolle bis zu zehn Gigabyte speichern, jedoch wird man vermutlich nur ein 5-20 schichtiges Medium auf den Markt bringen, das 2 bis 3 Gigabyte speichern und nur einmal beschrieben werden kann.

## Stand der Forschung - *Die Tesa-ROM*

- ▶ T-ROM Schreibvorgang im Labor:

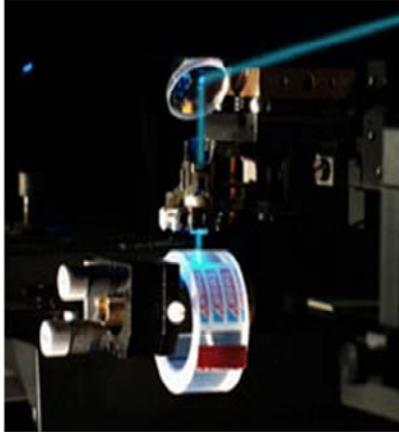


Abb.16

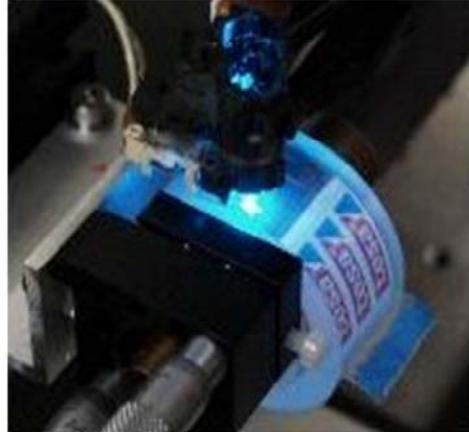


Abb. 17

▶ 24

Zum Auslesen der Daten wird ein Laser mit geringerer Temperatur verwendet, da dieser sonst die Daten vernichten könnte. Das Medium wird wahrscheinlich als billiger Massenspeicher für große Datenmengen in Frage kommen. Allerdings kommt hier nur der "original" Tesa zum Einsatz, da andere nicht genug Reinheit besitzen. Die Anschaffungskosten für ein "T-ROM-Laufwerk" sollen laut Noehte nicht viel teurer sein, als herkömmliche CD-Laufwerke, daher kann es durchaus etwas werden mit dem Computerspiel auf einer Tesa Rolle.

## Stand der Forschung - *tesa Holospot*<sup>®</sup>

### ▶ Sicherheitsetikett

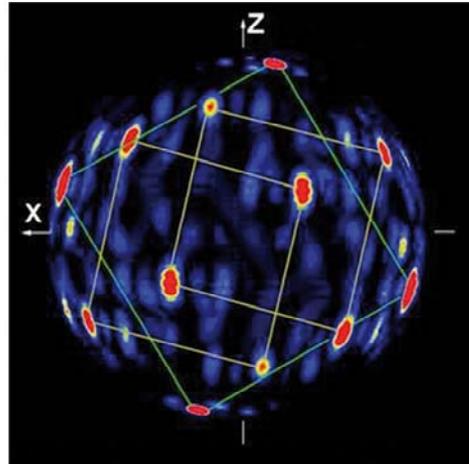


Abb.18

Dieses Produkt wird als "Sicherheitsetikett" benutzt werden, denn auf nur einem 1 Quadratmillimeter großen Tesa-Streifen ließen sich 1000 mal mehr Informationen speichern, wie auf einem Barcode. Dazu werden winzig kleine Hologramme in den Streifen gebrannt, die individuelle Informationen enthalten können und dadurch nur schwer zu kopieren sind. Solche Hologramme könnte man gut bei Scheckkarten oder Ausweisen verwenden, indem man kodierte Informationen schreibt, die die Scheckkarte/Ausweis dadurch fälschungssicher macht, behaupten die Wissenschaftler.

## Stand der Forschung Hologramme durch Neutronen

Aus dem Hologramm rekonstruiertes Bild von zwölf Blei-Atomen, die auf einer Kugeloberfläche um ein Cadmium-Atom angeordnet sind.



► 26

Im Jahr 2002 gelang es Gerhard Krexner von der Fakultät für Physik zusammen mit einigen Kollegen, einzelne Atome mit Hilfe von Neutronen holographisch abzubilden. Methode demonstrieren sollte, wurde als einfaches Objekt ein Einkristall aus Blei gewählt. Als "Detektor" dienten die Kerne von Cadmium-Atomen.

## Stand der Forschung - *Optware Corporation*

- ▶ 2006 die Einführung einer „Holographic Versatile Card“ (HVC), die eine Kapazität von 30 Gigabyte aufweisen und dabei weniger als ein US-Dollar kosten soll
- ▶ Lesegeräten 1850 US\$
- ▶ Schreibgerät 9200 US\$



Abb.19

### Optware Corporation

2006 die Einführung einer „Holographic Versatile Card“ (HVC), die eine Kapazität von 30 Gigabyte aufweisen und dabei weniger als ein US-Dollar kosten soll.

Optware gibt zudem an, dass der Preis von Lesegeräten für holographische Karten etwa 1850 US-Dollar kostet.

Geräte, welche die holographischen Karten beschreiben können, sollen etwa 9200 US-Dollar kosten.

Die holographische Speicherkarte weist in etwa die Größe einer Kreditkarte auf.

## Stand der Forschung

---

### InPhase Technologies

- ▶ Hardwarehersteller mit Spezialisierung auf holographische Scanner und Medien
- ▶ Veröffentlichungstermin ist Ende 2008
- ▶ Laufwerk 18.000 US\$
- ▶ Speichermedium 180 US\$
- ▶ Speicherkapazität von 300GB und einer Transferrate von 20MB/s.



Abb.20: Tapestry

## Stand der Forschung

---

- ▶ Größenverhältnisse: Das von InPhase Tapestry getaufte Medium speichert 20 GByte in Kreditkartengröße und 100 GByte im CD-Format.



## Stand der Forschung IBM

Produktart	Kapazität	Zugriffszeit	Anwendung
Holo-DRAM	25 GByte	10 $\mu$ s	nichtflüchtiger Cache
Holo-Platte	1 TByte	10 ms	hohe Zuverlässigkeit
Holo-DVD	1 TByte	10 ms	niedrige Kosten
Holo-Speicherarchiv	1 PByte	10 s	hohe Volumendichte

Bisher sind holographische Datenmedien in der Regel nur einmal beschreibbar. Sie finden also zunächst ähnliche Einsatzgebiete wie CD- oder DVD-ROMs. Wegen der hohen Speichermengen lassen sich beispielsweise HDTV-Filme in voller Länge auf holographischen Medien ablegen.

## Stand der Forschung

---

- ▶ Einsatzgebiete fast unbeschränkt, auch für Holografie
  - ▶ allgemein, höhere Speicherkapazitäten
  - ▶ erlauben neue Anwendungen
- (<http://de.youtube.com/watch?v=deoOTqT-SMI>)
- ▶ Konkurrenz kaum in Sicht, neue Techniken eher für  
Spartenprodukte (Beispiel Datenspeicherung in TESA-Film)

## Anwendungsgebiete

---

- ▶ Archivierung (Bibliotheken)
- ▶ Multimediaformate, z.B. 3D-Filme
- ▶ Satellitendaten / Geografische Informationssysteme
- ▶ Grafik / Videodatenbanken,  
digitales Kino
- ▶ Sicherheitstechniken z.B. Biometrische Datenerfassung



## Vorteile

---

- ▶ Speicherung großer Datenmengen auf kleinstem Platz
- ▶ rasanter Zugriff auf Daten
- ▶ Fälschungssicherheit
- ▶ Aus einem Bruchstück kann das ganze Bild rekonstruiert werden

## Nachteile

---

- ▶ Systembestandteile noch sehr teuer
- ▶ (da hohe Präzision erforderlich)
- ▶ Bildfläche so groß wie Original

## Fazit

---

- ▶ Holografische Speicherung bringt neue Speicherplatzdimensionen
- ▶ Technologie wird in kommenden Jahren marktreif
- ▶ neue Anwendungen werden möglich
- ▶ vorerst sicherlich Archivierungsnutzung
- ▶ Frage nach Formaten und Ausprägungen offen

## Quellenangabe

---

<http://de.wikipedia.org/wiki/Holografie>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Laser>

<http://aes.cs.tu-berlin.de/voelz/PDF/Holoneu.pdf>

<http://www.bastelkeller.ch/holo/pages/herstellung/der-aufbau.php>

<http://www.topac-holographie.de/6132.0.html?&L=1>

[http://www.vossyline.de/artikel/multimedia/tesa\\_rom.htm](http://www.vossyline.de/artikel/multimedia/tesa_rom.htm)

<http://www.golem.de/0311/28494.html>

### **Bücher**

Heiß, Peter: Holographie-Fibel, Hogramme verstehen und selber machen  
Hückelhoven 1986

Heiß, Peter: Die neue Holographie-Fibel; Hückelhoven 1986, 1995

Meyers Lexikonred. (Hrsg): Schülerduden Physik; Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich,  
1995

# Quellenangabe

---

## Bilderverzeichnis

Abb. 1:	<a href="#">Dennis Gabor</a>
Abb. 2:	<a href="#">Aufnahme eines Transmissionshologramms</a>
Abb. 3:	<a href="#">Peter Heiß: Holographie-Fibel – 3. Auflage, Seite 17-34</a>
Abb. 4:	<a href="#">Peter Heiß: Holographie-Fibel – 3. Auflage, Seite 17-34</a>
Abb. 5:	<a href="#">Peter Heiß: Holographie-Fibel – 3. Auflage, Seite 17-34</a>
Abb. 6:	<a href="#">Wiedergabe eines Transmissionshologramms</a>
Abb. 7:	<a href="#">Weisslichtreflexionshologramm</a>
Abb. 8:	<a href="#">Multiplexhologramm</a>
Abb. 9:	<a href="#">Optik</a>
Abb. 10:	<a href="#">Optik2</a>
Abb. 11:	<a href="#">Forschung aktuell</a>
Abb. 12:	<a href="#">Forschung aktuell 2</a>
Abb. 13:	<a href="#">Forschung aktuell 3</a>
Abb. 14:	<a href="#">Forschung aktuell 4</a>
Abb. 15,16,17:	<a href="#">Die Tesa Rom</a>
Abb. 18:	<a href="#">tesa scribos</a>
Abb. 19:	<a href="#">OptwareCorporation</a>
Abb.20:	<a href="#">Tapestry</a>

Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!

