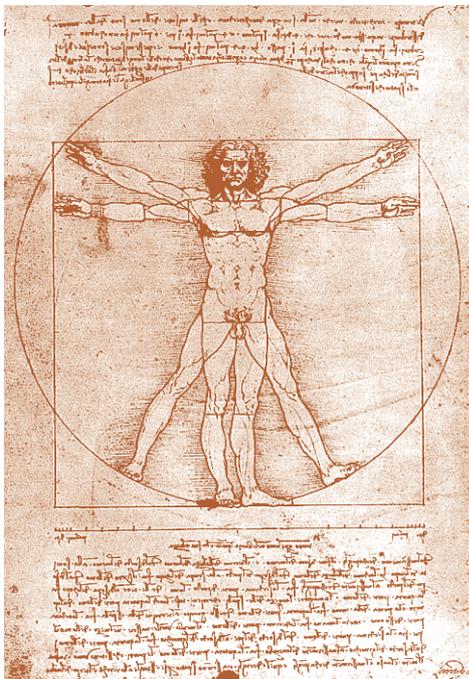


# HOLOGRAFIE LEHRGANG



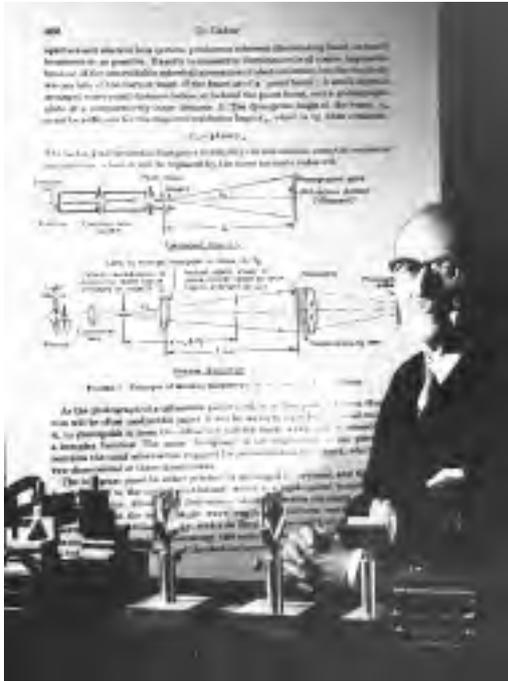
Von Wasser getroffenes Wasser zieht Kreise um die Stelle des Aufpralls; über weite Entfernung tut dasselbe die Stimme in der Luft.; über weitere das Feuer; über noch weitere der Geist im Universum; doch weil dieser endlich ist, verbreitet er sich nicht in die Unendlichkeit.

Leonardo da Vinci - MS. H 67r

Ein Bild sagt mehr als tausend Worte, ein Hologramm mehr als tausend Bilder.

Irmfried Wöber

# GESCHICHTE



Die Holografie ist die einzige Technik dreidimensionale Objekte auch dreidimensional ohne Hilfsmittel wiederzugeben. Zur Sichtbarmachung des Hologramms benötigt man nur Licht - Halogen- oder Sonnenlicht sind am besten geeignet. Verschiedene Aufnahme-techniken und Verfahren gewährleisten eine breite Anwendung dieses Mediums. Da das menschliche Gehirn auf die Dritte Dimension programmiert ist, werden ungeahnte Möglichkeiten zur Realität. Die Holografie ist immer noch in einem Entwicklungsstadium und eine Endfase ist nicht absehbar. Anwendungen in der Kunst, Werbung, Materialprüfung, Medizin und Forschung erfordern sachkundige Mitarbeiter.

Bevor noch Dennis Gabor das Prinzip der Holografie entdeckte, waren es Ernst Abbe und sein Schüler Wolfke, die erkannten, dass an der Struktur eines Objektivs Lichtbeugungserscheinungen auftreten, wenn sie im Brennpunkt eines Mikroskopobjektivs sind. Dennis Gabor - ein englischer Physiker ungarischer Abstammung konnte aber als erster die Interferenzerscheinungen eines Diapositives auf einer fotografischen Platte aufzeichnen. Zu dieser Zeit gab es noch keinen Laser und Gabor hatte diesen Versuch mit einer Kohlenbogenlampe und einigen Lochblenden um eine kohärente Lichtquelle zu simulieren, aufgenommen. Das war 1948. Gabor war es auch, der den Namen Holografie wählte. Das Wort Holografie kommt aus dem Griechischen und heisst: **HOLOS**= ganzheitlich, **GRAPHEIN**= schreiben, aufzeichnen. Für diese Entdeckung und weitere Forschungen auf diesem Gebiet erhielt Dennis Gabor 1971 den Nobelpreis für Physik. Salvador Dali arbeitete einige Zeit mit Gabor zusammen und wollte die Holografie in der Kunst anwenden und etablieren. Einige Arbeiten sind in dieser Zusammenarbeit entstanden. Y.N. Denisyuk - russischer Physiker - war es, der Gabor's "Inline Technik" weiter entwickelte und das erste Weisslichtreflexionshologramm aufzeichnete. Denisyuk ist einer der führenden Forscher in der Echtfarbholografie. Das grösste Problem Hologramme aufzeichnen zu können, war die Lichtquelle. Ein Hologramm kann man nur mit einer kohärenten Lichtquelle aufzeichnen. Kohärentes Licht erzeugt der Laser = **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation= Lichtverstärkung durch stimulierte Strahlungsemission. Der Laser war eine Weiterentwicklung des M.A.S.E.R. und wurde 1960 durch T.H. Maiman - amerikanischer Physiker, gebaut. Dieser erste Laser war ein Festkörperlaser = Rubinlaser. Emmett Leith und Juris Upatniek begannen mit diesem Lasertyp Hologramme aufzuzeichnen. Diese Hologramme hatten bereits eine beachtliche Qualität und erregten grosses Aufsehen bei vielen Forschern und Künstlern. Von da an erlebte die Holografie Ihren ersten grossen Aufschwung, Physiker, Künstler und viele Enthusiasten arbeiteten mit "Volldampf" an der Technik weiter. T.A. Shankov (Dichromat Gelatine) - Stephen Benton (Regenbogenhologramm) - Nick Philips und Steve Mc Grew (Prägehologramm) - Lloyd Cross (holografisches Stereogramm). Wir sind heute schon auf einem sehr hohen Stand in den technischen Möglichkeiten und erwarten aber durch weitere Forschungen eine breite Anwendung in Fälschungssicherheit, Speicherungen, Medizin, Werbung uva. bahnbrechende Impulse.

# EINLEITUNG

$$I_P = |u_P + u_{P'}|^2 = \eta A_C^2 \kappa^2 A_R^2 A_S^2 + \rho A_S^2 + \sqrt{\eta} \sqrt{\rho \kappa} A_R^2 A_S^2 [\exp i(\Phi_S - \Phi_{S'}) + \exp -i(\Phi_S - \Phi_{S'})] = (\eta \kappa^2 A_C^2 A_R^2 + \rho) A_S^2 + \sqrt{\eta} \sqrt{\rho \kappa} A_R^2 A_S^2 2 \cos(\Phi_S - \Phi_{S'}).$$

Formel zur Berechnung der Raumfrequenz

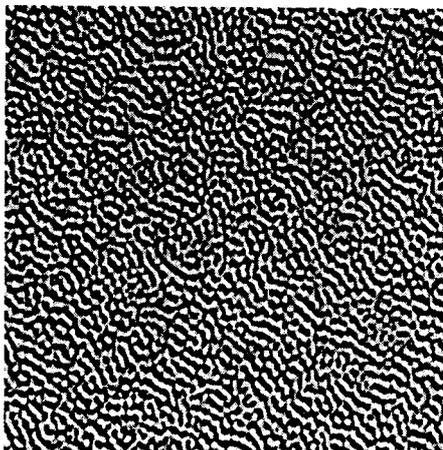
## Das Licht

Licht ist Leben und Farbe. Wir sind umgeben von Licht - Sonnenlicht, Kerzenlicht, Glühlampen, Scheinwerfer uva. Das Licht das unsere Augen wahrnehmen können hat eine Wellenlänge von ca. 380nm - 780nm **nm = Nanometer**. In diesem Wellenlängenbereich befinden sich alle Farben von violett bis rot. Dieses Licht ist inkohärent und für holografische Aufnahmen ungeeignet. Wir benötigen für unsere Aufnahmen unbedingt eine kohärente (=einwellige) Lichtquelle. Nur der Laser bringt diese Voraussetzungen. Laserlicht ist monochromatisch - einfarbig und schwingt daher nur in einer genau definierten Wellenlänge und ist somit interferenzfähig.

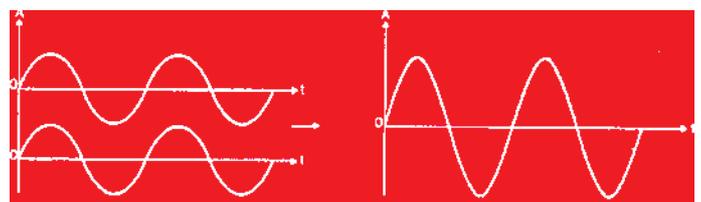
## Interferenz

Wenn zwei Wellen der selben Wellenlänge auf einem Punkt zusammentreffen so interferieren sie, das heißt, dass sich die Wellen in Fase verstärken, in Gegenfase löschen sie sich aus. Diese Faser ergeben eine ganz feine Interferenzstruktur.

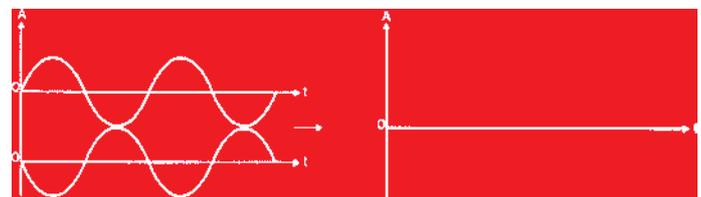
Das Hologramm ist die Aufzeichnung eines Interferenzmusters. Würden wir inkohärente Lichtquellen zur holografischen Aufnahme verwenden, wäre nach dem Entwickeln der Fotoplatte nur eine totale Schwärzung und kein Bild.



Interferenzstruktur  
Fotomikrografische Vergrößerung  
eines Hologramms - 30x

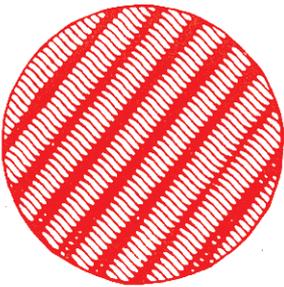


Zwei Schwingungen In Fase verstärken sich zum doppelten Ausschlag.



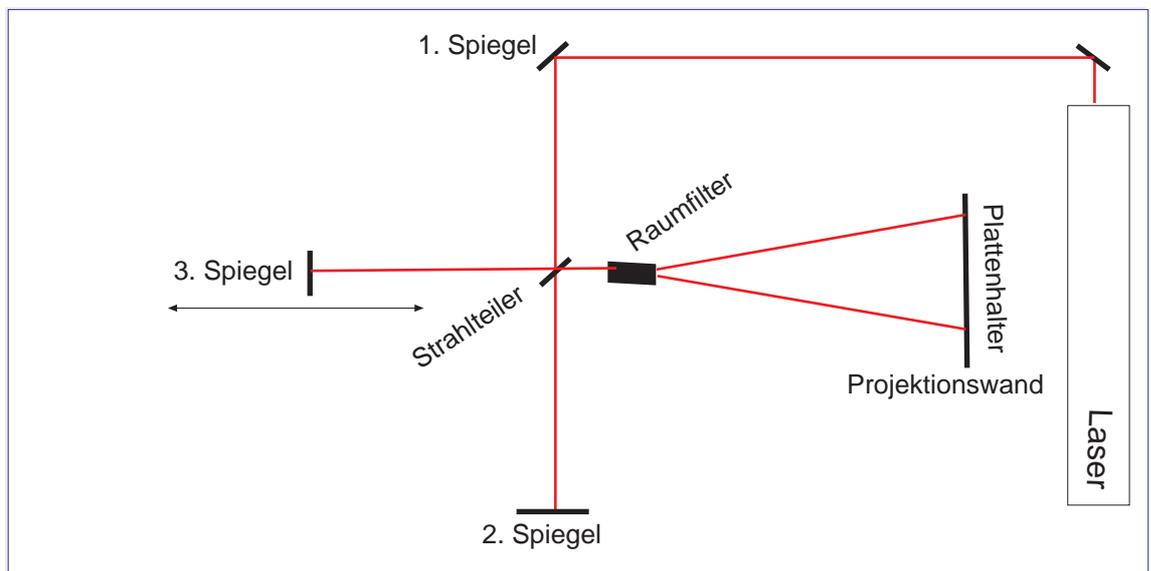
In Gegenfase löschen sie sich aus.

# INTERFEROMETER

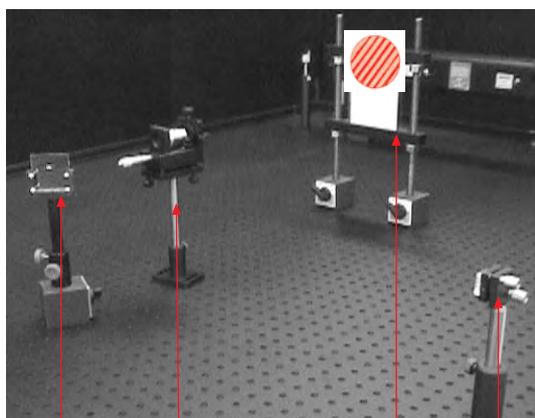


Albert Abraham Michelson 1852 - 1931 löste mit E.W. Morley die Geschwindigkeit des Lichts mit hoher Genauigkeit in Spektrallinien auf. Nobelpreis für Physik 1907.

Dieses Experiment gibt Aufschluss über die Stabilität des Tisches, Aufbau der Komponenten und der Umgebungsschwingungen. Optische Sichtbarmachung der Wellenlänge und Festlegung der Kohärenzlänge des verwendeten Lasers. Bei einer Bewegung der Interferenzlinien über eine halbe Wellenlänge, ist keine Interferenz möglich und eine holografische Aufnahme kann nicht stattfinden. Beobachten Sie über einen längeren Zeitraum diese Interferenzlinien.



Teilansicht des Aufbaues



Strahlteiler  
Raumfilteraufbau  
Plattenhalter  
2.Spiegel

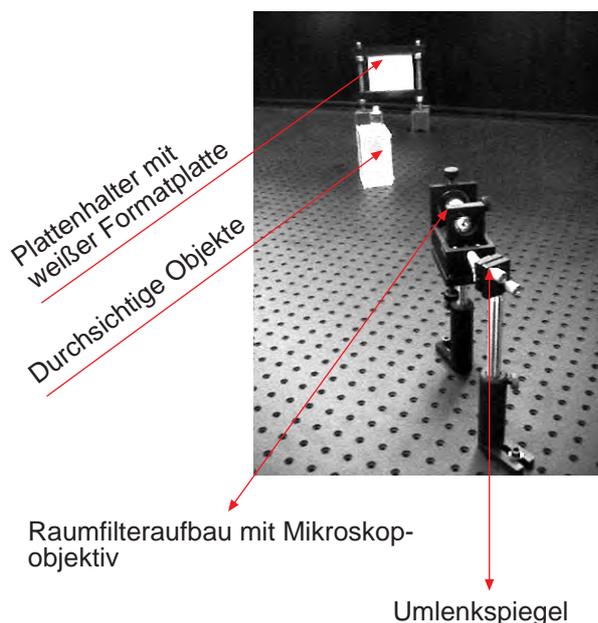
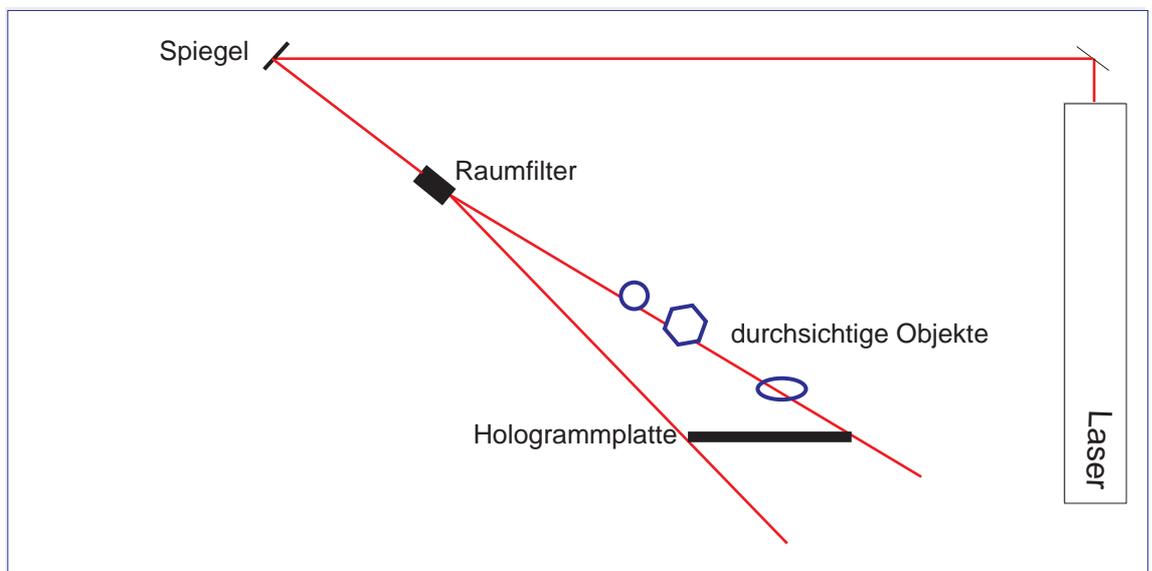
Setzen Sie den 1. und 2. Spiegel. Der Laserstrahl muss vom 2.Spiegel zum 1.Spiegel deckungsgleich zurückgeführt werden. Nun wird der Strahlteiler genau in der Mitte vom 1. und 2. Spiegel gestellt und im rechten Winkel umgelenkt. Montieren Sie den 3. Spiegel ebenfalls mit der gleichen Weglänge wie den 1. Spiegel zum Strahlteiler. Geben Sie den Plattenhalter auf den Tisch und die weiße Platte 10cm x 12cm in den Plattenhalter. Es sind jetzt wahrscheinlich zwei Laserpunkte zu sehen. Korrigieren Sie mit dem 3. Spiegel den Laserstrahl, so dass nur noch ein Laserpunkt zu sehen ist. Setzen Sie den Raumfilter mit einer Mikroskopoptik wie oben eingezeichnet ein. Es müssen jetzt die Interferenzlinien auf der weißen Platte zu sehen sein. Bewegen Sie den 3. Spiegel nach rechts bis Sie keine Interferenzlinien mehr sehen. Markieren Sie diesen Standort und bewegen Sie anschließend den Spiegel nach links. Das Interferenzmuster wird wieder sichtbar. Bewegen Sie den Spiegel weiter nach links und zwar so lange bis auch hier wieder das Interferenzmuster verschwindet. Diese Distanz - von der rechts markierten Stelle bis zur linken ist die **Kohärenzlänge des Lasers**.

# GABOR INLINE HOLOGRAMM



Dennis Gabor  
5.6. 1900 - 8.2.1979

Bevor noch Dennis Gabor das Prinzip der Holografie entdeckte, waren es Ernst Abbe und sein Schüler Wolfke, die erkannten, dass an der Struktur eines Objektes Lichtbeugungserscheinungen auftreten, wenn sie im Brennpunkt eines Mikroskopobjektives sind. Dennis Gabor konnte als erster die Interferenzstruktur eines Diapositives auf einer fotografischen Platte aufzeichnen. Erste Veröffentlichung 1948. Nobelpreis für Physik 1971.



Richten Sie den unaufgeweiteten Laserstrahl direkt auf den Plattenhalter, wobei die weiße Formatplatte eingespannt ist. Setzen Sie den Raumfilter mit einer Mikroskopoptik in den Laserstrahl. Die weiße Formatplatte muss voll ausgeleuchtet sein und dazwischen werden durchsichtige Gegenstände gestellt, wobei diese keinen Schatten auf die Formatplatte werfen dürfen. Entfernen Sie nun die Formatplatte und schließen Sie den Laserverschluss. Licht aus und Grünlicht an. Die Hologrammplatte wird in den Plattenhalter gegeben, Schichtseite zum Laser! Laserverschluss betätigen und ca. 4 Sekunden belichten - 25 mW HeNe Laser. Mit dem HT.D 15 Entwickler entwickeln, log 2,5 eine Minute Zwischenwässerung und bleichen in EDTA. Anschließend zwei Minuten Schlusswässerung und trocknen. ) - abrakeln und mit dem Fön fertig trocknen. Dieses Transmissionshologramm ist nur im Laserlicht sichtbar=**Lasertransmissionshologramm**

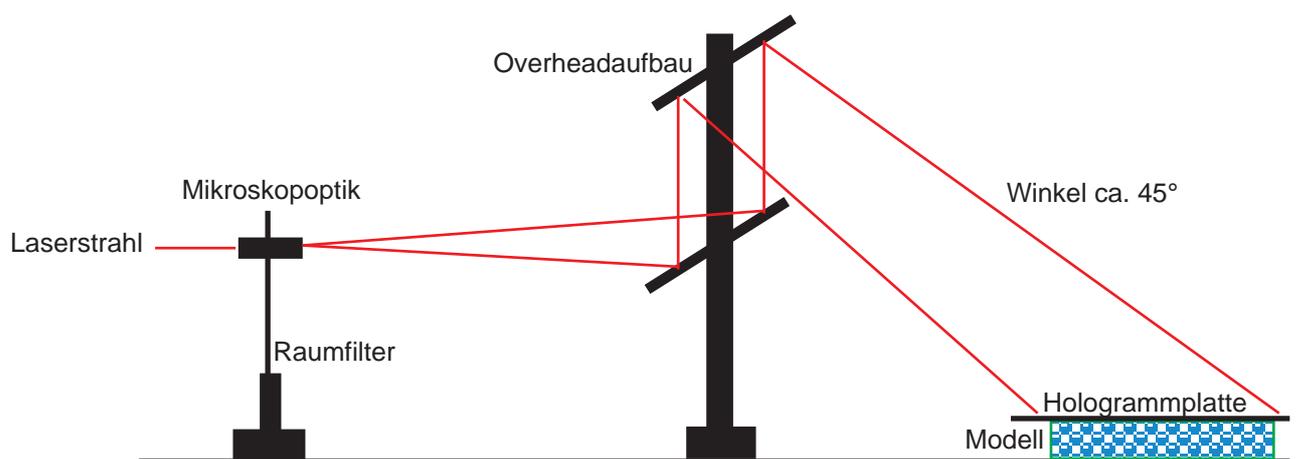
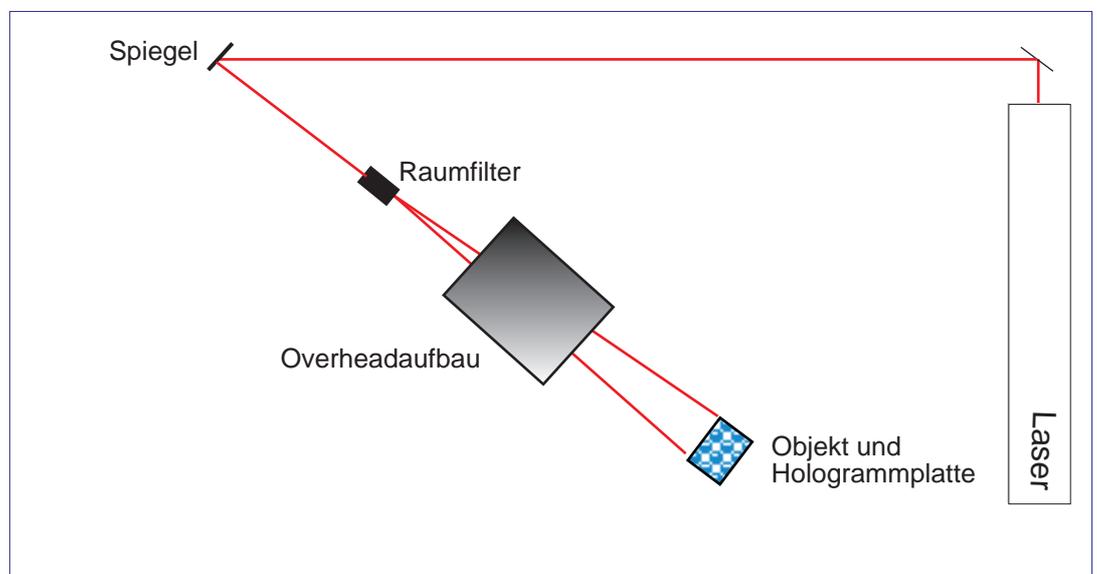
# DENISYUK HOLOGRAMM

Yuri N. Denisyuk  
27.07.1927 - 14.05.2006



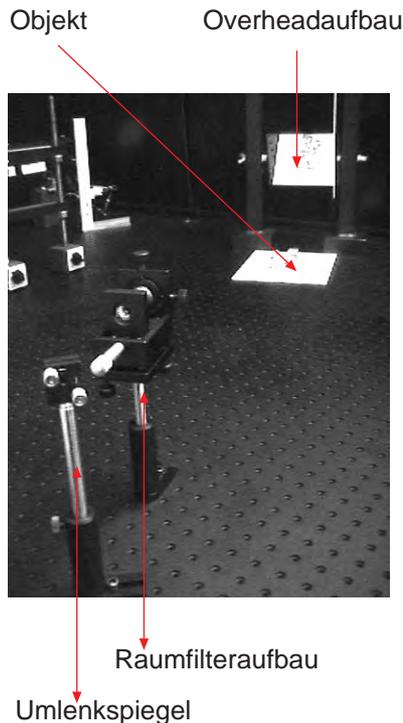
Foto von einem holografischen  
Porträt - Sammlung Wöber

Das Denisyuk-Hologramm ist das erste hergestellte **Weißlichtreflexionshologramm**. Es ist sehr einfach im Aufbau und relativ rasch herstellbar. Der Wirkungsgrad ist aber geringer als ein über ein Master aufgenommenes Hologramm. Das Objekt steht immer hinter der Bildebene und ist ein Original. Vorteil: sehr großer Betrachtungswinkel. Das Modell muss gut reflektieren (matter Silberlack) und stabil sein.



Seitenansicht

# DENISYUK HOLOGRAMM AUFBAU

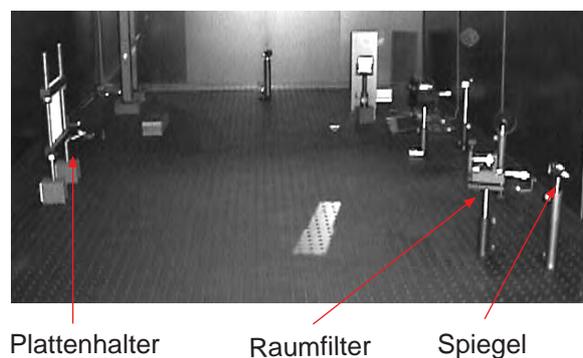
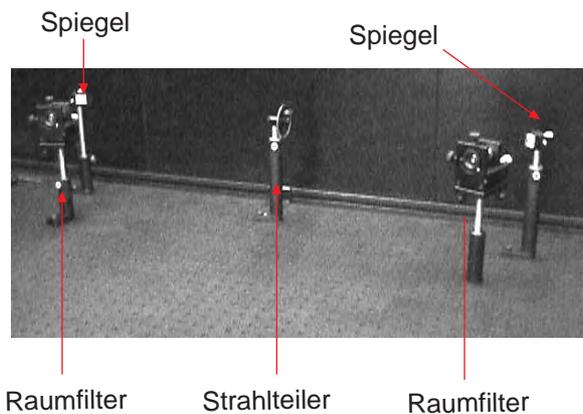
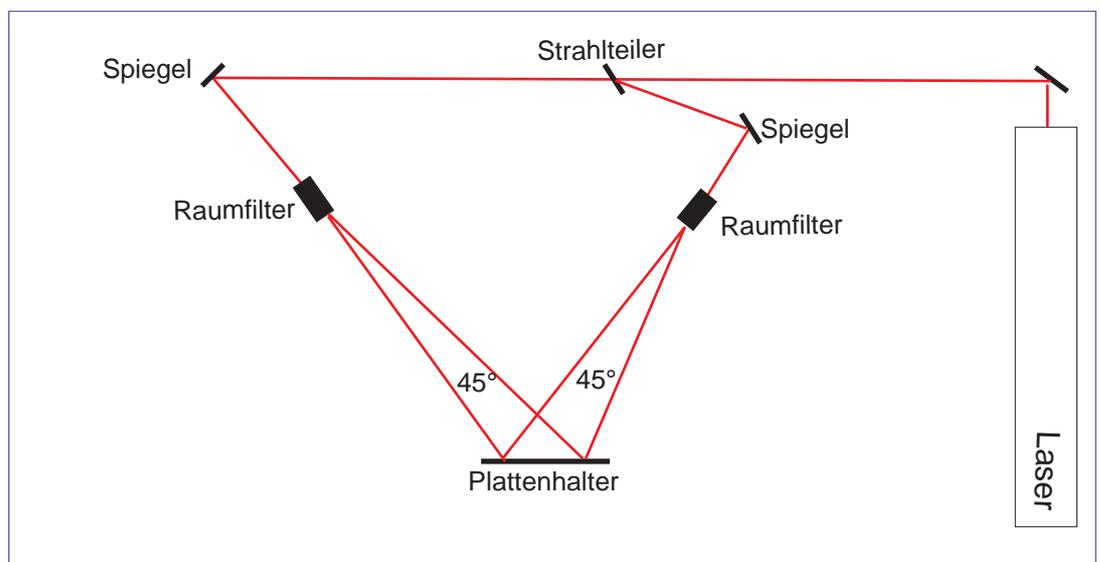


Richten Sie den unaufgeweiteten Laserstrahl auf den Overheadspiegel und lenken Sie ihn so um, dass er mit ca.  $45^\circ$  auf den Tisch auftrifft. Stellen Sie den Raumfilter in den Laserstrahl und weiten Sie diesen auf. Legen Sie das Objekt auf den Tisch (natürlich in das Laserlicht) und geben Sie links und rechts vom Modell Distanzklötze, damit die Hologrammplatte die Sie auf das Modell legen nicht direkt am Modell zu liegen kommt. Die Schichtseite der Hologrammplatte ist zum Objekt gerichtet. Achtung - Zerkratzengefahr der Schichtseite. Setzen Sie das Lochfilter in den Raumfilteraufbau ein und justieren Sie den Laserstrahl. Licht ausschalten und den Laserstrahl unterbrechen. Legen Sie die Hologrammplatte auf die Distanzklötze und warten Sie bis zur Belichtung ca. 15 Minuten. Laserverschluss betätigen und ca. 6 Sekunden belichten - 15mW HeNe Laser. Die Belichtungszeit hängt von der Objektgröße, Laserstärke, Laseraufweitung und Material ab. Testbelichtungen um die richtige Belichtungszeit zu finden sind daher notwendig. Wie Sie wissen kann eine Interferenz nur mit zwei Strahlen stattfinden Objekt.- und Referenzstrahl. Beim Denisyukhologramm ist der Strahl der durch die Platte durchgeht der Referenzstrahl und das reflektierte Licht vom Objekt der Objektstrahl. Um einen möglichst hohen Wirkungsgrad des Hologramms zu erreichen, muss das Lichtstärkeverhältnis Referenz.- Objektstrahl, in der Zweistrahltechnik eingestellt werden. Da wir hier jedoch nur einen Strahl zur Verfügung haben, wird dieses Verhältnis mit der Belichtungszeit geregelt, das heißt, je länger Sie belichten, desto stärker wird der Referenzstrahl sein. Tragen Sie einige Tests in Ihr Buch ein. Nach der Belichtung wird die Hologrammplatte im HT.D 15 entwickelt,  $\log 2,5$  Dichte.  $\log 3 =$  Totalschwärzung. Zwischenwässerung eine Minute und anschließend bleichen. Zwei Minuten Schlusswässerung. Nach der Schlusswässerung ca. eine Minute ins Trocknerbad (Fotoflo) geben, abrakeln und mit dem Fön fertig trocknen. Das Hologramm ist nach vollständiger Trocknung im Halogenlicht sichtbar. Auf der Schichtseite wird das Hologramm mit einer schwarzen Folie abgedeckt, oder mit Lack lackiert. Wird bei der Aufnahme die Schichtseite der Hologrammplatte zum Laser gerichtet, so entsteht ein **pseudoskopisches** (nach außen gekehrtes Hologramm).

# GRATING

## holografisches Gitter

Grating / holografisches Gitter oder Beugungsgitter ist ein **Transmissionshologramm** welches durch zwei Laserstrahlen ohne Objekt hergestellt wird. Vor die zu belichtende Hologrammplatte kann man auch einen Negativ- oder Positivfilm geben - diese Technik wird zum Teil auch als Vorstufe für Prägehologramme eingesetzt.

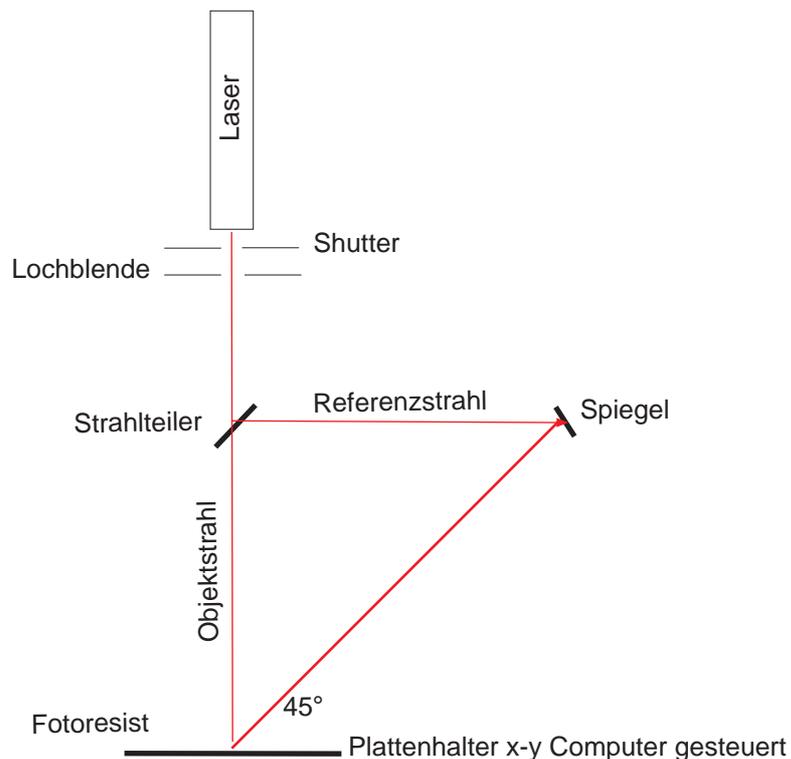


Setzen Sie wie oben eingezeichnet den Umlenkspiegel und richten Sie ihn mit ca.  $45^\circ$  auf den Plattenhalter. Positionieren Sie dann den Strahlteiler und zwar so, dass der Laserstrahl zum Spiegel umgelenkt wird. Vom Spiegel wieder mit ca.  $45^\circ$  auf den Plattenhalter. Achtung - Weglängenausgleich. Beide Laserstrahlen sollen Deckungsgleich in der Mitte der Platte sichtbar sein. Die Raumfilter werden nun in den Laserstrahl gegeben und mit einer 25x Mikroskopoptik aufgeweitet. Laserverschluss betätigen - Licht aus und eine Hologrammplatte in den Plattenhalter geben. 5 Sekunden belichten und entwickeln wie beim Gabor Inline Hologramm. Als zweiten Versuch geben wir zwischen Hologrammplatte und einer neutralen Glasplatte einen Negativ- oder Positivfilm. Belichten und entwickeln wie zuvor beschrieben. Es ist auch möglich glasklare Gegenstände in den aufgeweiteten Laserstrahl zu geben um das Laserlicht zu beugen. Man kann mit dieser Variante recht interessante Abbildungen erreichen. Wenn das fertige Hologramm auf der **Schichtseite verspiegelt** wird, ist es als **Reflexionshologramm** zu betrachten = Lichtquelle von vorne.

# Dot-Matrix Systeme

Dot-Matrix Systeme haben grundsätzlich mit holografischen Aufbauten wenig zu tun. Man kann sie ehestens mit einem Grating in der Holografie vergleichen.

Der Referenzstrahl trifft in einem Winkel von  $45^\circ$  auf die Fotoplatte (Fotoresist) und der Objektstrahl = Belichtungskopf in  $90^\circ$ . Beide Strahlen überlagern sich wie bei einem holografischen Grating und können somit interferieren. Wie bei einem Grating sind **nur zweidimensionale Abbildungen** möglich. Da ein Fotoresist belichtet wird, ist ein HeCd (Helium Cadmium) Laser für die Aufnahme erforderlich. Die Belichtungen erfolgen Punkt für Punkt, wobei der Aufnahmetisch vom Computer gesteuert, verändert wird. Durch diese Einzelbelichtungen ergeben sich entsprechend lange Aufnahmezeiten. Der belichtete Fotoresist wird wie bei Prägehologrammen weiter verarbeitet. In Kombination mit 3D Hologrammen ergibt sich mit Dot-Matrix Systemen eine bessere Fälschungssicherheit.



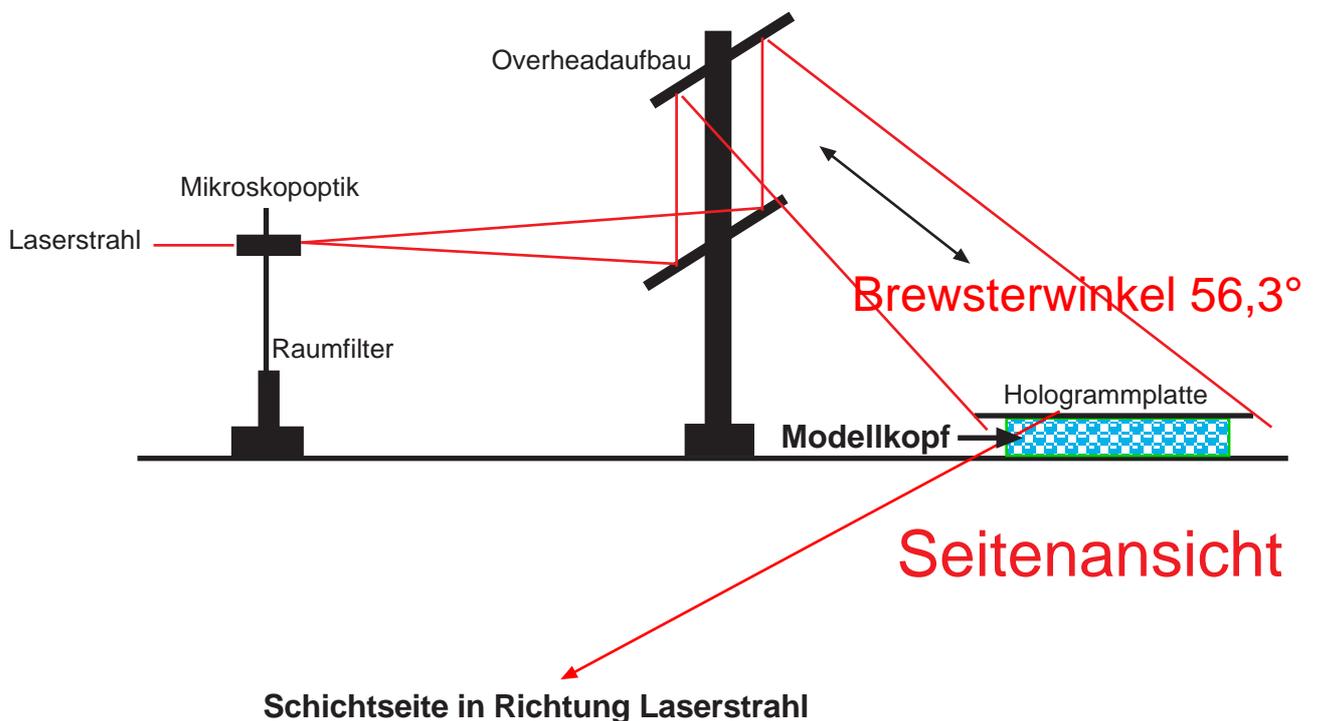
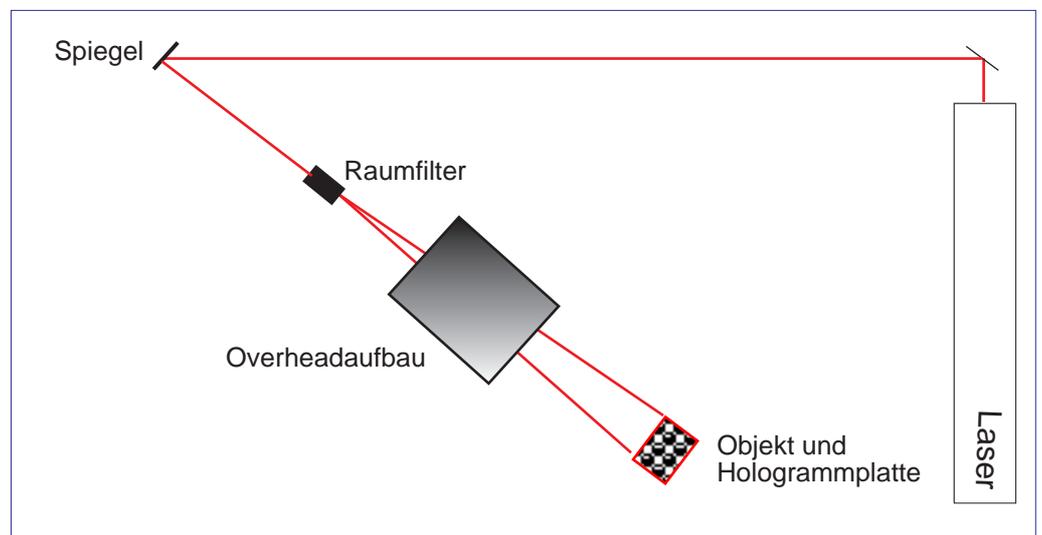
# WEISSLICHT REFLEXIONS MASTER

Das Weißlicht-Reflexionsmaster hat einen ähnlichen Aufbau wie das Denisyuk Hologramm. Der entscheidende Unterschied ist, dass der Laserstrahl genau im Brewsterwinkel auf die Hologrammplatte (Film) auftrifft. Die Schichtseite der Hologrammplatte (Film) ist in Richtung Laser. Das fertiggestellte Hologramm ist pseudoskopisch und muss bei der Kopie umgedreht werden. Achten Sie auf die korrekte Richtung des Modells, da ja die Platte (Film) wie erwähnt umgedreht werden muss.

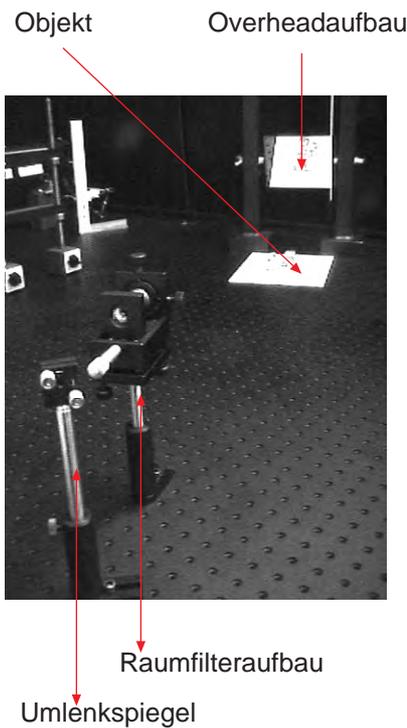
Die Weiterverarbeitung ist wie beim Denisyukhologramm vorzunehmen. Jedenfalls sollte dieses Masterhologramm größer als die anschließende Kopie sein, da entstehende Schatten von der Glaskante ausgeblendet werden müssen.

Anstelle des Overhead Aufbaues kann der Laserstrahl auch direkt auf das Objekt gerichtet werden. Die einfachste Aufweitung des Laserstrahles ist mit einer Bikonkavlinse, allerdings werden Abbildungsfehler (Abberationen) der Optik auch mit aufgenommen.

Aufsicht



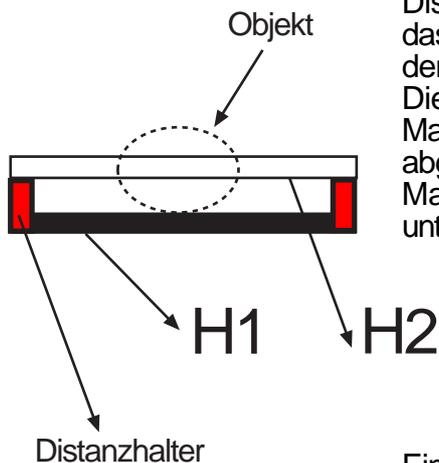
# REFLEXIONS MASTER AUFBAU



Richten Sie den unaufgeweiteten Laserstrahl auf den Overheadspiegel und lenken Sie ihn so um, dass er im **Brewsterwinkel =  $56,3^\circ$**  auf den Tisch auftrifft.. Mit der Mikroskopoptik im Raumfilteraufbau wird der Laser aufgeweitet. Setzen Sie nun die Lochblende in den Raumfilteraufbau. Das zu holografierende Objekt muss gut reflektieren, da ja in dieser **Einstrahl** Technik keine Einstellung von Referenz- und Objektstrahl möglich ist. Der Kopf des Objektes zeigt zum Laser. Die Hologrammplatte wird **schichtverkehrt** auf das Modell gelegt. Diese Platte sollte größer als die anschließende Kopie sein.

Um Reflexionen von der Glaskante zu vermeiden, muss diese **abgeschattet** werden. Nach einer Wartezeit von ca. 15 Minuten kann die Belichtung erfolgen. Die Weiterverarbeitung ist wie bereits vom Denisjuk Hologramm bekannt, vorzunehmen. Anschließend wird die Schichtseite mit einem schwarzen Lack lackiert und das **pseudoskopische** Bild ist nun im weißen Licht sichtbar.

## WRH KOPIE

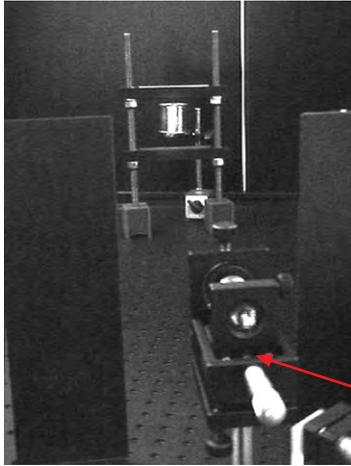


Das Reflexions Master wird so in den Laserstrahl positioniert, dass es am besten (**hellsten**) sichtbar ist. Mit der Höhe der Distanzhalter für H2 kann nun bestimmt werden wie weit das Hologramm in den Raum ragen soll. Beachten Sie aber den **unscharfen** Bereich der durch Lichtbrechung entsteht. Die neue Hologrammplatte wird mit der Schichtseite zum Masterhologramm aufgelegt. Auch hier muss die Glaskante abgeschattet werden. Je nach Helligkeit (Wirkungsgrad) des Masterhologramms ist die Belichtungszeit für die Kopie unterschiedlich. Allenfalls ist eine Testaufnahme vorzunehmen.

## Vorteile dieser Technik

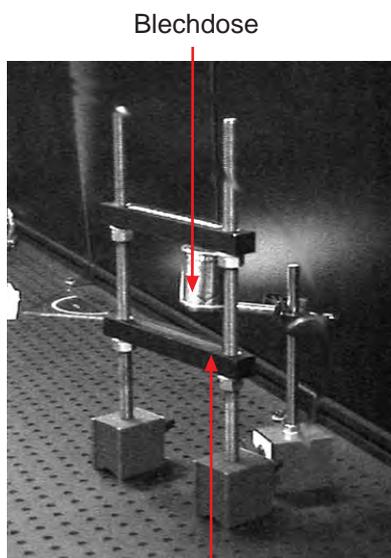
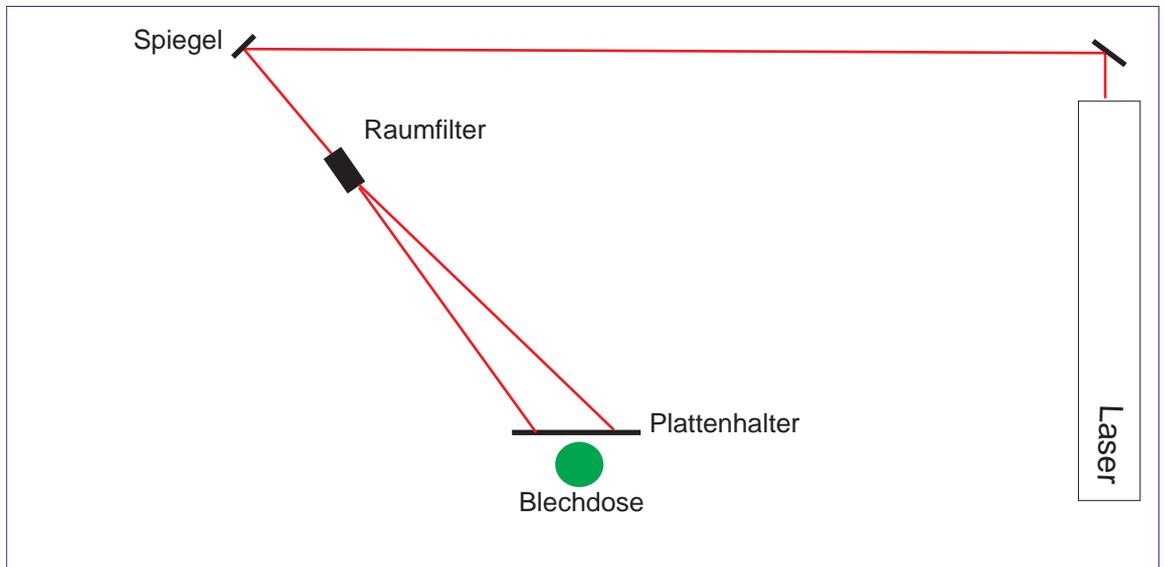
Einfachste Aufnahmegeometrie ohne großem Aufwand und Optiken herstellbar. Das Masterhologramm kann jederzeit für weitere Kopien verwendet werden. Der Betrachtungswinkel ist wesentlich größer als bei herkömmlichen Hologrammen. Einziger Nachteil ist die Helligkeit (Wirkungsgrad) des Hologramms

# HOLOGRAFISCHE INTERFEROMETRIE



Die holografische Interferometrie ist ein Materialprüfungsverfahren mit bisher unerreichter Auflösung, da die Wellenlänge des verwendeten Lasers zur Berechnung der Verformung verwendet wird. Schichtdickenmessungen mit höchster Genauigkeit als Qualitätssicherung am Fließband, Ausdehnung von Gasen, Belastungsprüfungen, dreidimensionale Sichtbarmachung durch die Speckle-Interferometrie, Prüfung von Hochgeschwindigkeitsreifen. Akustische Interferometrie für Schwingungsprüfungen usw.

Raumfilter



Blechdose

Plattenhalter

Wir stellen einen Denisyukaufbau her und nehmen als Modell eine Blechdose die gut reflektiert. Diese Blechdose muß am Tisch gut verankert werden. Laserverschluss betätigen - Licht aus und Hologrammplatte in den Plattenhalter geben. Erste Belichtung 4 Sekunden. Nach dieser ersten Belichtung wird ein Gummiring um die Blechdose gegeben und es folgt die zweite Belichtung ebenfalls mit 4 Sekunden. Entwicklung wie beim Denisyuk Hologramm beschrieben. Am fertigen Hologramm sind Interferenzstreifen sichtbar, welche über die verursachte Spannung des Gummiringes Auskunft geben. In etwa vergleichbar mit den Höhenschichtenlinien bei Landkarten. Entscheidend bei diesen Versuchen ist eine Belichtung **ohne** und eine Belichtung **mit** Belastung.

# HOLOGRAFISCHE INTERFEROMETRIE

Es gibt verschiedene Aufnahmetechniken in der holografischen Interferometrie. Die gebräuchlichsten sind:

**Doppelbelichtungstechnik**  
**Zeitmittlungsverfahren**  
**Echtzeitverfahren**

## **Doppelbelichtungstechnik**

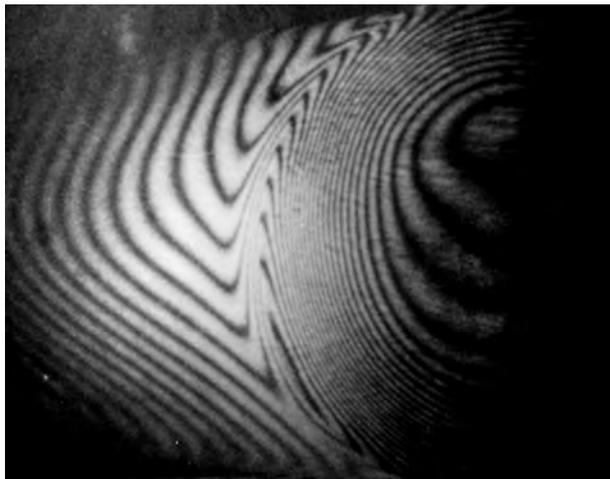
Bei der ersten Belichtung wird die Oberflächenform des Objektes holografisch aufgezeichnet. Die zweite holografische Belichtung wird unter Belastung dieses Objektes aufgenommen. Durch die unterschiedlichen Aufnahmen entsteht ein Interferenzmuster ähnlich der Höhen=schichtenlinien in der Kartografie.

## **Zeitmittlungstechnik**

Mit dieser Technik werden zeitliche Schwingungen sichtbar gemacht in dem mehrere holografische Aufnahmen die unter der Schwingungszeit des Objektes liegen aufgezeichnet werden. Schwingungsanalyse. Automobiltechnik, Strömungswiderstände usw.

## **Echtzeitverfahren**

Hier wird zunächst nur eine holografische Aufnahme hergestellt und anschließend mit dem aufgenommenem Objekt verglichen. Die Abweichungen zum Original lassen nun die Berechnungen zu. Wird ebenfalls in der Schwingungsanalyse eingesetzt.



Diese Aufnahme zeigt die Verformung eines Aluminiumstabes. Man sieht hier genau, dass an der Stirnseite die Verformung geringer ist als am gewölbten Teil. Ist an den Interferenzlinien eine Abweichung erkennbar, so hat dieser Aluminiumstab einen Materialfehler.



Holografisches Interferogramm eines Porträts. Diese Aufnahme ist als Einzelaufnahme zu verstehen, wobei die zweite Aufnahme durch die Schnelligkeit des Impulslasers entsteht. Das heißt, das Laserlicht trifft unmittelbar hintereinander auf das Objekt.

# HOLOGRAFISCHE INTERFEROMETRIE



Reifenprüfgerät

## Vorteile der holografischen Interferometrie

Es ist ein optisches und berührungsloses Messverfahren

Das Objekt wird durch die Messung nicht beeinflusst

Die Messung erfolgt trägheitslos

Das Ergebnis ist sofort sichtbar

Der Messbereich unterliegt der Wellenlänge des verwendeten Lasers

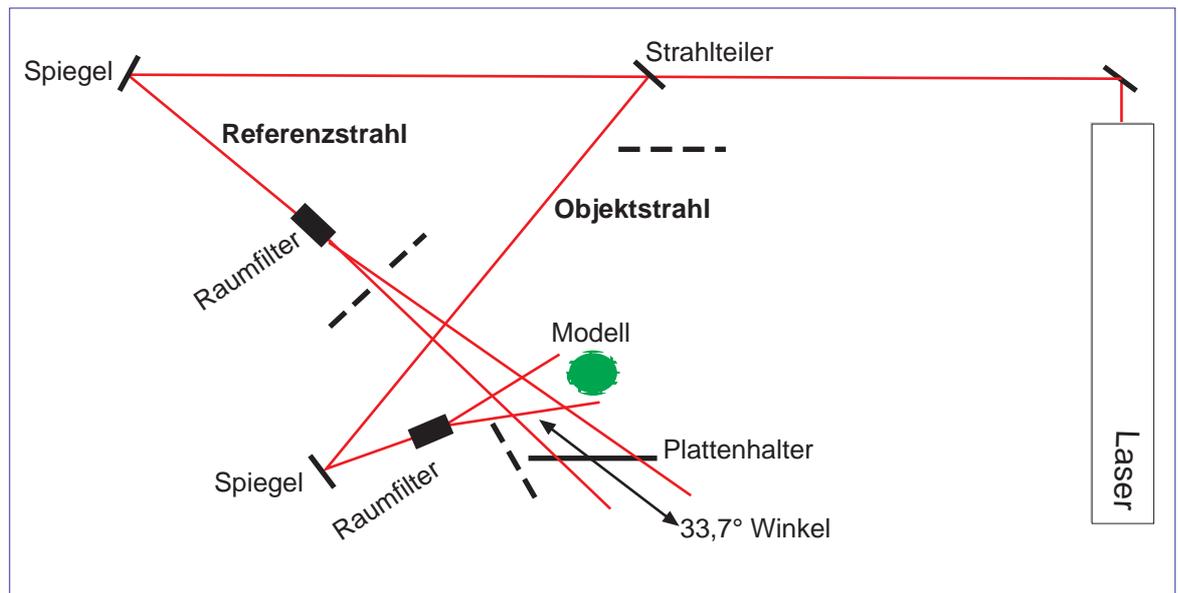
Nichtspiegelnde Objekte können vermessen werden

Neben der Oberflächenrauigkeit spielt auch die Oberflächenform keine Rolle

Strömungswiderstände sind bei den Aufnahmen kein Problem.

# EINFACHES MASTER

Dieses Master wird ohne Kollimierungsoptik und nur mit einem Objektstrahl aufgebaut. Es wurde von Emmett Leith und Juris Upatnieks zum Erstenmal hergestellt. Der Aufbau unten ist eine Abänderung und lässt sich in kurzer Zeit herstellen. Das verwendete Modell muss sehr stabil sein und gut reflektieren. Es muss auch zur Seite liegend montiert werden, da auch der Laserstrahl von der Seite kommt!



Abschattungswand

**Folgende Punkte sind entscheidend !**

Referenzwinkel mit  $33,7^\circ$   
Abschattung gegen Streulicht.  
Intensitätsverhältnis Referenz-  
Objektstrahl = mindestens 2:1  
Die linke Seite der Hologrammplatte  
muss ca. 3mm abgedeckt werden, da  
sonst Eigenreflexionen entstehen.  
Genauer Weglängenabgleich von  
Referenz- Objektstrahl.  
Hologrammplatte = Schichtseite zum  
Objekt.

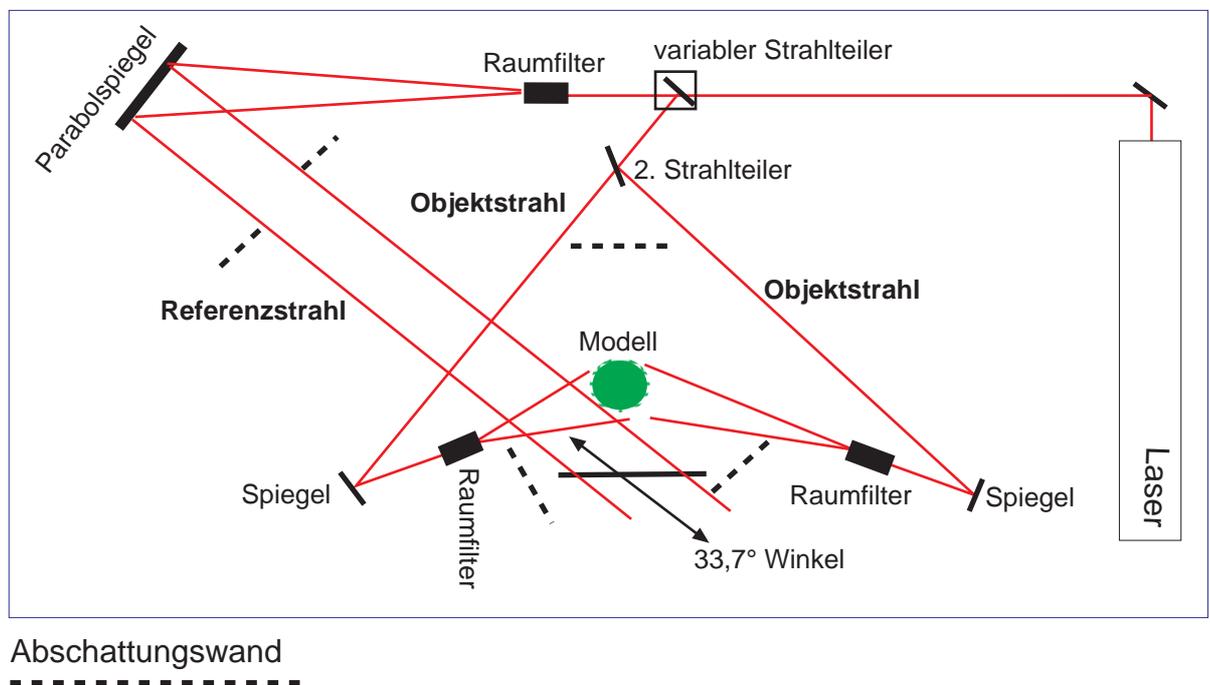
**Empfehlung:**

Fertigen Sie sich eine Maßzeichnung  
an und notieren Sie alle Details, damit  
Sie diesen Ablauf auch später leicht  
nachvollziehen können.

Richten Sie sich zunächst ein geeignetes Modell her und geben Sie dieses ca. 15cm vor den Plattenhalter. Der Referenzstrahl wird umgelenkt und trifft im Winkel von  $33,7^\circ$  auf den Plattenhalter. Er wird so stark aufgeweitet, dass die weiße Platte voll ausgeleuchtet ist. Jetzt wird der variable Strahlteiler eingesetzt, wobei der Laserstrahl gemäß Zeichnung gerichtet wird. Ein weiterer Spiegel lenkt den Laserstrahl direkt auf das Objekt = Objektstrahl. Achtung ! Beide Weglängen Objekt-Referenzstrahl müssen gleich lang sein. Der erste Messpunkt ist der variable Strahlteiler und die Entfernung Modell-Plattenhalter muss in den Objektstrahl miteingerechnet werden. Jetzt wird der Raumfilter in den Objektstrahl gegeben, wobei der aufgeweitete Laserstrahl das Objekt gut ausleuchten muss. Pinholes setzen und justieren, danach gemäß Zeichnung die Abschattungen einsetzen. Achtung ! Es darf keinerlei Streulicht auf die Platte treffen. Laserverschluss betätigen und warten bis alle Schwingungen abgeklungen sind - mindestens 15 Minuten. Belichten, entwickeln und trocknen wie gehabt. Dieses Master ist ein **Lasertransmissionshologramm** und nur im Laserlicht sichtbar. Im Weißlicht sieht man nur die Spektralfarben.

# KOLLIMIERTES MASTER

Dieses Master wird mit einer Kollimierungsoptik (Parabolspiegel) und zwei Objektstrahlen aufgebaut. Der Aufbau unten ist bereits sehr komplex und erfordert Zeit. Das verwendete Modell muss sehr stabil sein und gut reflektieren. Ebenso muss dieses Modell zur Seite liegend montiert werden, da auch der Laserstrahl von der Seite kommt. Der Grundaufbau ist wie bei "Master" beschrieben vorzunehmen. Es wird ein zweiter Strahlteiler eingesetzt und so umgelenkt, dass er auf den Spiegel laut Zeichnung trifft und wieder in Richtung Modell gelenkt. Achtung ! Auch diese Weglänge muss gleich lang sein. Alle Strahlen werden natürlich aufgeweitet.



Folgende Punkte sind entscheidend !

- Referenzwinkel mit  $33,7^\circ$
- Abschattung gegen Streulicht.
- Intensitätsverhältnis Referenz-Objektstrahlen = mindestens 2:1
- Die linke Seite der Hologrammplatte muss ca. 3mm abgedeckt werden, da sonst Eigenreflexionen entstehen.
- Genauer Weglängenabgleich von Referenz- Objektstrahl.
- Hologrammplatte = Schichtseite zum Objekt.

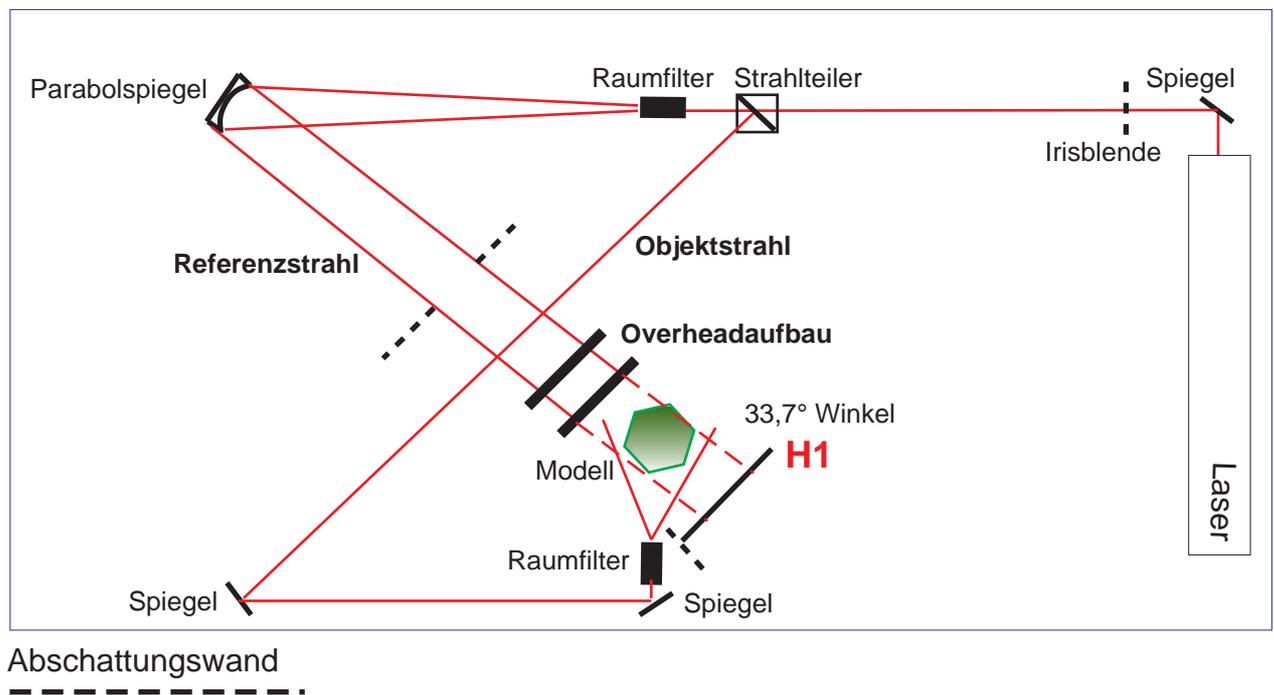
Empfehlung:

Fertigen Sie sich eine Maßzeichnung an und notieren Sie alle Details, damit Sie diesen Ablauf leicht nachvollziehen können.

Die Kollimierungsoptik bzw. Parabolspiegel wird eingesetzt. Suchen Sie sich ein Höhenmaß vom Plattenhalter und überprüfen Sie die Verzerrung an der Wand (Projektion). Verschieben Sie den Raumfilter so lange, bis auf der Projektionswand das Höhenmaß des Plattenhalters ident ist. Ist dies der Fall, so ist der aufgeweitete Laserstrahl gleichgerichtet. Diese Gleichrichtung (Kollimierung) des Referenzstrahles bewirkt, dass bei der anschließenden Weißlichtkopie keinerlei Verzerrungen der Aufnahme auftreten. Der zweite Objektstrahl dient zur besseren Ausleuchtung des Objektes und muss nicht unbedingt gleich stark wie der erste Objektstrahl sein. Nachdem alle Bauteile korrekt positioniert sind, werden die Pinholes gesetzt und justiert. Achtung ! Auch vom zweiten Objektstrahl darf kein Streulicht auf das Master fallen. Licht aus und Laserverschluss betätigen, ca.20 Minuten bis zur Belichtung warten. Dunkelkammerarbeit wie gewohnt durchführen.

# OVERHEADMASTER

Dieses Master wird mit einer Kollimierungsoptik (Parabolspiegel) und der Overhead Einrichtung aufgebaut. Das Modell muss nicht mehr zur Seite gedreht werden, da nun der Referenzstrahl von oben kommt. Dieser Aufbau ist auch für Mehrfachbelichtungen geeignet



**Folgende Punkte sind entscheidend !**

Referenzwinkel  $33,7^\circ$

Abschattung gegen Streulicht.

Intensitätsverhältnis Referenz-

Objektstrahlen = mindestens 2:1

Die linke Seite der Hologrammplatte muss  
ca. 3mm abgedeckt werden, da sonst

Eigenreflexionen entstehen.

Genauer Weglängenabgleich von  
Referenz- Objektstrahl.

Hologrammplatte = Schichtseite zum  
Objekt.

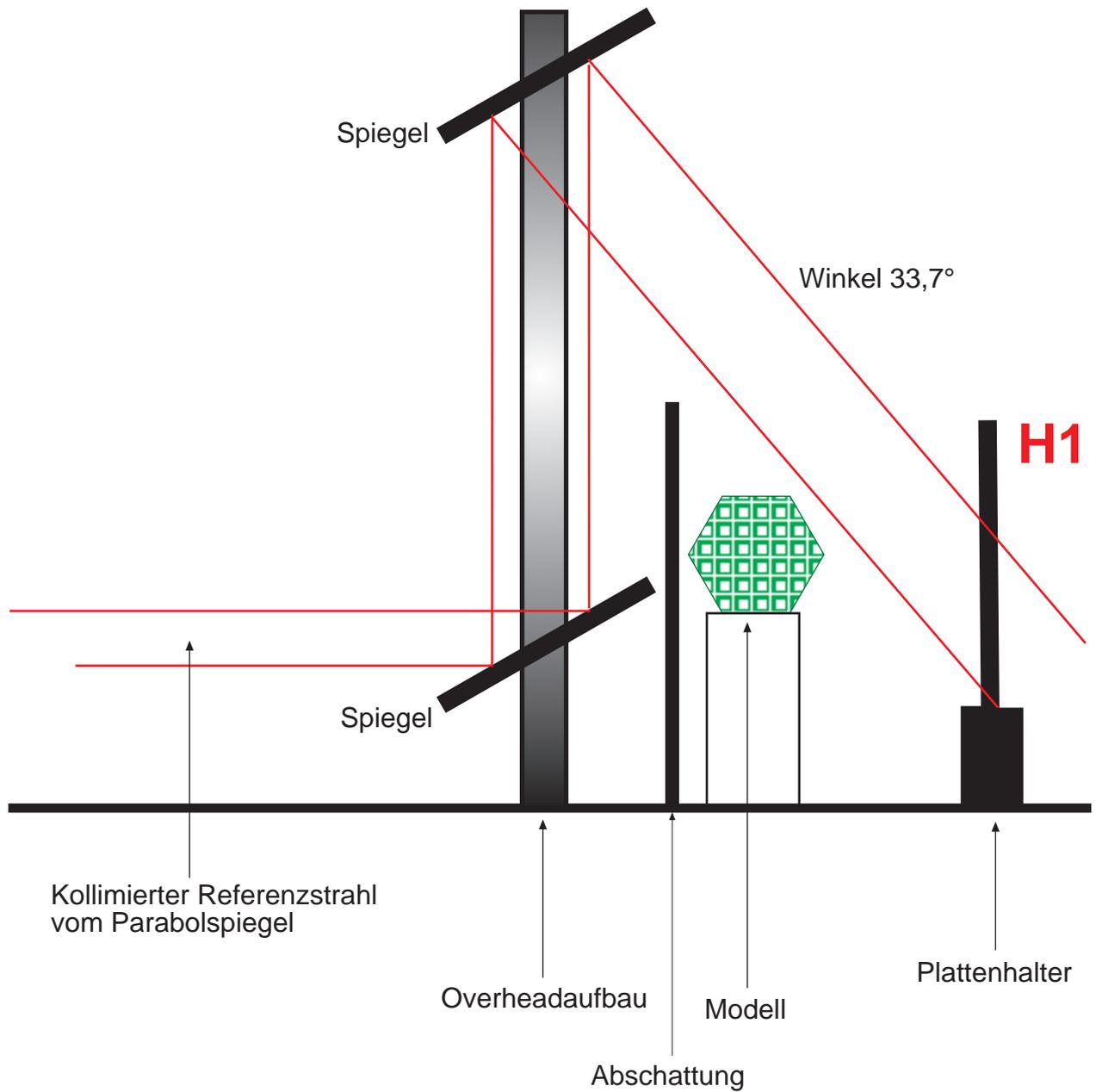
**Empfehlung:**

Fertigen Sie sich eine Masszeichnung an  
und notieren Sie alle Details, damit Sie  
diesen Ablauf leicht nachvollziehen  
können.

Der Laserstrahl wird in Richtung Parabolspiegel umgelenkt und der Plattenhalter montiert. Achtung! Der Plattenhalter muss weiter in die Tischmitte gesetzt werden um genügend Platz für den Objektstrahl (Aufweitung) zu haben. Der Overheadaufbau wird eingerichtet und der Strahl muss im  $33,7^\circ$  Winkel auf H1 auftreffen. Der Referenzstrahl ist nun eingerichtet. Als nächstes positionieren wir das Modell und den variablen Strahlteiler. Obige Zeichnung gibt einen Anhaltspunkt wie der Laserstrahl eingerichtet werden kann. Grundsätzlich sind hier die Spiegel am Tischrand zu positionieren um genügend Distanz zum Objekt zu bekommen. Anschließend werden die Weglängen überprüft und gegebenenfalls mit dem variablen Strahlteiler korrigiert. Sind die Weglängen gleich, werden die Raumfilter eingesetzt und mit der Mikroskopoptik der Laserstrahl aufgeweitet. Als nächstes positionieren wir die Irisblende und setzen die Lochblenden in die Raumfilter ein. Zum Schluss stellen wir das Ratio ein. Das Lichtverhältnis ist wie bei den anderen Mastern einzuhalten 2:1 - 4:1 je nach Objekt. Abschatten nicht vergessen. Besonders wichtig ist, dass keinerlei Streulicht auf H1 trifft.

# OVERHEADMASTER

## Seitenansicht

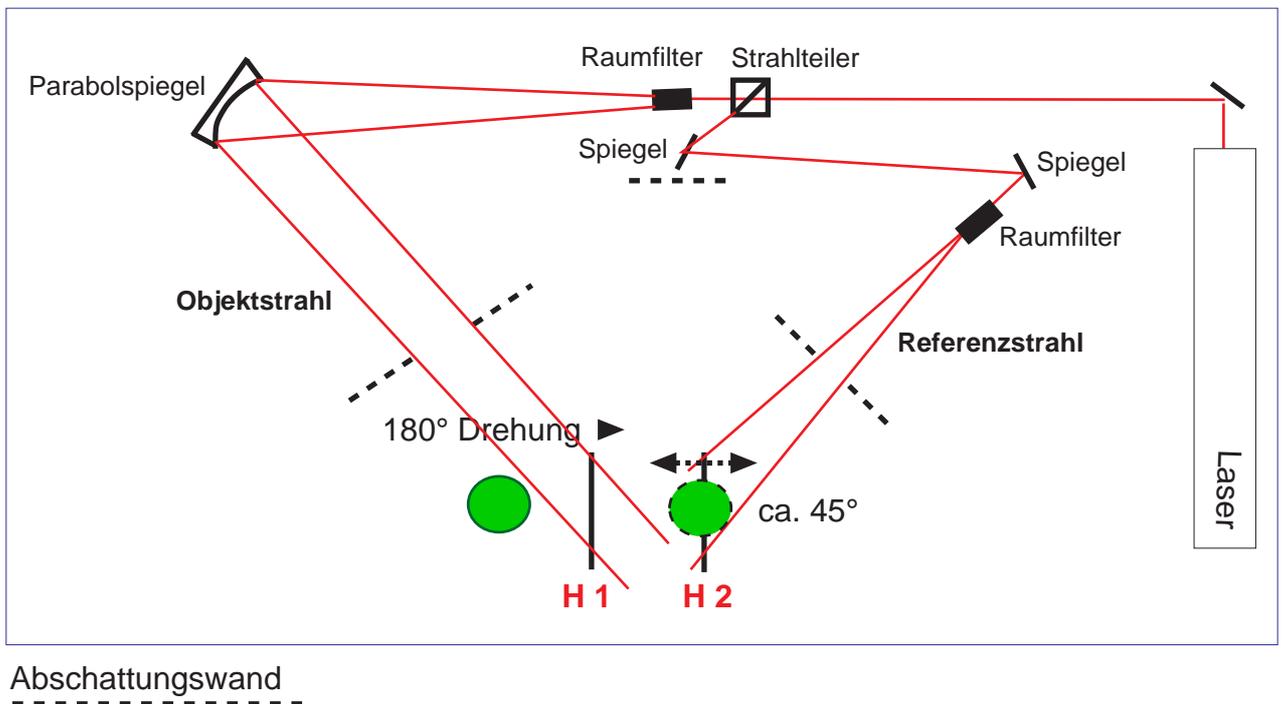


Achtung! Es darf keinerlei Referenzlicht auf das Objekt fallen!

# WEISSLICHTKOPIE

## kollimiert

Mit dieser Geometrie wird das später aufgenommene Hologramm bei Weißlicht sichtbar sein.  
Setzen Sie zuerst den Umlenkspiegel des Objektstrahles.  
**Achtung!** Das Master ist nun unser neues Objekt und wird H 1 genannt. Entscheidend ist der Einsatz des Parabolspiegels um Verzerrungen von H1 zu vermeiden.



- Folgende Punkte sind entscheidend !**
- Referenzwinkel höchstens  $45^\circ$ .
  - Abschattung gegen Streulicht.
  - Intensitätsverhältnis Referenz-Objektstrahl = maximal 1,5:1
  - Die Hologrammplatte muss ca. 3mm seitlich abgedeckt werden, da sonst Eigenreflexionen entstehen.
  - Genauer Weglängenabgleich von Referenz- Objektstrahl.
  - Hologrammplatte = Schichtseite zum Laser
- Empfehlung:** Als erstes wird der Objektstrahl eingerichtet und auf eine korrekte Laserstrahlhöhe geachtet. Der Plattenhalter für H1 wird eingesetzt und im Raumfilter wird die Mikroskopoptik montiert. Entscheidend dabei ist, dass der Laserstrahl kollimiert ist, das heißt keinerlei Divergenzen aufweist. Setzen Sie H1 ein und suchen Sie das hellste Ergebnis. Anschließend wird H1 um  $180^\circ$  gedreht. Der Plattenhalter für H2 wird eingerichtet und die Stellung des neuen Hologramms festgelegt. Der variable Strahlteiler wird eingesetzt und gemäß Zeichnung eingerichtet. Der Auftreffwinkel des Referenzstrahles auf H2 soll ca.  $45^\circ$  betragen. Dies ist auch nach der Fertigstellung des Hologramms der Beleuchtungswinkel. Die Belichtungszeit ist abhängig vom Wirkungsgrad von H1 und der Entfernung von H1 zu H2.

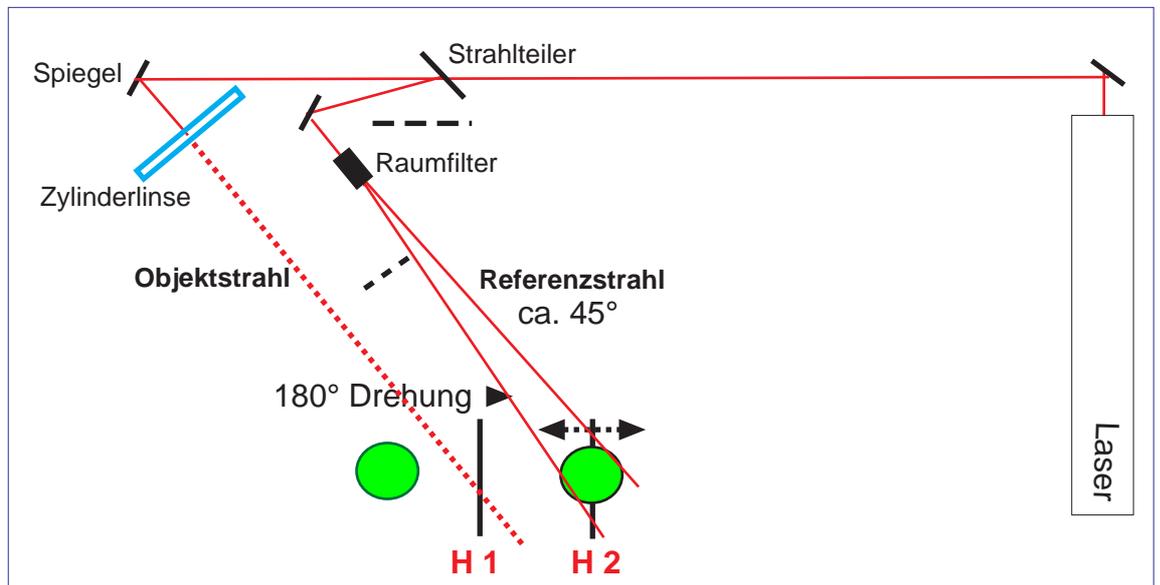
Fertigen Sie sich eine Maßzeichnung an und notieren Sie alle Details, damit Sie diesen Ablauf wieder nachvollziehen können.



Stephen A. Benton  
1.12.1941 - 9.11.2003  
Foto von einem Porträt Hologramm  
IOFFE Institut St. Petersburg

# REGENBOGEN HOLOGRAMM

Das erste Regenbogenhologramm wurde von Stephen A. Benton 1968 hergestellt. Dieses Hologramm ist ein Weißlichttransmissionshologramm und wird von hinten beleuchtet. Wird dieses Hologramm auf der Schichtseite verspiegelt, wird es von vorne beleuchtet und zu einem Weißlichtreflexionshologramm. Wird auch als Grundaufnahme für geprägte Hologramme verwendet.



Abschattungswand  
-----

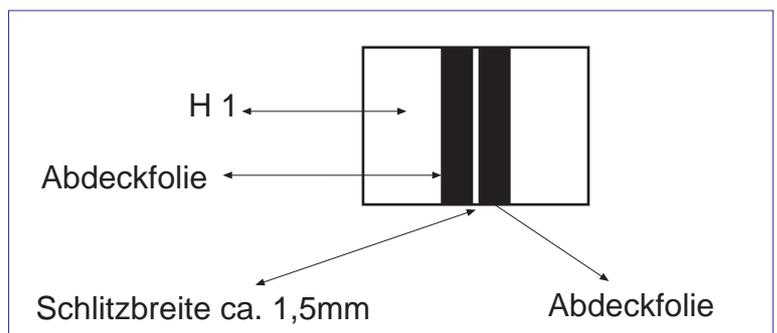
Der Objektstrahl wird wie bei der "Kopie" schon beschrieben auf H 1 gelenkt. Ein Spiegel lenkt den Referenzstrahl so um, dass er mit ca. 45° auf die Hologrammplatte auftrifft. **Achtung!** Die Weglängen müssen auch hier gleich sein. Einrichtung von H 2 wie schon bei "Kopie" beschrieben vornehmen. In den Objektstrahl wird nun eine **Zylinderlinse** gesetzt, wodurch ein Laserstreifen entsteht. Richten Sie diesen Laserstreifen mittig auf H 1. Dieser Streifen ist außen nicht ganz sauber und muss mit Hilfe von Klebestreifen abgedeckt werden. Schlitzbreite nicht zu klein bemessen, da sonst das ganze Farbspektrum auf einmal zu sehen ist - Schlitzbreite ca. 1,5mm. Wichtig ist auch, dass das Modell bei der Masteraufnahme nicht zu nahe an der Platte aufgenommen wurde.

Folgende Punkte sind entscheidend !

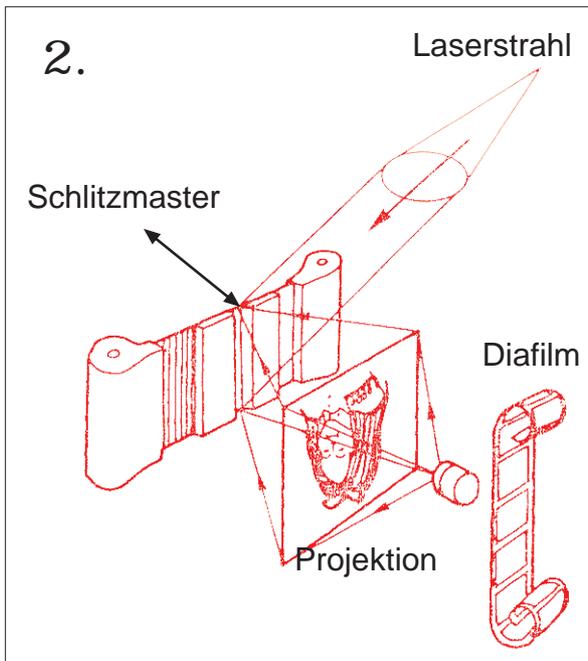
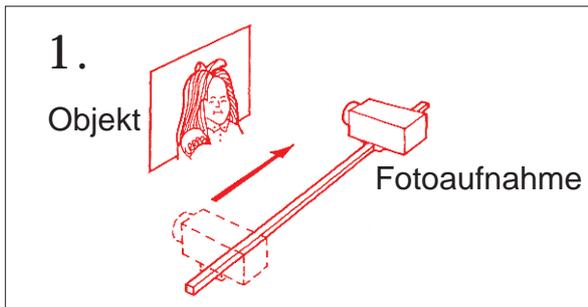
- Referenzwinkel höchstens 45°.
- Abschattung gegen Streulicht.
- Intensitätsverhältnis Referenz-Objektstrahl = mindestens 2:1
- Genauer Weglängenabgleich von Referenz- Objektstrahl.
- Hologrammplatte = Schichtseite nicht zum Objekt = H 1
- Exakter Schnitt der Schlitzabdeckung

Empfehlung:

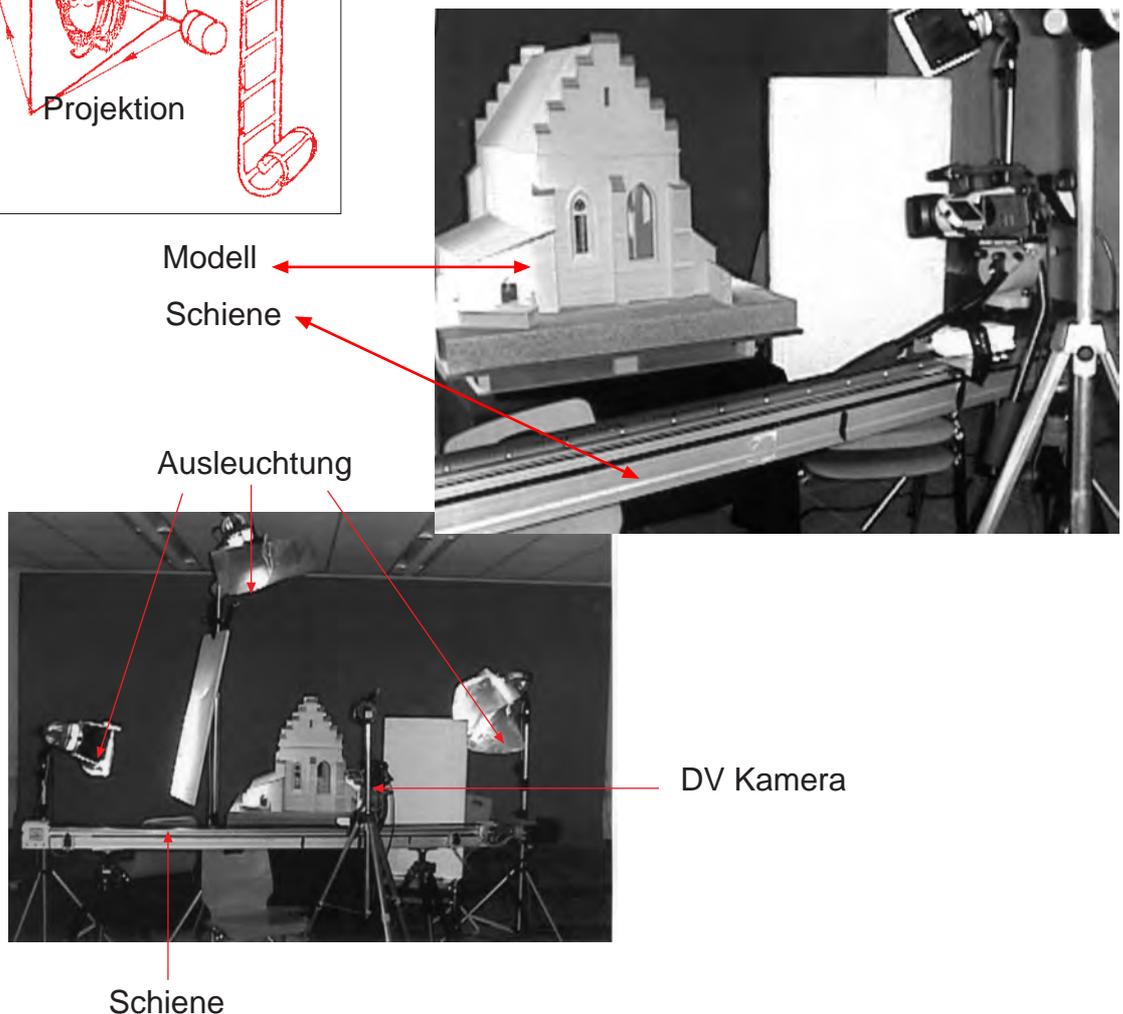
Fertigen Sie sich eine Maßzeichnung an und notieren Sie alle Details, damit Sie diesen Ablauf wieder nachvollziehen können.



# HOLOGRAFISCHES STEREOGRAMM

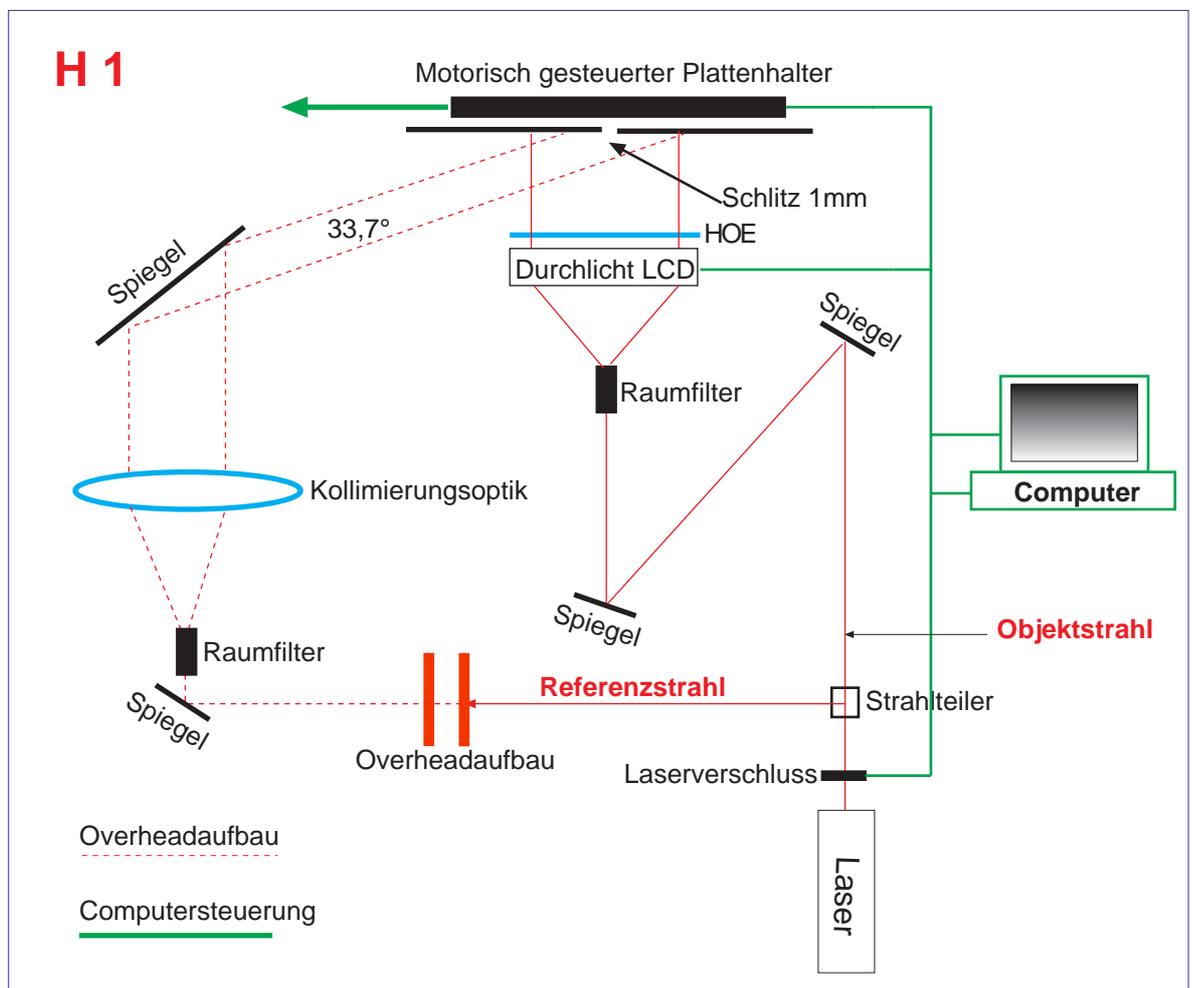


Grundsätzlich benötigt man zur Herstellung eines Hologramms ein Objekt welches dreidimensional und im Maßstab 1:1 ist. Um Personen oder große Gegenstände in einem kleineren, oder größeren Maßstab abbilden zu können, wird ein Zwischenschritt benötigt. Eine Filmsequenz wird mittels eines holografischen Aufbaues noch einmal aufgenommen. Diese ersten Aufnahmen werden durch einen Fotoapparat, 16mm Schmalfilkamera, Digitalkamera, oder über den Computer hergestellt. Jedes Einzelbild wird im Regenbogenhologramm Modus noch einmal aufgenommen. Die einzelnen Bildschlitze werden zu einem Streifenmaster zusammengesetzt und auf die holografische Platte projiziert. Je nach Größe und Aufnahmetechnik werden 100 - 2000 Einzelbilder benötigt. In dieser Technik lassen sich auch Hologramme bis 1m x 1m herstellen. Es ist ein Transmissionshologramm und wird von hinten beleuchtet. Bei kleineren Formaten kann die Rückseite verspiegelt werden, wobei dann die Lichtquelle von vorne kommt. Diese Technik wird unter anderem auch in der Prägeholografie eingesetzt.



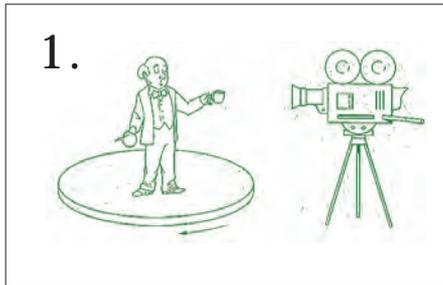
# COMPUTER HOLOGRAMM Master

Dieses Master wird mittels einer Computeranimation oder Videoclip hergestellt. Diese Hologrammgeometrie wird auch für Prägehologramme verwendet. Die maximale Größe liegt bei ca. 15cm x 15cm. Größere Hologramme werden nach wie vor mittels 16mm Film oder Fotosequenzen erstellt. Tatsächlich ist aber zu erwarten, dass bei entsprechender Auflösung auch größere Hologramme in dieser Technik möglich sind. Nach Fertigstellung dieser Sequenzen erhalten wir ein Streifenmaster welches anschließend in der Regenbogengeometrie projiziert wird.

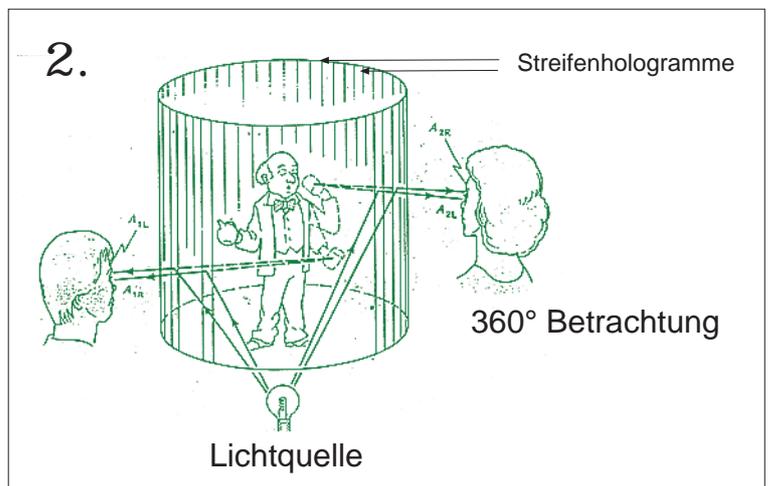


Der Computer steuert den Laserverschluss, bringt die Bildinformation in das Durchlicht LCD und steuert den motorisch gelenkten Plattenhalter. Nach jeder Aufnahme wird der motorisch gesteuerte Plattenhalter um 1mm nach links verschoben und Aufnahme nach Aufnahme aneinander gereiht. Ein entscheidender Faktor ist das Durchlicht LCD, welches die Bildinformationen - Objektstrahl zum Plattenhalter projiziert. Der Referenzstrahl trifft in einem Winkel von 33,7° auf den 1mm Schlitz auf.

# 360° MULTIPLHXHOLOGRAMM



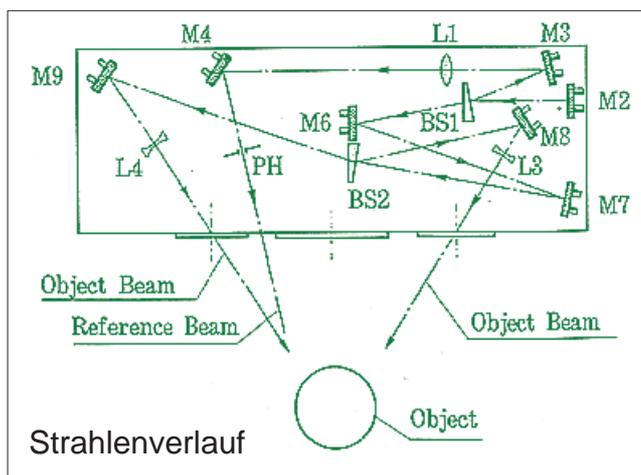
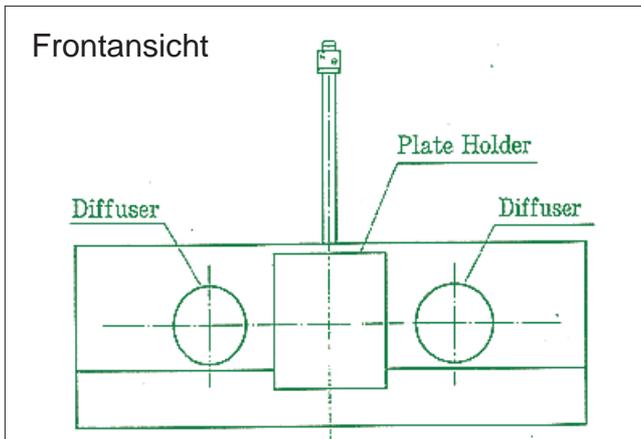
Zur Vorstufenaufnahme wird eine 16mm - oder Digitalkamera verwendet, welche fest positioniert ist. Das Objekt wird auf einen Drehteller gestellt, der sich ganz langsam dreht und die Kamera filmt eine 360° Drehung. Mit dieser Technik lassen sich auch Bewegungsabläufe herstellen. Weiterverarbeitung wie beim holografischen Stereogramm. In diesem Verfahren wurden bereits komplexe, bewegliche Filmsequenzen, dreidimensional hergestellt.



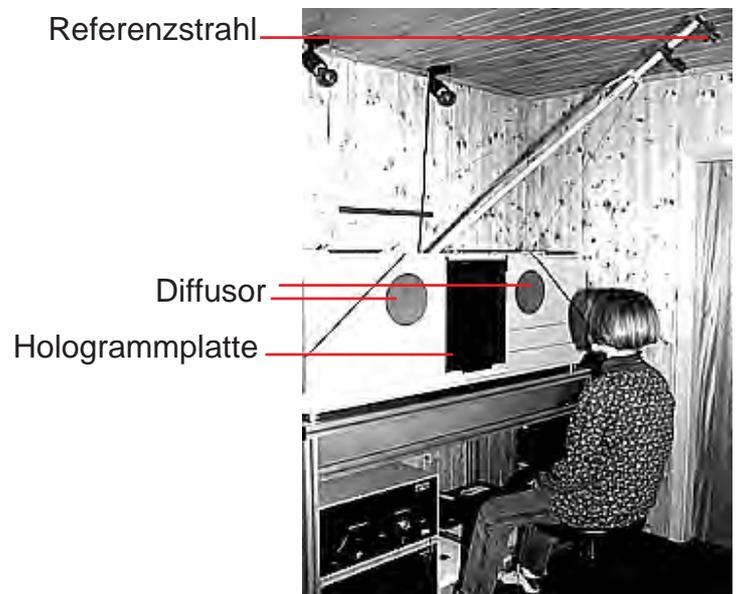
## COMPUTERGENERIERTES HOLOGRAMM

Am Computer wird eine Animationgrafik erstellt Die fertiggestellte 3D Zeichnung läuft anschließend durch ein Animationsprogramm von links nach rechts ab, ca. 200 Einzelaufnahmen werden ausbelichtet und dann wie beim Stereogramm beschrieben, weiterverarbeitet. Bitte beachten Sie, dass sämtliche Vorstufentechniken in schwarz/weiß erfolgen; die Farben entstehen durch die "Regenbogen" Technik. Diese Technik gewinnt zusehends an Bedeutung, da sie von jedem Grafikstudio bzw. Werbeagentur hergestellt werden kann und eine gute Kundenkontrolle möglich wird. Für großformatige Aufnahmen nur bedingt geeignet, da die Pixels verstärkt sichtbar werden.

# PORTRÄTHOLOGRAFIE

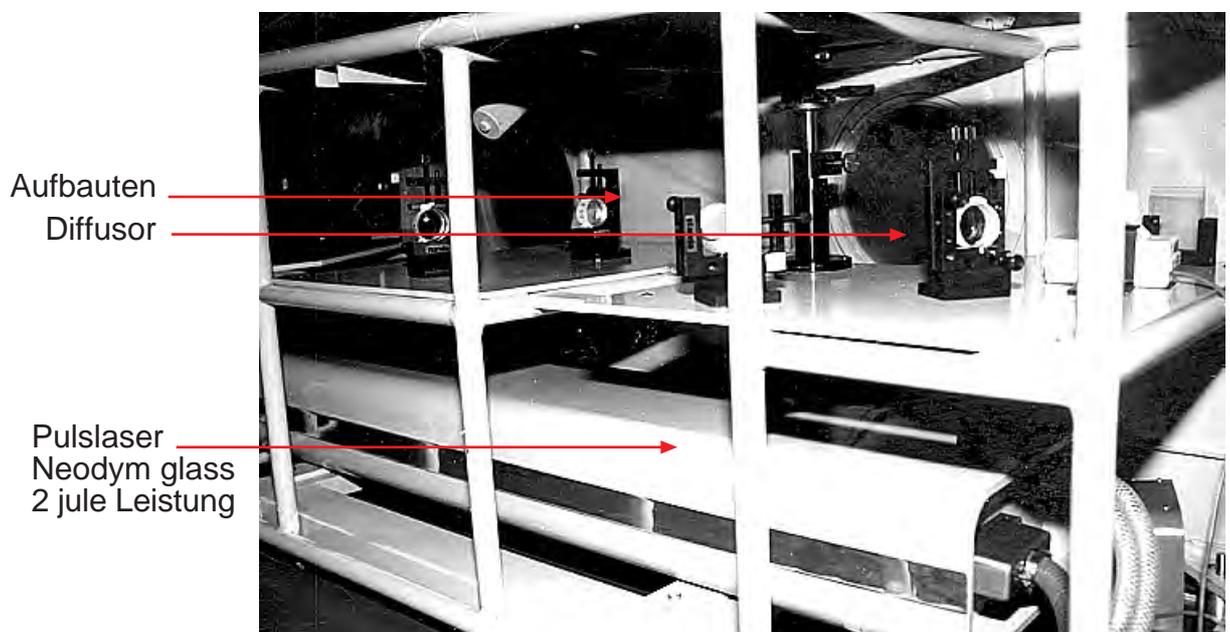


Das erste hologr. Porträt wurde von L.D.Siebert 1967 aufgenommen, wobei ein Rubinlaser verwendet wurde. Dieses Kamerasystem wurde unter Leitung von Yuri Denisjuk im IOFFEE Institut - St.Petersburg entwickelt. Es wird ein Neodym-Glass Laser verwendet, wodurch die Porträts äußerst natürlich erscheinen. Der Objektstrahl trifft durch Diffusoren das Objekt und ist daher absolut ungefährlich. Der Referenzstrahl trifft über den Kopf auf die Hologrammplatte und ist vom Porträtierten nicht wahrnehmbar. Dieses Masterhologramm wird anschließend in einem speziellen Aufbau zum WRH umkopiert.



Aufnahmesituation

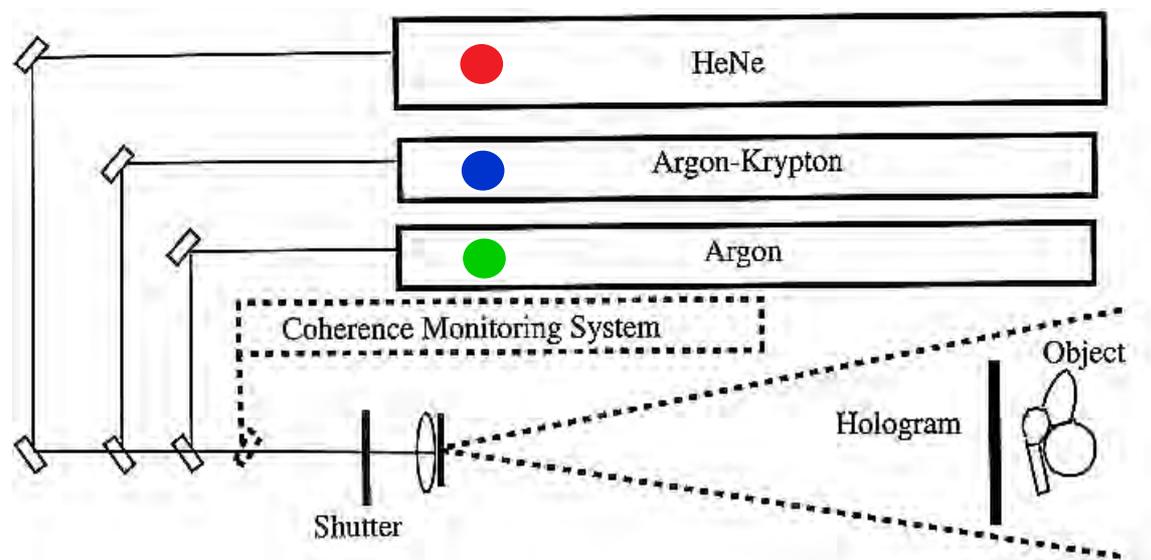
Innenansicht der "Porträtkamera"



# FARBHOLOGRAMME

Wir unterscheiden Echtfarbhologramme von Pseudocolor Hologrammen, welche mittels Schwellung oder Schrumpfung der Gelatine unterschiedliche Farben erreichen. Echtfarbhologramme werden mit drei Lasern hergestellt = 488nm - 530nm - 633nm, wobei die Intensität der Laser abgestimmt wird und die Laserstrahlen genau übereinander liegen müssen. Bei korrekter Einstellung erhalten wir weißes Licht. Verbreitet sind zurzeit Echtfarbhologramme im Denisyuk mode bis zu einem Format von ca. 30cm x 40cm. Echtfarbmasters müssen ebenfalls mit drei Lasern aufgenommen werden, wobei diese Hologrammart noch eher selten ist. Pseudocolor Hologramme werden sehr häufig als Regenbogenhologramme hergestellt, wobei zwei oder mehr Zylinderlinsen verwendet werden. Diese Hologrammart wird hauptsächlich bei Kunsthologrammen angewendet. Sehr gute Ergebnisse gibt es auch mit nur zwei Wellenlängen = 530nm - 633nm. Versuche dieser Anwendung mit PulsLasern sind bereits sehr erfolgreich - Rubinlaser gekoppelt mit einem Neodymlaser.

Echtfarbholografie Aufbaubeispiel

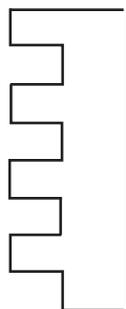


# PRÄGEHOLOGRAMM

Die erste Aufnahme (Mastering) wird wie bekannt hergestellt. Die Kopie (H2) - belichten wir auf einen Fotoresist. Dieser Fotoresist hat die Eigenschaft, dass er nach dem Entwickeln ein Relief ausbildet - ähnlich wie im Tiefdruckverfahren. Mittels Elektrolyse wird dieses Relief = Matritze, auf einen Metallträger (Nickel) übertragen, wodurch eine Patritze = Hochdruckstempel entsteht. Dieser fertige Prägestempel wird SHIM genannt. Bei kleineren Formaten werden Nutzen gezogen und auf einen Metallzylinder aufgebracht. Anschließend wird mittels Druck und Wärme auf eine transparente Folie geprägt. Es entsteht ein **Regenbogenhologramm = Weißlichttransmissionshologramm**. Die Folie wird auf der Rückseite verspiegelt und so zum Weißlichtreflexionshologramm und kann daher ohne Durchlicht von vorne betrachtet werden. Die Endfertigung ist dann wie in der Etikettenindustrie, wobei als Alternative auch ein Substrat aufgebracht werden kann und das Hologramm mittels Wärme und Druck auf das Druckgut aufgeprägt wird = Prägehologramm.

Schnitt durch das Relief  
im Fotoresist

1.



galvanisieren

2.



Fotoresist

3.

Galvanoschicht



Folie

Prägestempel (SHIM)

4.



Folie

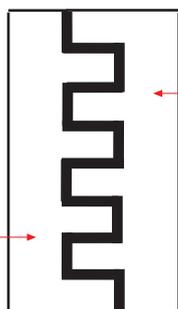
5.



Der Prägestempel wird in  
eine Folie geprägt

6.

Substrat  
am  
Hologramm



Betrachtungsseite

# LASER

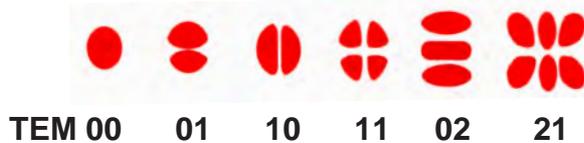


Sämtliche Laser sind in Gefahrenklassen eingeteilt und ein entsprechendes Warnschild muss sich auf dem Laser befinden. Laserklasse 1, 2, 3a, 3b, 4. Nie in den unaufgeweiteten Laserstrahl schauen - eine Netzhaut Verletzung ist die Folge. Gegebenenfalls ist eine Laserschutzbrille zu verwenden und die Sicherheitsvorschriften sind unbedingt einzuhalten.

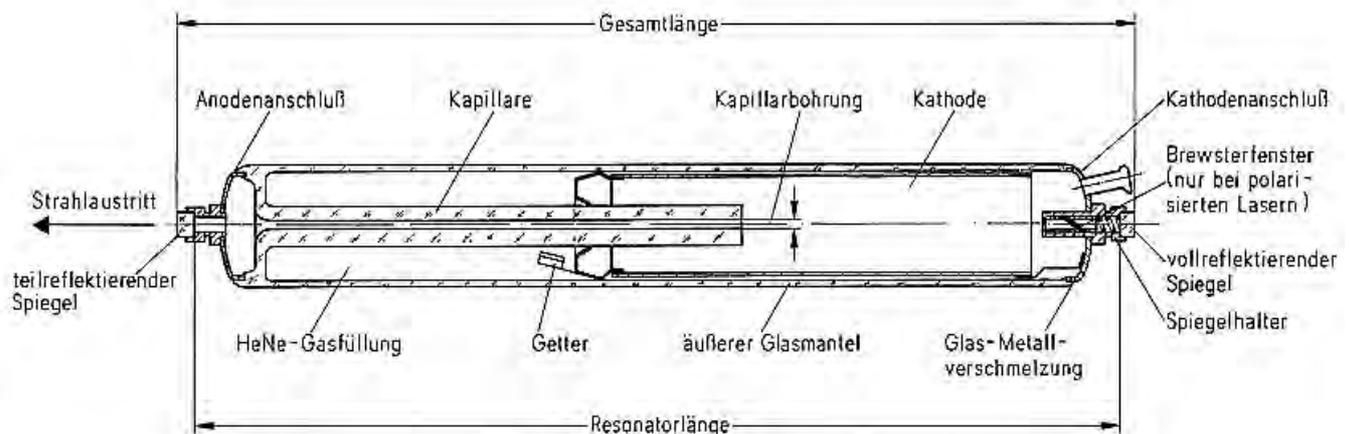
Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation = Lichtverstärkung durch stimulierte Strahlungsemission. Der Laser ist eine Weiterentwicklung des Masers = **M**icrowave **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation - zu kürzeren Wellenlängen.

T.H.Maiman von den Hughes Research Laboratories gelang es erstmals 1960 an einem Rubin den Lasereffekt zu beobachten und schon kurz darauf wurde in den Bell Telephone Laboratories der erste Helium-Neon Laser gebaut. Das Laserlicht ist kohärentes Licht und interferenzfähig. Für die Holografie benötigt man allerdings Laserlicht von Fasengleichheit, welches polarisiert sein muss = Transversalmode **TEM00**. Der He-Ne Laser ist nach wie vor der gebräuchlichste Laser in der Holografie. Ionenlaser und DPSS Laser (diode pumped solid state laser) sind Dauerstrichlaser = cw laser (continuous wave) und emittieren permanent Laserlicht im Gegensatz zum Puls laser, welcher nur einen Lichtblitz in Nanosekunden erstellt. Nur mit dem Puls laser lassen sich bewegte Objekte aufnehmen. Bei Verwendung von cw Lasern benötigt man darüberhinaus noch einen stabilen, schwingungsabsorbierenden Tisch.

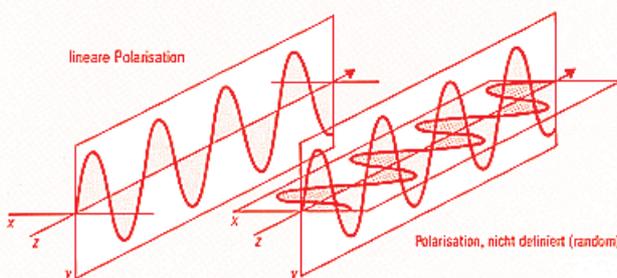
Beispiele für transversale Moden



## Helium-Neon Laser = HeNe Laser



Der HeNe Laser besteht aus einem optischen Resonator und einem aktiven, verstärkendem Medium, welches sich im Resonator befindet. Der Resonator besteht aus einem teildurchlässigen und einem sphärisch gekrümmten Spiegel. Durch den Teildurchlässigen Spiegel tritt der Laserstrahl aus. Das aktive Medium, ein Gemisch aus Helium und Neon, befindet sich in der Laserröhre. In der Gasentladung im He-Ne Gemisch werden die Energieniveaus angeregt. Während der Zeit, in der das Neonatom angeregt wird, kann es dazu stimuliert werden, ein Photon zu emittieren, wenn es von einem äußeren Photon getroffen wird. Das bedeutet, dass das ankommende Photon um eines vermehrt wird, oder anders ausgedrückt, die ankommende Welle wird verstärkt. Der He-Ne Laser emittiert üblicherweise im Bereich von 632,8 nm = Nanometer. In dieser Wellenlänge wird der He-Ne Laser in der Holografie eingesetzt, da auch die entsprechenden Aufnahmematerialien auf diese Wellenlänge sensibilisiert sind, das heißt, in dieser Wellenlänge ist die höchste Empfindlichkeit der Emulsion.



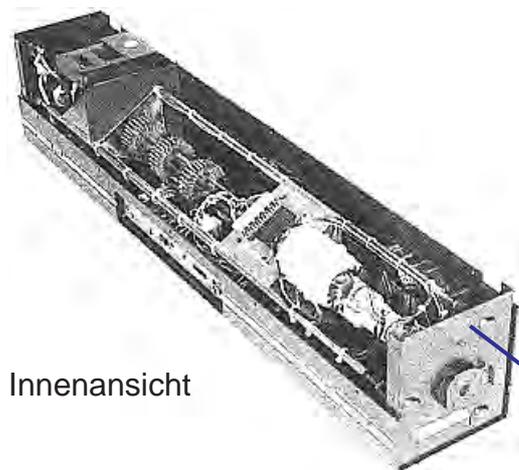
# IONEN LASER



Der Ionen Laser arbeitet im Grundprinzip ähnlich wie der HeNe Laser, allerdings mit wesentlich stärkerem Laserlicht und unterschiedlichen Wellenlängen. Als typische Gase werden **Krypton**- oder **Argon** für die Holografie verwendet. Durch die hohe Ausgangsleistung ist eine Luft- bzw. Wasserkühlung erforderlich. Bedingt durch die hohe Ausgangsleistung ist die Kohärenzlänge sehr gering bis gleich null; daher muss bei diesen Lasern ein **Etalon** eingesetzt werden. Verwendet werden auch sogenannte **Mischgaslaser**, wodurch man die unterschiedlichsten Wellenlängen modifizieren kann = 488nm - 647nm. Der Energieverbrauch ist wesentlich höher als beim HeNe Laser und die Lebensdauer ist geringer.

Argonlaser der kleineren Bauart mit ca. 250 mW und Luftkühlung

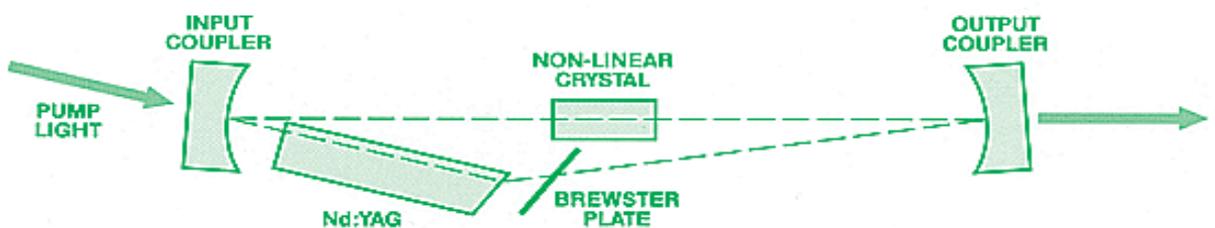
# HELIUM-CADMIUM LASER



Der Helium-Cadmium Laser wird zum Belichten von Fotoresisten verwendet = Vorstufentechnik für die Prägeholografie. Die typische Wellenlänge liegt bei 441,5 nm mit einer Ausgangsleistung von bis zu 75 mW = milliwatt im TEM00 mode.

# DPSS Diode pumped solid state laser

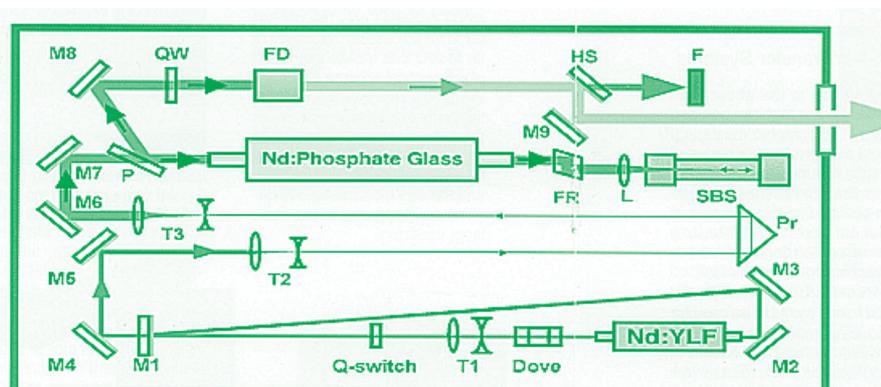
Als Pumpquelle wird ein Diodenlaser verwendet, welcher den Neodym YAG Kristall anregt und durch Frequenzverdopplung im sichtbaren Bereich liegt = 532 nm. Dieser Lasertyp zeichnet sich durch hohe Leistung aus - 10W und hoher Kohärenzlänge - bis zu 30 m. Kleine Bauweise und geringster Energiebedarf. Die Lebensdauer entspricht in etwa der des Ionenlasers, wobei die aufgebrauchten Bauteile leichter zu ersetzen sind. Als Lasermedium wird auch zB. ein Nd:YLF Kristall verwendet.



Aufbauschema eines DPSS Lasers

# PULSLASER

Der erste Pulslaser wurde, wie schon erwähnt 1960 gebaut = Rubinlaser = 690nm. Allerdings haben sich in letzter Zeit Neodympulslaser besser bewährt, da auch der Einsatz der Porträtologie einfacher durch die Wellenlänge von ca. 530 nm wird. Die Hautfarbe beinhaltet Rotanteile wodurch ein schminken der aufzunehmenden Person notwendig wird und deshalb die Natürlichkeit = Oberfläche, beeinträchtigt wird. Als Lasermedium werden Kristalle wie beim DPSS Lasers verwendet. Unterschiedliche Leistungen von einem jule bis sechs jule.

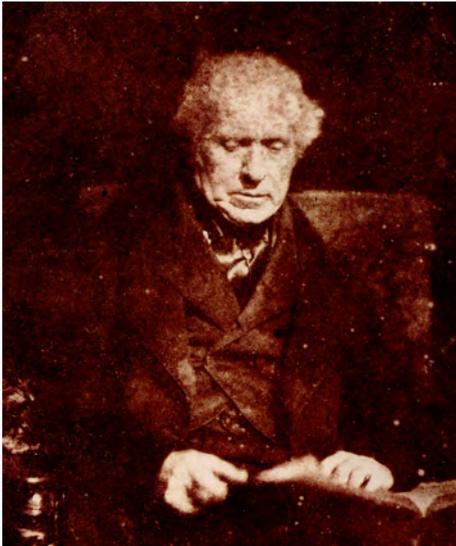
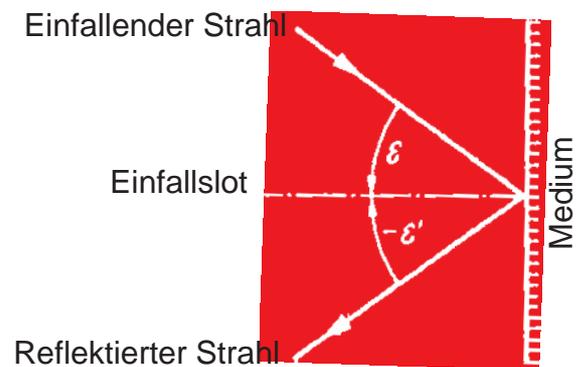


Typischer Strahlengang eines Neodym Pulslasers

# OPTIK

## Reflexionsgesetz

Wenn ein Lichtstrahl auf ein homogenes Medium trifft, so wird ein Teil des Lichtes reflektiert, während der gebrochene Strahl teilweise in das Medium eindringt = **Lichtbrechung**. Das Reflexionsgesetz sagt, dass der Reflexionswinkel so groß wie der Einfallswinkel ist. **Ausfallswinkel = Einfallswinkel**. Wenn der Einfallswinkel einen Grenzwert überschreitet, so kann der Lichtstrahl nicht in das andere Medium übergehen und wird an der Grenzfläche vollständig reflektiert = **Totalreflexion**.



Sir David Brewster um 1844  
Edinburgh, Foto auf Salzpapier

## Das Brewstersche Gesetz

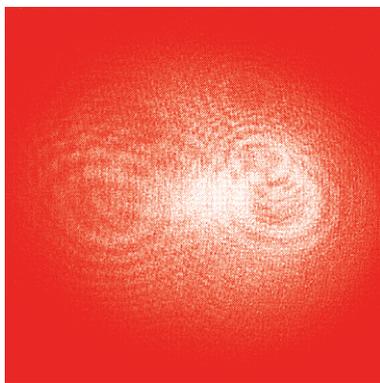
Sir David Brewster, Physiker 11.12.1781 - 10.2.1868 entdeckte 1815 das nach ihm benannte Gesetz. Er untersuchte auch die Fluoreszenz, erfand 1817 das Kaleidoskop und entwickelte das von Wheatstone erfundene Spiegelstereoskop weiter zum Prismenstereoskop.

Brewsterwinkel **56,3°**

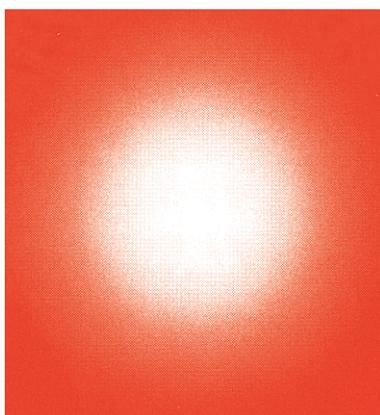
Wenn der Laserstrahl auf eine Glasplatte trifft, so wird er auf der Vorderseite, also beim Auftreffen und auf der Rückseite der Glasplatte reflektiert. Wenn diese Reflexionen aufeinandertreffen, entstehen Auslöschungen und Verstärkungen, welche dunkle Streifen im Hologramm entstehen lassen. Sir David Brewster fand den Winkel mit der geringsten Eigenreflexion = **56,3°**. Der Gegenteilige Winkel zu 90° ist **33,7°** und muss beim Mastering (Referenzstrahl) unbedingt eingehalten werden, da sonst Interferenzstörungen auftreten bzw. keine Hologramm-Aufzeichnung möglich ist. Der Brewsterwinkel ist ebenso in der Lasertechnik unabdingbar und wird als Brewsterfenster bezeichnet.

Für holografische Aufnahmen sollten nur die besten Optiken verwendet werden. Allerdings hat auch die beste Optik optische Fehler, wie zB. Luft- und Staubeinschlüsse, welche bei Anwendungen in der Fotografie fast keine Auswirkungen zeigt, in der holografischen Aufnahme werden jedoch auch die kleinsten Fehler mit aufgezeichnet. Um diese Fehler zu korrigieren, benötigen wir einen sogenannten Raumfilteraufbau mit x y z Verschiebung und eine Lochblende (Pinhole). Die Größe der Lochblende ist abhängig von der Vergrößerung des verwendeten Mikroskopobjektives.

Vergrößerung 10x 25er Lochblende  
Vergrößerung 20x 15er Lochblende  
Vergrößerung 40x 10er Lochblende  
Vergrößerung 60x 5er Lochblende

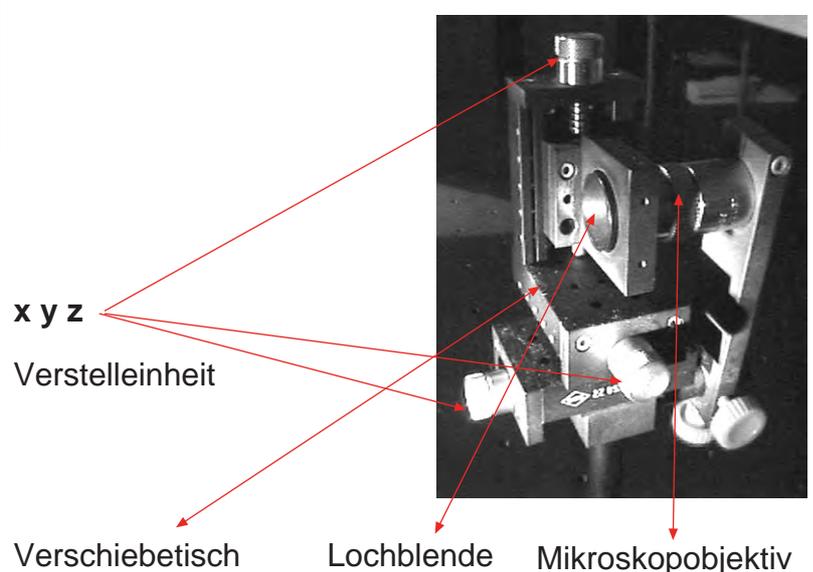


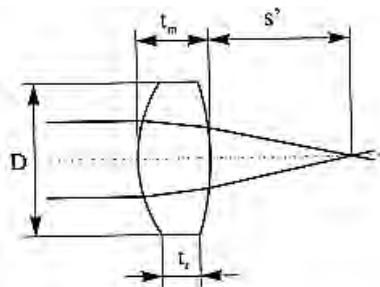
Aufgeweiteter Laserstrahl ohne Korrektur. Die dunklen Ringe sind auf Interferenzen zwischen dem aufgeweiteten Strahl und Streuwellen, verursacht durch Luft- und Staubeinschlüsse sowie Kratzern auf der Optik zurückzuführen. Auch eine gute Reinigung schafft hier keine Abhilfe.



Aufgeweiteter Laserstrahl mit Verwendung einer Lochblende. Alle Störbilder (Abberationen) sind ausgefiltert.

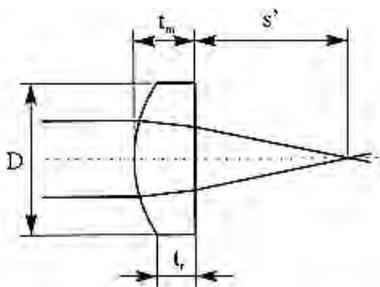
Raumfilteraufbau





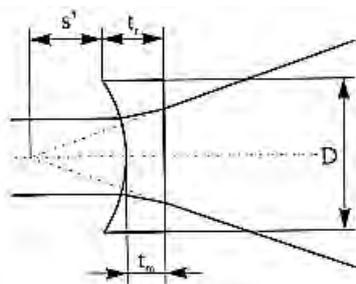
## Bikonvexlinse

Eine positive und konvergierende Meniskuslinse, wobei das Zentrum stärker als der Rand ist. Diese Linsen werden in der Augenoptik eingesetzt und die Stärke in Dioptrien angegeben



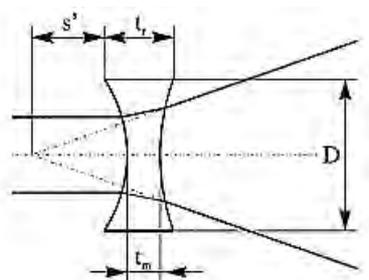
## Plankonvexlinse

Wird zur Kollimierung vom aufgeweiteten Laserstrahl verwendet um Verzerrungen im Master und H2 zu vermeiden. Die Brennweite wird durch ein Schattenbild (Projektion) festgestellt



## Plankonkavlinse

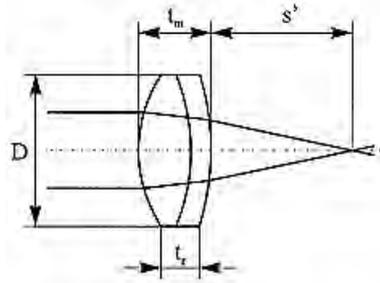
Wird zur Aufweitung des Laserstrahles verwendet, mit geringeren Abbildungsfehlern



## Bikonkavlinse

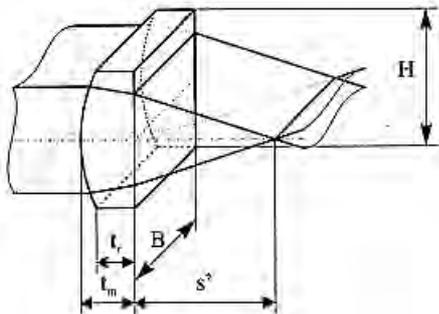
Ähnliche Eigenschaften wie die Plankonkavlinse. Mit sehr geringen Abbildungsfehlern

# OPTIK



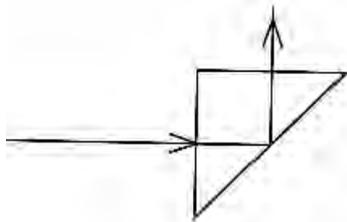
## Achromat

Wird in optischen Systemen verwendet -  
Fotografie -Mikroskopie usw.



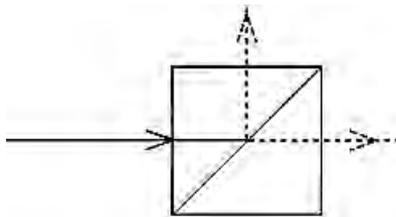
## Zylinderlinse

Wird bei Regenbogenhologrammen eingesetzt  
um aus dem Laserpunkt einen Laserstrich  
zu erzeugen. Unterschiedliche Brennweiten



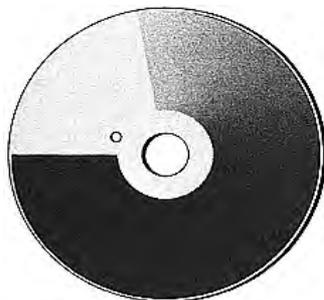
## Spiegelprisma

Lenkt den Laserstrahl im rechten Winkel um



## Strahlteilerwürfel

Teilt den Laserstrahl in zwei Strahlen auf und ist  
auch als variabler Strahlteiler erhältlich.  
Besonders gut geeignet bei justiertem Raumfilter,  
da der Laserstrahl im Winkel unverändert bleibt



## Variabler Strahlteiler

Glasscheibe welche den Transmissions- bzw.  
Reflexionsgrad kontinuierlich verstellt - ca. 10mm  
dick um den entstehenden zweiten Reflexstrahl  
des Lasers sichtbar zu haben, wobei eine gute  
Justierbarkeit gewährleistet ist



## Strahlabschwächer

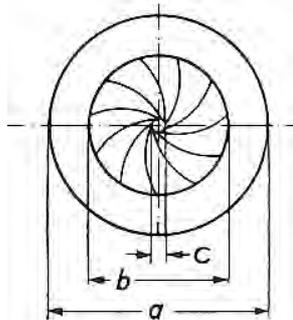
Wird zum Abschwächen des Referenz-  
oder Objektstrahles verwendet. Glassubstrat  
ca. 2mm dick und als Strahlenteiler ungeeignet

# OPTIK



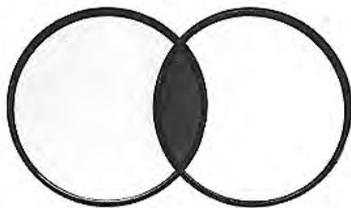
## Mikroskopoptik

Zum Aufweiten des Laserstrahls. Wird in einem Raumfilter mit xyz Verstelleinheit eingesetzt. Unterschiedliche Aufweitung 10x 20x 25x 30x 40x



## Irisblende

Lamellen, welche kontinuierlich verstellbar sind. Wird nach der Aufweitung des Laserstrahls verwendet um Streulicht zu vermeiden



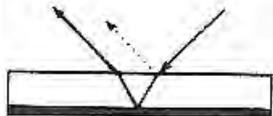
## Polfilter

Durch das Umlenken des Laserstrahls wird auch die Polarisation leicht verändert und mit dem Polfilter in die ursprüngliche Lage gebracht



## Oberflächenplanspiegel

Sind silber oder gold beschichtet mit sehr hoher Oberflächengenauigkeit um den Laserstrahl umzulenken. Achtung! Kratzempfindlich und darf nur mit speziellen Optikreinigern behandelt werden



## Spiegel

Hier ist die Verspiegelung auf der Rückseite um sie vor Kratzer und Beschädigung zu schützen. Für die Holografie ungeeignet



## Lochblende = Pinhole

Wird vor der Mikroskopoptik im Raumfilteraufbau eingesetzt und in den Brennpunkt gebracht, wodurch Fehler in der Optik korrigiert und ausgefiltert werden



Chemikalien können Ihre Gesundheit gefährden. Unsere ersten Versuche werden mit fertigen Entwicklern, Fixierern und Bleichbädern stattfinden. Die verwendeten Chemikalien sind nicht toxisch, trotzdem sollten Sie nur mit Handschuhen arbeiten. Verbrauchte Entwickler, Fixierer und Bleichbäder sind in die bereitgestellten Behälter zu geben. In der Dunkelkammer ist äußerste Reinheit geboten. In der Holografie werden teilweise noch immer sehr giftige Chemikalien verwendet wie z.B. Parabenzochinon für Bleichbäder, oder Pyrogallol für Entwickler. Der Wirkungsgrad des Hologramms ist ein wenig höher, was allerdings den Einsatz von giftigen Chemikalien keinesfalls rechtfertigt.

**WGK** - Wassergefährdungsklassen

0 = im allgemeinen nicht wassergefährdende Stoffe  
1 = schwach wassergefährdende Stoffe  
2 = wassergefährdende Stoffe  
3 = stark wassergefährdende Stoffe

**Achten Sie auf die Gefahrensymbole !**

## MATERIALKUNDE

Da die größten Hersteller von holografischen Materialien (silberhalogenide Schichten) ihre Produktion eingestellt haben - Agfa, Ilford usw. - verwenden wir zurzeit russische Platten und Filme. Diese Materialien sind in der Verarbeitung sehr ähnlich und die Qualität ist ausgezeichnet. Wir verwenden PFG-01. Diese Platten sind wesentlich lichtempfindlicher als PFG-03 wodurch sich die Belichtungszeiten verkürzen. PFG-03 ist in der Verarbeitung auch um einiges schwieriger, da die Gelatineschicht stark aufquillt und man Fixierhärter verwenden muss.

PFG-01 wird auf Dichte entwickelt = log 2,5 und gebleicht PFG-03 erfordert eine Entwicklungszeit von ca. 15 Minuten und es erfolgt keine Schwärzung, ca. 2 Minuten fixieren.

**Holografische Aufnahmematerialien**

**Silberhalogenide Schichten - Glas und Film**  
**Dichromat Gelatine - Glas**  
**Fotopolymere - Film**  
**Fotoresist - Fotolack**  
**Thermoplaste**

Wenn mit Chemikalien gearbeitet wird, ist äußerste Vorsicht geboten. Die Etiketten müssen Gefahrensymbole aufweisen und bei der Handhabung sind Handschuhe zu tragen. Weiters ist auf eine gute Durchlüftung zu sorgen und Reinlichkeit ist geboten. Chemikalien sind nach deren Verwendung wieder fest zu verschließen und Kindersicher aufzubewahren. Kühl lagern. Die Rezepturen sind unbedingt einzuhalten und in der angegebenen Reihenfolge beizumischen. Die Chemikalie muss immer vollständig aufgelöst sein, bevor man die nächste beimischt. **Achtung !** Immer Chemie ins Wasser - nie umgekehrt, auch wenn in der angegebenen Reihenfolge der Rezeptur Wasser zum Schluss steht. Wir arbeiten vornehmlich mit silberhalogeniden Schichten - rot und grün empfindlich.

Gesundheitsschädliche  
Stoffe



Einatmen, Verschlucken oder Aufnahme durch die Haut ist gesundheitsschädlich. Möglichkeit irreversiblen Schadens durch einmalige, wiederholte oder längere Exposition. Jeglichen Kontakt mit dem Körper vermeiden und bei Unwohlsein den Arzt aufsuchen.

Ätzende Stoffe



Lebendes Gewebe, aber auch viele Materialien werden bei Kontakt mit diesen Chemikalien zerstört. Dämpfe nicht einatmen und Berührung mit der Haut, Augen und Kleidung vermeiden.

Brandfördernde  
Stoffe



Brandfördernde Stoffe können brennbare Stoffe entzünden oder ausgebrochene Brände fördern und so die Brandbekämpfung erschweren. Jeden Kontakt mit brennbaren Stoffen vermeiden.

Sehr giftige Stoffe



Nach einatmen, Verschlucken oder Aufnahme durch die Haut treten Gesundheitsschäden erheblichen Ausmaßes oder gar Tod ein. Möglichkeit irreversiblen Schadens durch einmalige, wiederholte oder längere Exposition. Jeglichen Kontakt mit dem menschlichen Körper, auch Einatmen der Dämpfe, vermeiden und bei Unwohlsein sofort den Arzt aufsuchen.

## Verarbeitung = 633nm

Entwickeln - wassern - härten - wassern - fixieren -  
wassern - Trocknerbad

### Entwickler GP-2 Stammlösung (PFG-03M)

Diese Stammlösung ist  
ca. 1 Jahr haltbar

100g Natriumsulfit wasserfrei  
0,2g Methylphenidon  
5g Hydrochinon  
12g Ammonium-Thiosyanat  
5g Kaliumhydroxid  
+ 1l destilliertes Wasser

**Gebrauchslösung** = 15ml Stammlösung + 400ml destilliertes Wasser  
Diese Gebrauchslösung kann nur einmal verwendet werden

### Alternativentwickler

**Ilfotec HC** von Ilford laut Hinweisen auf der Flasche

### HT.D 15 (PFG-01)

2g Metol  
35g Natriumsulfit wasserfrei  
3g Hydrochinon  
10g Kaliumkarbonat  
7g Kaliumhydroxid  
+ 1l destilliertes Wasser

**Fixierer** 160g Natriumthiosulfat - kristallin  
40g Kaliumdisulfit  
+ 1l destilliertes Wasser

**Alternative** Ilford Hypam Fixierer und Ilford rapid hardener

**Härter** 750ml destilliertes Wasser  
10ml Formalien 37%  
2g Natriumbromid  
5g Kaliumkarbonat wasserfrei  
auffüllen zu einem Liter mit destilliertem Wasser

**Trocknerbad** Fotoflo zB. Agfa Agepon

Die Entwicklungszeit hängt von der jeweiligen  
Belichtungszeit ab und ist daher auszutesten.  
Grundsätzlich arbeitet der GP-2 Entwickler sehr  
langsam ca. 15 Minuten gegenüber dem HT.D 15.  
Wenn mit GP-2 gearbeitet wird bleibt die Schale ohne  
Bewegung und es wird nicht gebleicht. Fixieren  
erforderlich.

HT.D 15 ist ein rapid Entwickler und die Schale wird  
in Bewegung gehalten. Es muss gebleicht werden.

Verarbeitung VRP-M = 530nm  
PFG-01 = 633nm

Entwickler SM - 6 Entwickeln - 2 Minuten wassern - bleichen - 2 Minuten wassern - Trocknerbad

18g Vitamin C  
12g Natriumhydroxid  
6g Phenidon  
28,4g Natrium phosphat  
+ 1l destilliertes Wasser

Alternative HT.D 15

Bleichbad PBU-Amidol  
10g Kaliumpersulfat  
50g Zitronensäure  
1g Kupferbromid  
20g Kaliumbromid  
1g Amidol  
+ 1l destilliertes Wasser

Alternative EDTA  
(Reversbleichbad)  
100g Aethylendiamin-tetraessigsäure Eisen(III)  
Natriumsalz (EDTA)  
20g Kaliumbromid  
+ 1l destilliertes Wasser

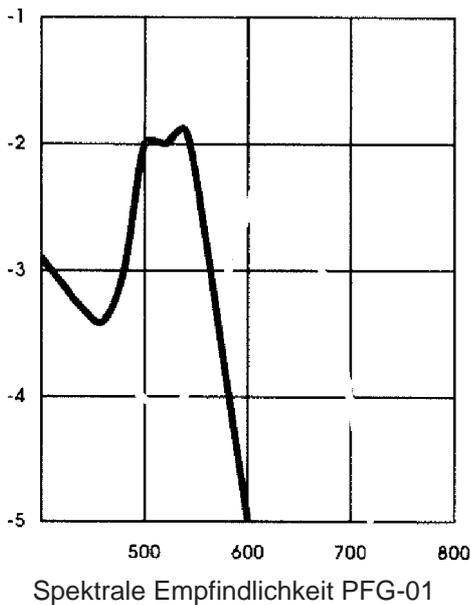
Kaliumdichromat Bleicher  
(Totalbleicher)  
1l destilliertes Wasser  
4ml konzentrierte Schwefelsäure  
4g Kaliumdichromat

Trocknerbad Fotoflo zB. Agfa Agepon

Alternative  
2 Minuten 50% Alkohol  
2 Minuten 75% Alkohol  
2 Minuten 96% Alkohol

Die Entwicklungszeit hängt von der jeweiligen Belichtungszeit ab. Es wird sehr dicht entwickelt = log 2,5 und es muss gebleicht werden. Beide Entwickler sind nur kurz haltbar und zwischen 3-5x verwendbar. Das PBU-Amidol Bleichbad arbeitet rascher als EDTA kann aber nur einige male verwendet werden, wobei das EDTA Bleichbad nahezu unbegrenzt haltbar ist. Gebleicht wird bis zur vollständigen Klarheit der Platte.

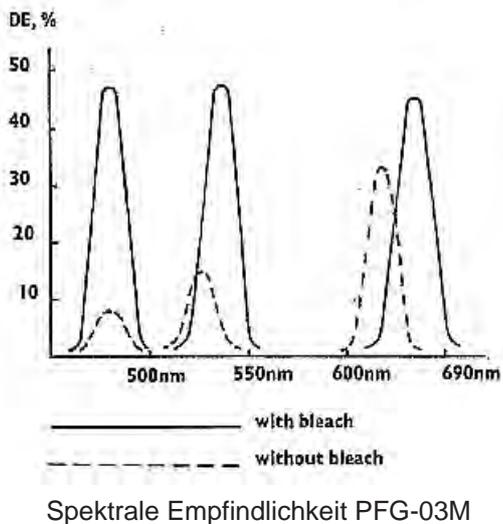
# AUFNAHMEMATERIALIEN



**Silberhalogenide Schichten** auf Glas für Einzelstücke und Kleinserien, größere Stückzahlen auf Film. Standardmaterial der Holografie mit einem Wirkungsgrad von ca. 45%. Hologrammgröße bis 1m x 1m. Rot bzw. grün empfindlich.

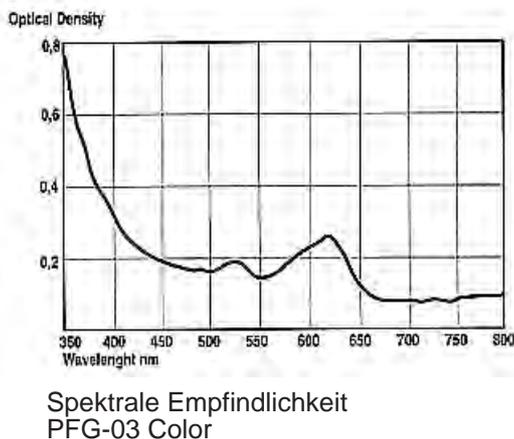
**Dichromathologramme** bestehen aus einer kornlosen Eiweißschicht und werden ausschließlich auf Glas gefertigt zB. Schmuckhologramme, Kleinserien. Wirkungsgrad bis zu 95%. Extrem hoher Betrachtungswinkel und schon bei schlechten Lichtverhältnissen sehr gut sichtbar. Hologrammgröße bis 40cm x 50cm. Sehr geringes Rauschen.

**Fotopolymerhologramme.** Geeignet für größere Serien mit hohem Wirkungsgrad - ca. 90% und sehr großem Betrachtungswinkel. Hologrammgröße bis 30cm x 40cm. Die spektrale Empfindlichkeit liegt bei grün. Es sind auch Echtfarbpolymerer erhältlich.



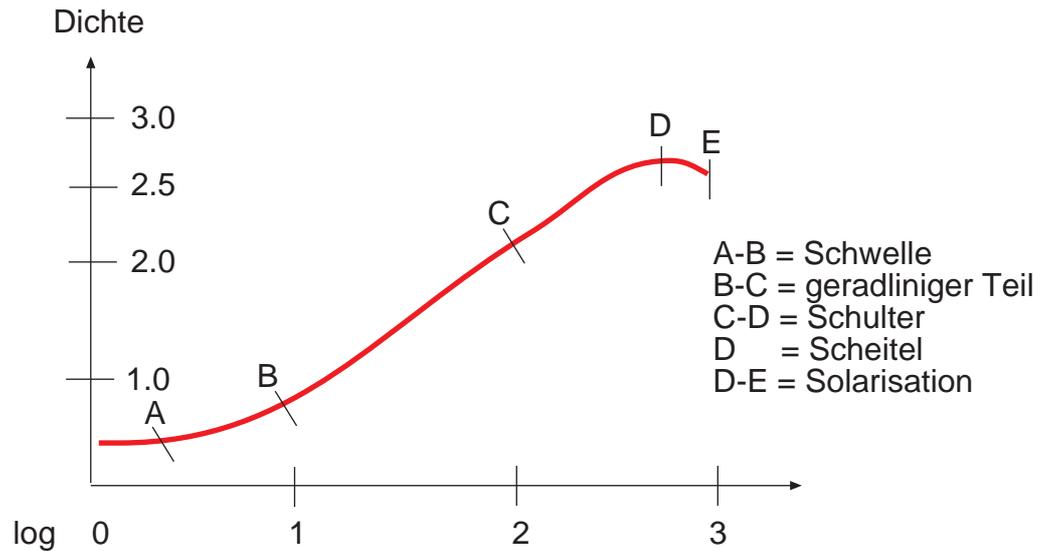
**Fotoresist** zur Herstellung von Prägehologrammen - Einzelstück. Die spektrale Empfindlichkeit liegt bei 488 Nm und wird mit einem Helium-Cadmium Laser belichtet.

**Echtfarbholografie.** Silberhalogenide Schichten - Fotopolymer - lichtempfindlich für rot / grün / blau. Einzelstück und Kleinserien. Hologrammgröße bis 30cm x 40cm Farbhologramme lassen sich grundsätzlich mit allen oben angeführten Schichten aufnehmen, wobei es sich nicht um Echtfarben handeln muß. Für Echtfarbhologramme werden drei Laser in unterschiedlichen Wellenlängen benötigt - 488 Nm - 530 Nm - 633 Nm ( Nm = Nanometer)



**Fotothermoplaste** werden in der Echtzeit Interferometrie eingesetzt. Vorteil dieses Materials ist der schnelle Zugriff der Information und die Wiederbeschreibbarkeit. Nachteil ist der geringe Beugungswirkungsgrad. Es sind keinerlei Chemikalien erforderlich. Die Entwicklung erfolgt durch Wärme und das Löschen durch Abkühlung. Das Material wird durch Aufsprühen einer elektrischen Ladung sensibilisiert. Bei der Hologrammaufzeichnung werden die Stellen, an denen Licht auftrifft, leitend und die Ladungen können bis zur thermoplastischen Isolierschicht abfließen.

## Schwärzungskurve



Beim Entwickeln von Hologrammen unterscheiden wir:

### Entwicklung auf Dichte und entwickeln auf Zeit.

**PFG-03M** wird auf Zeit entwickelt, da keine Schwärzung erfolgt. Die Entwicklungszeit ist abhängig von Belichtungsdauer und Laserstärke. Typische Entwicklungszeit ist ca. 15-20 Minuten. Bei Betrachtung der entwickelten Platte ist beim Dunkelkammerdurchlicht ein Grating sichtbar. Steigt der Wirkungsgrad des Gratings nicht mehr an, so ist der Entwicklungsvorgang beendet. Anschließend 2 Minuten wässern und fixieren.

Entwickeln auf Dichte zB. **PFG-01**

Je nach Entwicklertyp und Belichtungszeit steigt die Gradationskurve steiler an.

A-B = Schwelle = **erste Schwärzung**

B-C = geradliniger Teil = **kontinuierliche Schwärzung**

C-D = Schulter = **Entwicklungsabschluss**

D-E = Solarisation = **Übersteuerung und Qualitätsabbau**

Das beste Ergebnis liegt zwischen log 2.0 und log 2.5

Bei Transmissionshologrammen wird grundsätzlich nicht so dicht entwickelt = log 2.0

Reflexionshologramme log 2.5

Anschließend bleichen mit einem Reversal- oder Totalbleicher.

Der Reversalbleicher wird bei Transmissionshologrammen angewendet und wandelt das belichtete Silberhalogenid um. Der Totalbleicher löst das belichtete Silberhalogenid aus der Schicht. Der Totalbleicher bewirkt einen höheren Wirkungsgrad verstärkt aber das Rauschen im Hologramm.

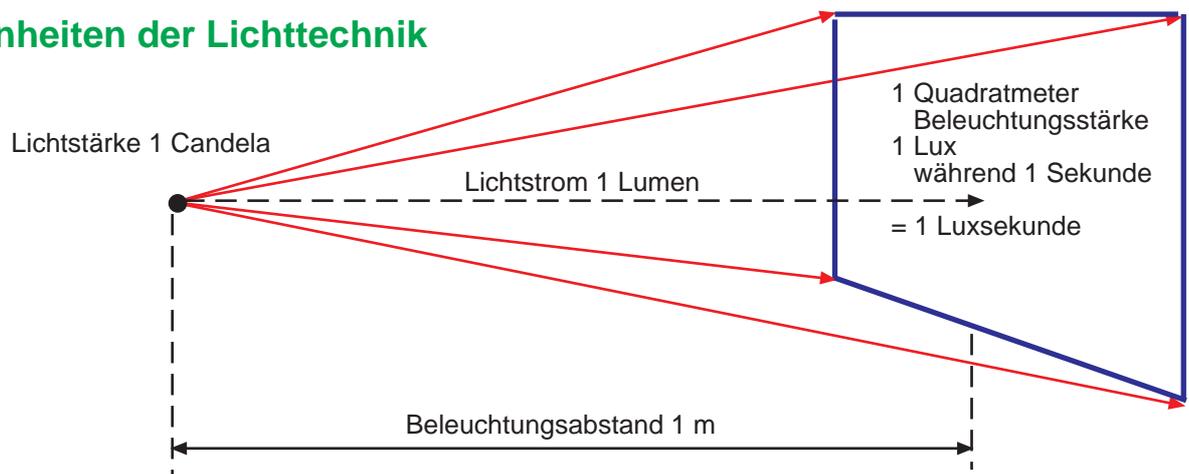
# Sensitometrie

Das Wissensgebiet der Sensitometrie befasst sich mit der Messung der chemischen und physikalischen Einwirkung des Lichtes auf fotografische (holografische) Schichten.

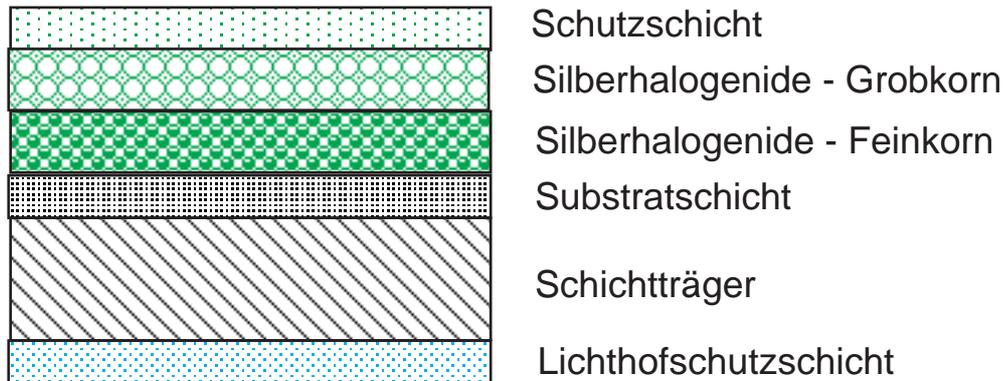
## Einheiten der Lichttechnik

Die Lichtenergie die von einer Lichtquelle ausgestrahlt wird, bezeichnet man mit **Lichtstärke**, ihre Einheit ist die **Candela (cd)**. Als grober Vergleichswert kann man bei Kunstlicht 1 Candela der elektrischen Leistung von einem halben Watt gleichsetzen. Der von einer Lichtquelle ausgehende Strom von Lichtquanten heißt Lichtstrom und die Maßeinheit ist das **Lumen (lm)**. Die Lichtenergie welche auf einem Körper auftrifft, heißt **Beleuchtungsstärke** und wird in der Maßeinheit **Lux (lx)** ausgewiesen. Die Verhältnisse sind sehr einfach. Eine punktförmige Lichtquelle mit der Stärke von 1 Candela sendet einen Lichtstrom von 1 Lumen aus. In 1 Meter Entfernung herrscht dann eine Beleuchtungsstärke von 1 Lux. Da in der Holografie nicht nur die Beleuchtungsstärke wichtig ist, sondern auch die Zeitdauer, während der Laserlicht auf die lichtempfindliche Schicht einwirkt, hat man noch einen Wert für die Belichtung definiert, die **Luxsekunde (lx·s)**. Es ist dies der Einfall von Lichtenergie, der eine Beleuchtungsstärke von 1 lx während 1 Sekunde erzeugt.

### Einheiten der Lichttechnik



# Silberhalogenider Schichtaufbau



**Schutzschicht** = schützt die in Gelatine eingebetteten Silberhalogenide

**Silberhalogenide** = bei hochauflösenden Materialien werden unterschiedliche Größen von Silberhalogeniden Kristallen eingesetzt

**Substratschicht** = verbessert die Haftung der Gelatine

**Schichtträger** = Glas, Film (150 micron tri-acetat bei PFG-01)

**Lichthofschutzschicht** = verhindert die nochmalige Belichtung durch Lichtbrechung

Die Empfindlichkeit von PFG-01 liegt bei 3.000 Linien, Korngröße 8-12nm. Dieses Material wird bei Transmissions- und Reflexionshologrammen eingesetzt. Bleichen erforderlich. Die Empfindlichkeit von PFG-03M liegt bei 5.000 Linien, Korngröße 40nm. Die Gelatine quillt sehr stark auf, wodurch ein Härterbad erforderlich ist. Kein bleichen, dafür muss fixiert werden. Ein Fixierhärterbad wird empfohlen.

Je höher die Auflösung des Materials ist, desto länger muss belichtet werden, da ja wesentlich mehr Silberhalogenide Kristalle (Körner) belichtet werden müssen = Verwacklungsgefahr steigt bei schwächeren Lasern, besonders bei Filmmaterial. Filme werden zwischen zwei Glasplatten gegeben, gegebenenfalls mit einer index matching fluid um die Planlage zu verbessern. Wenn das verwendete Material keine Lichthofschutzschicht aufweist, wird die Glasseite des Materials mit einer schwarzen Folie abgedeckt und dadurch eine doppelte Belichtung vermieden. Nur bei Transmissionshologrammen.

1. Die Trocknung der Hologramme erfolgt durch ein Netzmittelbad (zB. Agepon) und die Platte (Film) wird hochkant gestellt.
2. Abrakeln mit einer Gummirakel und anschließend Föntrocknung.
3. Alkoholbäder.
  - 1.Bad 50% Alkohollösung zwei Minuten
  - 2.Bad 75% Alkohollösung zwei Minuten
  - 3.Bad 96% Alkohol zwei Minuten und Lufttrocknung

Das wichtigste Merkmal eines lichtempfindlichen Materials ist die Empfindlichkeit auf Licht, im Gegensatz zur Spektralempfindlichkeit (Sensibilisierung). Diese Lichtempfindlichkeit ist genormt.

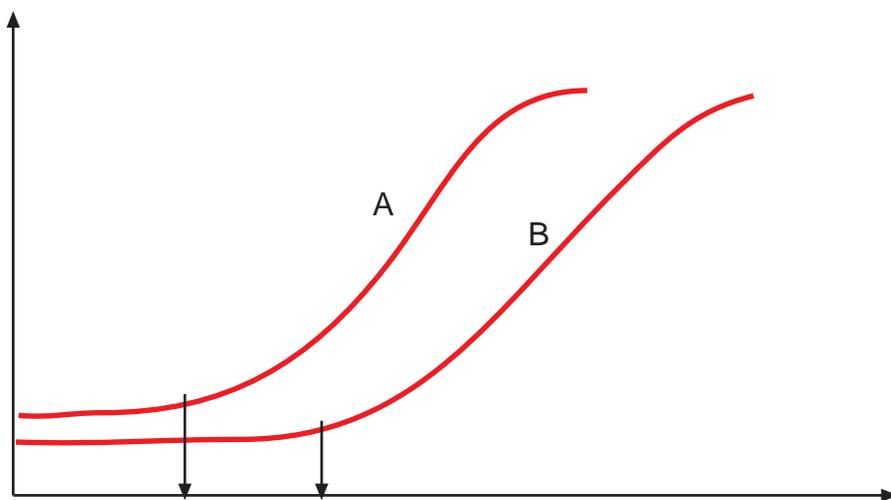
**DIN** = Deutsche Industrie Norm

**ASA** = American Standard Association

Je empfindlicher das Material ist, desto steiler ist die Gradationskurve. Bei sogenannten high speed Entwicklern steigt diese Gradationskurve noch steiler an, die Körnung wird auch etwas gröber. In der Holografie wird das Rauschen verstärkt.

1	=	1
2	=	1,2
3	=	1,6
4	=	2
5	=	2,5
6	=	3
7	=	4
8	=	5
9	=	6
10	=	8
11	=	10
12	=	12
13	=	16
14	=	20
15	=	25
16	=	32
17	=	40
18	=	50
19	=	64
20	=	80
21	=	100
22	=	125
23	=	160
24	=	200
25	=	250
26	=	320
27	=	400
28	=	500
29	=	650
30	=	800
31	=	1.000
32	=	1.250
33	=	1.600
34	=	2.000
35	=	2.500
36	=	3.200

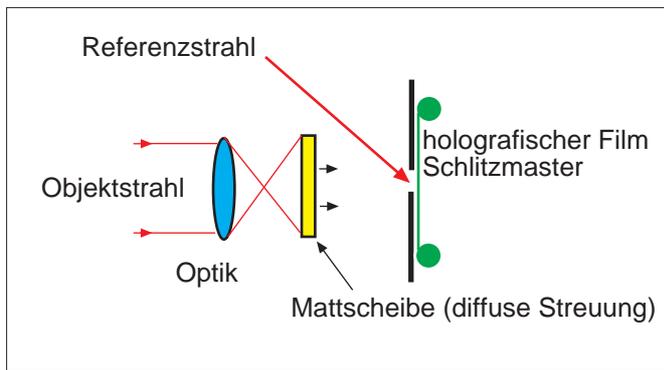
Kurvenvergleich unterschiedlich empfindlicher Materialien



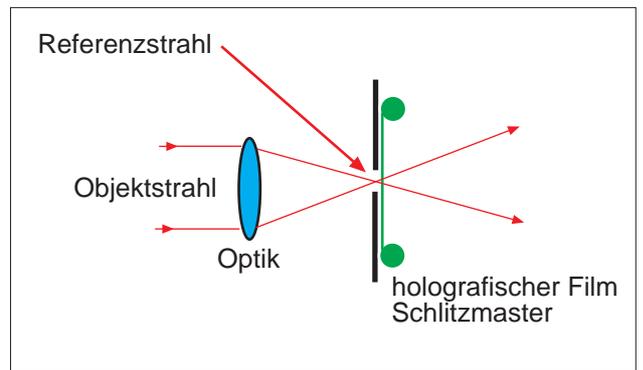
A = hochempfindliches Material zB. PFG-01  
B = niedrigempfindliches Material zB. PFG-3M

# HOLOGRAFISCHE Projektion

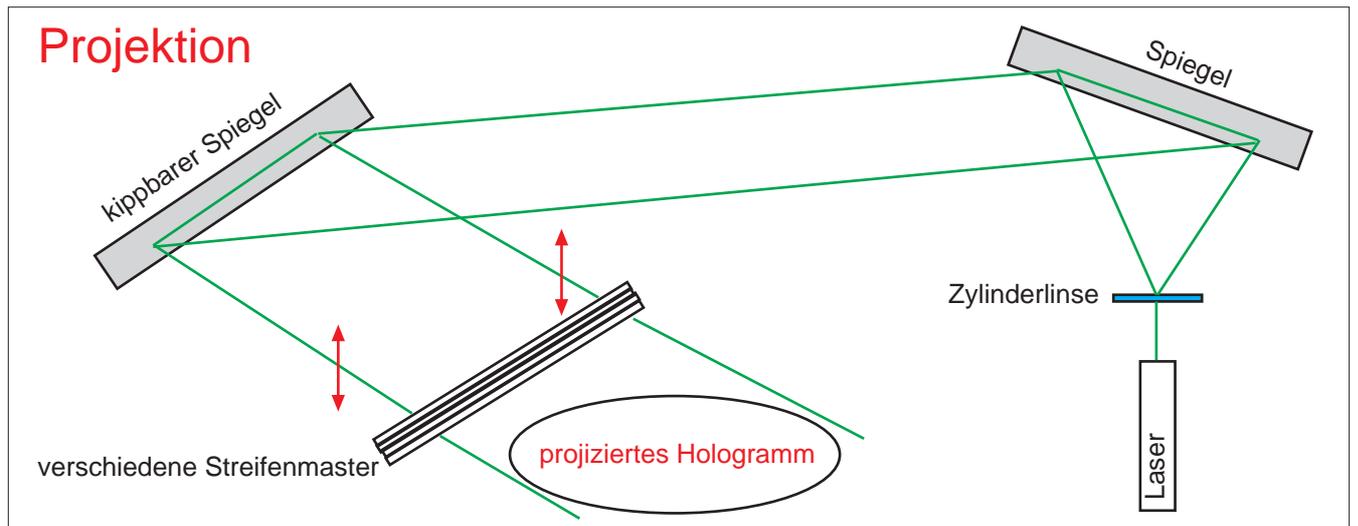
Sämtliche Hologrammarten wie bisher beschrieben, werden nach der Ausarbeitung als dreidimensionales Bild gesehen. Die Firma Xetos AG (BRD) entwickelte nach einigen Forschungsjahren ein System welches es erlaubt holografische Stereogramme in den Raum zu projizieren - 2003. Der grundlegende Unterschied liegt darin, dass das Streifenmaster nicht über eine Mattscheibe (Objektstrahl) auf das Filmmaterial gebracht wird, sondern mittels einer Optik schon in der gewünschten Größe auf das Material projiziert wird. Beim Einsatz von Mattscheiben ist die Größe limitiert, da diese der Größe des Endproduktes entspricht. Durch eine optische Projektion kann die Größe des Endproduktes durch unterschiedliche Brennweiten bestimmt werden. Wichtig ist, dass das Master einen hohen Beugungswirkungsgrad aufweist. Deshalb werden in diesem Projektionsverfahren Folopolymere eingesetzt.



Projektion über eine Mattscheibe



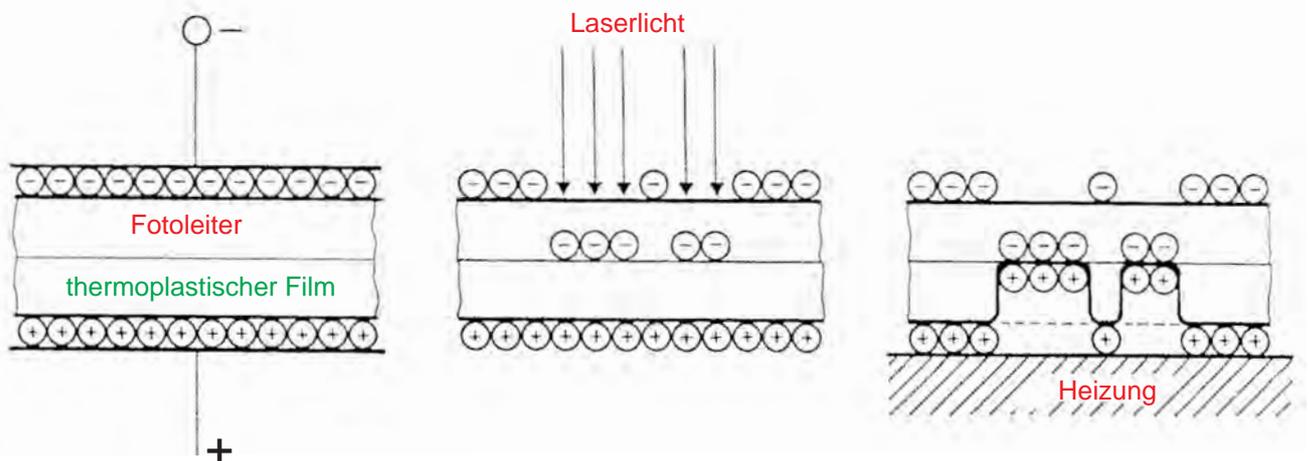
Transmissionsverfahren



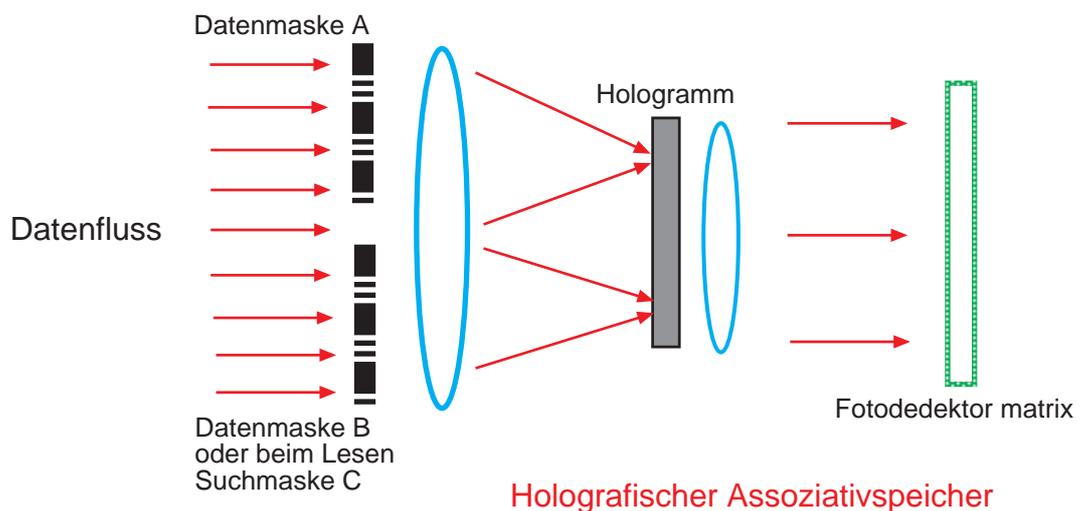
Die Streifenmaster können in beliebiger Länge hergestellt werden (bis zu drei Metern). Diese verschiedenen Streifenmaster werden untereinander gereiht und der kippbare Spiegel bewirkt, dass der Laserstrich, wie beim Regenbogenhologramm beschrieben, unterschiedliche Motive in den Raum projiziert werden können. Da es sich hier um ein Lasertransmissions Hologramm handelt, gibt es keinerlei Unschärfen und die Tiefe des Hologramms kann einige Metern betragen, das heißt der Betrachter kann sich innerhalb dieses Hologramms befinden. Es sind dies die bisher größten Hologrammprojektionen und die Motivwahl kann frei gewählt werden. Die Grundaufnahmen sind Multiplexhologramme welche mittels Video, Film oder Foto hergestellt werden. Durch die Größe der Projektion wird auch ein starker Laser verwendet. Vornehmlich ein DPSS Laser (grün) mit einer Leistung von zwei bis fünf Watt.

# HOLOGRAFISCHE SPEICHER

Wie bereits bekannt, wissen wir, dass im Masterhologramm (Lasertransmissions Hologramm) die gesamte Information in jedem Punkt des Hologramms gespeichert ist. Wird das Masterhologramm in zwei Hälften zerschnitten, bleibt in jeder Hälfte die Gesamtinformation enthalten. Einzig die Bildinformation wird kleiner (nicht geringer) und benötigt einen veränderten Beleuchtungswinkel. Diese Tatsache ermöglicht der Holografie ungeahnte Möglichkeiten als Datenspeicher. Da dieses Volumen hologramm (dickes Hologramm) auch in der Tiefe Speicherungen zulässt, mit verändertem Referenzstrahl die Daten auch überanderliegen, ist die Kapazität unerreichbar. In der Holografischen Echtzeit Interferometrie werden die Daten auf einem Fotothermoplast gespeichert, welche einen Wiedergabezyklus von bis zu 12 Hologrammen in der Sekunde zulassen. Diese Materialien benötigen keinerlei chemische Behandlung, da die Entwicklung des Hologramms durch Wärme erfolgt. Der Beugungswirkungsgrad liegt bei ca. 30% bei einer Raumfrequenz von 850 Linien per mm. Durch abkühlen des thermoplastischen Films wird die Aufzeichnung wieder gelöscht.



Das ideale Material als Datenspeicher ist das Fotopolymer. Bislang war aber dieses Material nicht wieder bespreibar. Den letzten Forschungsberichten nach ist es gelungen wiederbeschreibbare Fotopolymere herzustellen. Dies ermöglicht nun völlig neue Perspektiven und Anwendungen. Einziges Problem sind noch die Herstellungskosten und der Aufwand.



Im holografischen Assoziativspeicher benötigt man eine Datenmaske **A** welche den Datensatz enthält und eine Referenzmaske **B**. Das Hologramm enthält die Daten von **A** und kann als Suchwort bezeichnet werden. Wenn die Daten- und Referenzmuster gleich sind, ist eine Rekonstruktion möglich. Beim Datenzugriff wird die Suchmaske **C** verwendet. Durch Wechseln der Suchmaske **C** kann festgestellt werden, ob die Informationen übereinstimmen.

# HOLOLEXIKON 1

<b>Abberation</b>	Veränderung der Abbildung, verursacht durch Fehler in einem optischen System.
<b>Achromatisch</b>	Schwarz - weiss - farblos
<b>Additive Farbmischung</b>	Überlagerung von Farben zur Erzeugung neuer Farben
<b>Akustische Holografie</b>	Produktion von akustischen Wellen in der Holografie
<b>Amplitude</b>	Tiefste und Höchste Stelle eines Wellenberges oder Wellentales
<b>Argon Laser</b>	Dauerstrichlaser von blau bis grün
<b>Astigmatismus</b>	Verzerrung einer Abbildung
<b>Auflösung</b>	Empfindlichkeit von Emulsionen
<b>Aufweitung</b>	Optisches System zur Vergrößerung des gebündelten Laserstrahls
<b>Aperture</b>	Offene Blende
<b>Beugung</b>	Richtungsänderung einer Lichtwellenfront am Objekt
<b>Beugungswirkungsgrad</b>	Helligkeit eines Hologramms
<b>Bikonkav</b>	Eine Linse bei der beide Flächen nach innen gewölbt sind
<b>Bikonvex</b>	Eine Linse bei der beide Flächen nach außen gewölbt sind
<b>Bildebenen hologramm</b>	H2 = Hologramm der Zweiten Generation von einem Master
<b>Bleichbad / Bleach</b>	Größere Helligkeit des Hologramms durch Umkehrung in ein Fasenhologramm
<b>Brennweite</b>	Abstand des Brennpunktes eines optischen Systems zum zugeordneten Hauptpunkt
<b>Brewster Winkel</b>	Geringster Reflexionswinkel = 56,3°
<b>Candela</b>	Einheit der Lichtstärke
<b>Computergeneriertes Hologramm</b>	Synthetisches Hologramm mit Belichtung über den Computer
<b>Continues wave Laser = cw</b>	Dauerstrich Laser
<b>Lloyd Cross = Cross Hologramm</b>	Erfinder des holografischen Stereogramms
<b>Dauerstrichlaser</b>	Laser der kontinuierlich Strahlung aussendet - emittiert
<b>Denisyuk Hologramm</b>	Erstes Weißlicht-Reflexionshologramm
<b>Dichromat Gelatine</b>	Kornlose Eiweißemulsion für hellste Hologramme
<b>Dichte</b>	Entwicklungszustand eines Hologramms
<b>Diffraction Grating</b>	Überlagerung zweier Wellen auch ohne Modell
<b>Diodenlaser</b>	Halbleiterlaser
<b>Diffraktion</b>	Richtungsänderung einer Wellenfront beim Auftreffen auf ein Objekt
<b>Diffusor</b>	Zerstreuungslinse
<b>Durchstimbare Laser - Farbstofflaser</b>	Abstimmbarer Laser
<b>Ebene Welle</b>	Kollimierter, aufgeweiteter Laserstrahl
<b>Echtfarbenhologramm</b>	Ein Hologramm, welches die natürlichen Farben des Objektes wiedergibt
<b>Einstrahl Hologramm</b>	Hologramm ohne Strahlteiler - Gabor Inline / Denisyuk Hologramm
<b>Empfindlichkeit</b>	Energiewert zur Schwärzung von Silberhalogeniden Materialien
<b>Emulsion</b>	Lichtempfindliche Fotoschicht
<b>Entspiegelung</b>	Reflexionsminderung an Oberflächen von optischen Bauelementen
<b>Entwickler</b>	Chemische Reduktion zur Umwandlung des belichteten Silberhalogenids zu metallischem Silber
<b>Etalon</b>	Optische Einheit zur Erhöhung der Kohärenzlänge eines Lasers
<b>Excimerlaser</b>	UV-Impuls laser

# HOLOLEXIKON 2

<b>Fanatiker</b>	Holograf der ständig arbeitet
<b>Farbhologramm</b>	Mehrfachbelichtetes Hologramm und chemische Veränderung der Farbe
<b>Faseroptik</b>	Fiberoptik
<b>Festkörperlaser</b>	Rubinlaser / Neodym-YAG Laser / Neodym Glas Laser
<b>Filter</b>	Optisches Bauelement um die Intensität des Lichtes zu verändern
<b>Fixierer</b>	Verhindert das Abdunkeln = Bildstabilisator
<b>Fotoplatte</b>	Glasplatte mit einer lichtempfindlichen Schicht
<b>Fotopolymer</b>	Lichtempfindlicher Kunststoff = Entwicklung ohne Chemie
<b>Fotoresist</b>	Aufnahmematerial für Prägehologramme = H2
<b>Fresnel Hologramm</b>	Objekt nahe am Aufnahmematerial
<b>Frequenz</b>	Anzahl der Wellenberge / elektromagnetische Welle
<b>Gabor Hologramm</b>	Erster Hologrammtyp / Inline Technik
<b>Gaslaser</b>	Dauerstrichlaser - aktives Medium ist Edelgas
<b>Geisterbild</b>	Störbild durch Lichtreflexion
<b>Gauß - Profil</b>	Radiale Intensitätsverteilung der TEM00 Mode
<b>Gepulstes Hologramm</b>	Aufnahme von bewegten Objekten zB Porträts, Tiere usw
<b>Gitter</b>	Lichtbeugung durch eine optische Einheit - Beugungsgitter, holografisches Gitter
<b>Glasfaser</b>	Lichtwellenleiter
<b>Gradation</b>	Schwärzungskurve
<b>Grating</b>	Optisches Gitter - holografisch aufgezeichnet
<b>Grünlicht</b>	Dunkelkammerlicht bei Verarbeitung von rotempfindlichen Materialien
<b>Gruff</b>	Holografielabor
<b>H1</b>	Master oder Mutterhologramm
<b>H2</b>	Hologramm der Zweiten Generation
<b>Halbleiterlaser</b>	Laser auf Halbleiterbasis
<b>Härtung</b>	Gerbung von Fotoschichten
<b>Helium-Cadmium Laser</b>	Dauerstrichlaser 325nm - 442nm / belichtet Fotoresiste
<b>Helium-Neon</b>	Edelgas für Laser - HeNe Laser 632,8nm
<b>HOE</b>	Holografisch Optisches Element / Holografische Linse
<b>Hologramm</b>	Ganzheitliche Aufzeichnung
<b>Image Plane</b>	Hologramm der zweiten Generation = H2
<b>Immersionslinse</b>	Flüssigkeitslinse
<b>Inkohärentes Licht</b>	Fast alle Wellenlängen sind enthalten = nicht interferenzfähig
<b>Interferenz</b>	Zunahme der Amplitude bei Überlagerung einer zweiten Welle gleicher Ordnung
<b>Interferenzstreifen</b>	Helle und dunkle Streifen von positiver und negativer Interferenz
<b>Interferometer</b>	Aufnahmegeometrie zur Analyse von Schwingungen
<b>Interferometrie</b>	Mess.- und Prüfverfahren durch Überlagerung von zwei kohärenten Wellen
<b>Ion</b>	Ein Atom, dass ein Elektron dazugewinnt oder verliert, positiv-negative Ladung
<b>Irisblende</b>	Blende mit variabler Einstellmöglichkeit
<b>Jule</b>	Energiemesseinheit

Kohärentes Licht	Licht mit gleicher Wellenlänge und Fasengleichheit
Kohärenzlänge	Distanz in der ein Hologramm aufgenommen werden kann
Kollimator	Optische Einrichtung zur parallelen Bündelung von Strahlen
Konkav	Nach innen gewölbte Linse
Konvex	Nach außen gewölbte Linse
Krypton Laser	Dauerstrichlaser mit Wellenlängen von blau bis dunkelrot
L.A.S.E.R.	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation = Lichtverstärkung durch angeregte Emission
Laserdiode	Diodenlaser
Latentes Bild	Ein Interferenzmuster das in der Emulsion vor der Entwicklung sichtbar ist
Leslie-Hologramm	Holografisches Stereogramm
Leiht-Upatniek Hologramm	Transmissionshologramm mit geteiltem Laserstrahl
Lichthof	Störungserscheinung bei holografischen Aufzeichnungen
Lichtleiter	Glasfaseroptik
Lightmeter	Belichtungsmesser zur Festlegung der Ratioeinstellung
Lippmann-Bragg Hologramm	Reflexionshologramm mit geteiltem Laserstrahl
Lochblende / Pinhole	Vorrichtung zur Ausfilterung von optischen Fehlern, wenn sie im Brennpunkt sind
Master	H1 - oder Mutterhologramm, geeignet zur Herstellung von Hologrammen der 2. Generation
Mattscheibe	Diffusor
Meister	Holograf der alle Techniken beherrscht
Mikroskopoptik	Aufweitungssystem für den gebündelten Laserstrahl
Mode	Räumliche Kohärenz des Lasers. TEM00 wird für die Holografie verwendet
Moden	Eigenschwingung eines optischen Resonators bei einem Laser
Monochrom	Einfarbig
Multiplex-Hologramm	Holografisches Stereogramm
Nanometer	Längeneinheit 1nm = 1 Milliardstel meter
Negativlinse	Konkavlinse
Neodym-YAG Laser - Neodym Glas Laser	Festkörperlaser
Netzmittel	Gleichmäßige Verteilung des Wassers auf der Emulsion = Trocknerbad
Objektstrahl	Beleuchtet das Objekt
Okular	Eingangsöffnung des Mikroskopobjektives
Optische Bauelemente	Einrichtung zur Halterung von Optiken, Spiegeln zB Raumfilter
Optische Dichte	Schwärzung
Optische Röhre	Distanz zwischen den zwei Spiegeln im Laser
Optischer Tisch oder optische Bank	Grundaufbau zur Schwingungsminimierung
Orthoskopisch	Richtige Abbildung eines Bildes
Parabolspiegel	Gekrümmter Spiegel der in der Holografie als Kollimierungsoptik eingesetzt wird
Parallaxe	Unterschied zwischen zwei verschiedenen Ansichten eines Objektes
Phase	Position einer Welle im Raum zu einem bestimmten Zeitpunkt
Photon	Kleinste Einheit des Lichtes ( quant ) einer elektromagnetischen Energie
Plankonkav	Auf einer Seite nach innen gekrümmte Linse
Plankonvex	Auf einer Seite nach außen gekrümmte Linse
Plattenhalter	Aufbau zur Aufnahme von Hologrammplatten
Pseudocolor	Farbhologramm nicht ident mit dem Original
Pseudoskopisch	Nach außen gekehrte Abbildung

# HOLOLEXIKON 4

<b>Polarisation</b>	Schwingung des Lasers, eingeschränkt auf eine Ebene, horizontal oder vertikal
<b>Puls laser</b>	Laser der einen Lichtblitz aussendet
<b>Ratio</b>	Intensität zwischen Objekt,- und Referenzstrahl
<b>Raumfilter</b>	Technischer Aufbau und Halterung für Mikroskopobjektiv und Lochblende
<b>Rauschen</b>	Grobkörnige Aufnahme eines Hologramms
<b>Reelles Bild</b>	Bild vor der Bildebene
<b>Referenzwinkel</b>	Winkel der auf die Hologrammplatte trifft
<b>Reflexionshologramm</b>	Hologramm das von vorne beleuchtet wird
<b>Regenbogenhologramm</b>	Transmissionshologramm welches in der vertikalen Betrachtung die Farben ändert und nur in der horizontalen Achse dreidimensional ist
<b>Rotlicht</b>	Dunkelkammerlicht wenn grünempfindliches Material verarbeitet wird
<b>Rubin laser</b>	Festkörper laser 690nm
<b>Schwärzung</b>	Optische Dichte
<b>Schwingungsisolator</b>	Technische Einheit bei Tischen zur Vermeidung von Eigenschwingungen
<b>Silberhalogenid Spiegel</b>	Lichtempfindliche Substanz - Silberkristalle
<b>Stehende Welle</b>	Optisches Bauelement zur Strahlenablenkung
<b>Strahlteiler</b>	Kombination zweier Wellen mit gleicher Frequenz und Amplitude
<b>Strahlteiler</b>	Teilt den Laserstrahl in zwei Strahlen
<b>TEM00</b>	Grundmode = niedrigster Transversalmode
<b>Thermoplastischer Film</b>	Aufnahmematerial welches durch elektrostatische Kräfte und Wärme eine Umformung erreicht
<b>Transmissionshologramm</b>	Ein Hologramm das von hinten beleuchtet wird
<b>Triethanolamin</b>	Chemikalie die die Emulsion in der Schwellung beeinflusst und dadurch eine Farbveränderung des Hologramms erreicht
<b>Ultraviolett - uv</b>	Unsichtbares Licht 100nm - 380nm
<b>Umlenkspiegel</b>	Leitet den Laserstrahl in eine andere Richtung
<b>Urheber</b>	Hersteller des Hologramms
<b>Variabler Strahlteiler</b>	Kontinuierliche Verstelleinheit von Transmission und Reflexion
<b>Verschluss</b>	Unterbricht den Laserstrahl
<b>Virtuelles Bild</b>	Teile des Objektes ragen aus der Bildebene heraus
<b>Weißlichttransmissionshologramm</b>	Wird von hinten beleuchtet
<b>Weißlichtreflexionshologramm</b>	Wird von vorne beleuchtet
<b>Wellenlänge</b>	Distanz von Wellenberg zu Wellenberg ohne Berücksichtigung der Frequenz
<b>YAG Laser</b>	Festkörper laser der grünes Licht emittiert
<b>Zukunft</b>	Holografie
<b>Zylinderlinse</b>	Der unaufgeweitete Laserstrahl wird zum Laserstrich und wird beim Regenbogenhologramm verwendet

# LITERATUR

- Handbuch der Holografie Unterseher, Hansen, Schlesinger - Popa Verlag  
ISBN 3-925818-01-4
- Holographie - Zaubern mit Licht Bruno Ernst - Wittig Fachbuchverlag ISBN 3-88984-040-X
- Die neue Holographie-Fibel Peter Heiß - Wittig Fachbuchverlag ISBN 3-88984-029-9
- Holographie - Grundlagen, Experimente J.I.Ostrowski - Verlag Harri Deutsch ISBN 3-87144-989-X
- Holographie - Geschichte Technik, Kunst Peter Zec - DuMont Verlag ISBN 3-7701-1833-2
- Optische Holografie M.Miler - Verlag Karl Thiernig ISBN 3-521-06114-0
- Synthetische Holografie D.Schreier - Physik Verlag Weinheim ISBN 3-87664-089-X
- Manual of Practical Holography Graham Saxby - Focal Press ISBN 0-2405-1305-3
- Holographic Recording Materials H.M.Smith - Springer Verlag ISBN 3-540-08293-X
- Technische Optik G.Schröder - Vogel Buchverlag ISBN 3-8023-0067-X
- Silver-Halide Recording Materials H.I.Bjelkhagen - Springer Verlag ISBN 3-540-56576-0
- Lasertechnik 2 - Holographie H.Treiber - Frech Verlag ISBN 3-7724-5410-0
- Das ABC der Lasertechnik Stratis Karamanolis - Elektra Verlag ISBN 3-922238-85-8
- Lasertechnik H.Treiber - Frech Verlag ISBN 3-7724-0599-1
- Laser Klaus Tradowsky - Vogel Verlag ISBN 3-8023-0021-1
- Practical Volume Holography R.R.A.Syms - ISBN 0-19-856191-1
- Holografische Visionen Edition Braus - ISBN 3-89466-015-5
- Mehr Licht - More Light A.Lipp - P.Zec -Kabel Verla ISBN 3-8225-0015-1
- Physik und Transzendenz Scherz-Basistexte ISBN3-502-19170-0
- Die Evolution der Physik A.Einstein - L.Infeld - Weltbild Verlag ISBN 3-89350-161-4
- Physik Gerthsen,Kneser,Vogel - Springer Verlag ISBN 99509-9
- Archives of Holography Leonardo . Pergamon Press ISBN 0-08-04163-1-X
- Holography 2000 SPIE Proceedings Volume 4149 ISBN 0-8194-3801-4
- Practical Volume Holography The Oxford Science Series ISBN 0-19-856191-1
- Einführung in die Technik der Holographie H.Kiemle und D.Röss - Akad. Verlagsges. Frankfurt am Main
- Three-Dimensional Holography SPIE Proceedings Volume 1238 ISBN 0-8194-0282-6
- Practical Holography V SPIE Proceedings Volume 1461 ISBN 0-8194-0560-4
- Digital Holography SPIE Proceedings Volume 1718 ISBN 0-8194-0883-2
- Holographic Imaging and Materials SPIE Proceedings Volume 2043 ISBN 0-8194-1302-X
- International Symposium on Display Holography SPIE Proceedings Volume 1600 ISBN 0-8194-0731-3
- Holographic Optics III: Principles and Application SPIE Proceedings Volume 1507 ISBN 0-8194-0616-3
- Einführung in die Photochemie H.G.O. Becker - Georg Thieme Verlag ISBN 3-13633702-6
- Holographic Optical Security Systems SPIE Proceedings Volume 1509 ISBN 0-8194-0618-X
- Diffraction Grating Handbook C.Palmer - Richardson Grating Laboratory USA
- Optical and Laser Remote Sensing D.Killinger A.Mooradian - Springer Verlag ISBN 3-540-12170-6
- Lasers and Holography W.E.Kock Dover Publications Inc. ISBN 0-486-24041-X
- Advances in Display Holography 2006 Dr.Hans Bjelkhagen, Technium OptIC ISBN 0-9553527-1-1
- Neue Geschichte der Fotografie Michel Frizot - Könemann ISBN 3-8290-1327-2
- Photo Icons Hans-Michael Koetzle - Taschen ISBN 3-8228-1826-7
- Film verstehen James Monaco - Europa Verlag ISBN 3-203-84111-8
- Leonardo Ladislao Reti - Parkland Verlag ISBN 3-88059-858-4
- Das Stereobild in Wissenschaft und Technik Dieter Lorenz - Deutsche Forschung ISBN 3-89100-009-X
- Alles Wahrheit! Alles Lüge - Sammlung Robert Lebeck Bodo von Dewitz und Roland Scotti - Verlag der Kunst
- 3D Magazin Bode Verlag - Periodisches Magazin
- Heimlabor-Praxis Rudolf Seck - Ringier Verlag ISBN 3-7763-1400-1
- Grundkurs Fotografie Heiner Hennings - Augustus Verlag ISBN 3-8043-5015-1
- Grundkurs Digitale Fotografie Heinz von Bülow - Augustus Verlag ISBN 3-8043-5132-8
- Practical Holography - Third Edition Graham Saxby - Institute of Physics Publishing ISBN  
ISBN 0-7503-0912-1
- Advances in Display Holography Papers presented at the 7th International Symposium on  
Display Holography Editor: Dr. Hans Bjelkhagen  
River Valley Press ISBN 0-9553527-1-1
- Holography Marketplace No 1-8 Alan Rhody + Franz Ross  
The reference text and sourcebook for holography worldwide
- Optik José-Philippe Pérez - Spektrum Akademischer Verlag  
ISBN 3-86025-389-1

# HOLOHISTORY

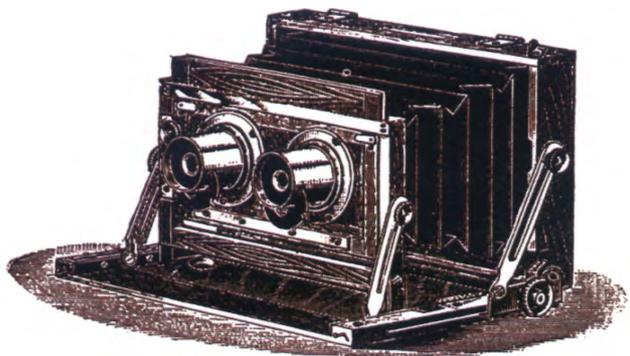
Huygens, Christian	14.4.1629 - 8.7.1695 Niederländischer Physiker. Schuf 1678 die Wellentheorie des Lichtes.
Brewster, David Sir	11.12.1781 - 10.2.1868 Englischer Physiker. Optisches Fenster, das im Strahlengang unter dem "Brewster Winkel" angeordnet ist. Geringste Reflexionsverluste unter dem Winkel $56,3^\circ$
Young, Thomas	13.6.1773 - 10.5.1829 Englischer Physiker. Entdecker des Interferenzprinzips der Wellennatur des Lichtes.
Daguerre, Louis Jacques Mandé Fresnel, Augustin Jean	1787 - 1851 Erste Lichtbilder von jodierten Silberplatten 10.5.1788 - 14.7.1827 Französischer Physiker. Beugungs-, Interferenz - und Polarisationsversuche. Durchbruch der Wellentheorie.
Michelson, Albert Abraham	19.12.1852 - 9.5.1931 Amerikanischer Physiker deutscher Abstammung. Interferometer und Stufengitter. Nobelpreis für Physik 1907.
Lippmann, Gabriel	16.8.1845 - 13.7.1921 Französischer Physiker. Erfand 1881 ein nach ihm benanntes Verfahren der Farbwiedergabe mittels Interferenzphänomenen. Nobelpreis für Physik 1908.
Bragg, William Henry Sir	2.7.1862 - 12.3.1942 Englischer Physiker. Formulierte die Reflexionsbedingung an Drehkristallen. Nobelpreis für Physik 1915.
Gabor, Dennis	5.6.1900 - 9.2.1979 Englischer Physiker ungarischer Abstammung. Entdecker der Holografie. Erste Veröffentlichung 15.5.1948 in der Zeitschrift "Nature". Nobelpreis für Physik 1971.
Maiman, Theodore Harold	11.7.1927 Erster Laser - Rubinlaser - Puls laser
Leith, Emmett - Juris, Upatnieks	Erstes Transmissionshologramm mit geteiltem Laserstrahl - 1960
Denisyuk, Yuri Nikolajewitsch	Erstes Weißlichtreflexionshologramm - 1961 27.07.1927 - 14.05.2006
Lippmann / Bragg	Erstes Weißlichtreflexionshologramm mit geteiltem Strahl.
Benton, Stephen A.	1.12.1941 - 9.11.2003 Erstes Weisslichttransmissionshologramm - Regenbogenhologramm - Bentonhologramm - 1968.
Javan Ali, Bennet William, Herriott Donald	Erbauer des Helium-Neon Lasers
Stroke George, Laberyrie Antoine, Hartmann Nils, Schwartz C.	Weißlichtreflexionshologramm über ein Master 1964
Cross, Lloyd	Erfinder des Multiplexhologramms - holografisches Stereogramm.
Mc Grew, Steve	Erfinder der Prägeholografie - 1980
Erste Holografieausstellung in Europa	Royal Academy of Arts in London 1977 250.000 Besucher innerhalb von 28 Tagen
Eindhoven / Rotterdam	1979
Neuer Berliner Kunstverein	1979
Bath und Science Museum London	1983
Deutsches Filmmuseum Frankfurt	1984
Erstes Holografielabor in Österreich	1985
Hamburger Kunsthalle	1985 Mehr Licht - Künstlerhologramme und Lichtobjekte
Holografie in Wien	11. April - 15. Juni 1986
Weltweit erste Briefmarke mit Hologramm, Österreich	18.10.1988
Holografie in der BRD	Bad Rothenfelde 1989
Neue Tendenzen der deutschen Holografie	14.7. - 1.9.1991 Ljubljana - Slowenien
Holografische Visionen	Museum für Holografie & neue visuelle Medien, Pulheim 1991
Erster Weltkongress der Holografie - Wien	1993
Inbetriebnahme der einzigartigen Holografiekamera	1993 Holography Center Austria
Kleinstes Hologramm der Welt - 3mm x 3mm	1994 Labor Holography Center Austria
Erstes Hologramm an der FH St.Pölten	9.10.1998
Symposium "50 Jahre Holografie" FH St.Pölten	8.12.1998
Weltkongress der Holografie	10. - 14. Juli 2000 Synagoge St.Pölten
Größte Holografie Kunstausstellung in Österreich	16. Juni - 18. Juli 2000 Stadtmuseum St.Pölten

# HOLOAUSTRIA

- 1985 Gründung des ersten Holografielabors von Irmfried Wöber in 3042 Würmla
- 1986 Gründung des Holografielabors an der TU-Graz
- 1986 Bisher grösste Holografieausstellung im Rahmen der Wiener Festwochen
- 1988 18.10. weltweit erste Briefmarke mit Prägehologramm
- 1989 Erste Auslandsausstellungsbeteiligung von Irmfried Wöber in der BRD - Bad Rothenfelde
- 1990 Ausstellungsbeteiligung in Madrid von I.Wöber
- 1991 Ausstellungsbeteiligung in Ljubljana - Slowenien von I.Wöber
- 1993 Installation einer weltweit einzigartigen Holografiekamera im Holography Center Austria
- 1993 Erster Weltkongress der Holografie in Wien
- 1994 Herstellung des kleinsten Reflexionshologramms der Welt 3mm x 3mm von I.Wöber
- 1998 9.10. erstes Hologramm an der FH-St.Pölten
- 1998 8.12. Symposium "50 Jahre Holografie" FH-St.Pölten
- 1999 6.8.-12.9. Grossausstellung Waidhofen an der Ybbs
- 2000 15.6.-18.7. Internationale Ausstellung im Stadtmuseum St.Pölten  
10.7.-15.7. Holografie-Weltkongress - Synagoge St.Pölten

# 3D in Fotografie und Druck

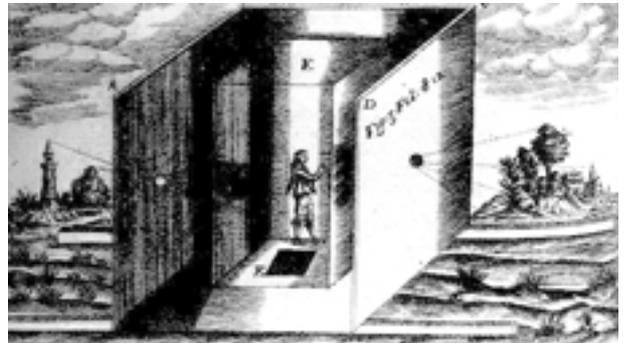
Stereofotografie  
Anaglyphen  
Autostereogramme  
Lenticular



# EINLEITUNG

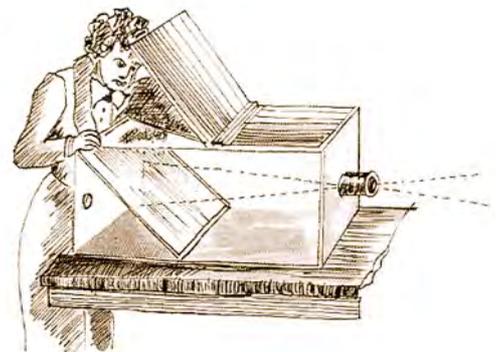
Die Tierwelt hat eine fantastische, akustische Mitteilungskraft die von Menschen unerreichbar ist. Jede Form der Gefühle ist mitteilbar - Angst, Gefahr, Liebe, ja selbst der Tod wird akustisch weitergegeben.

Nur dem Menschen ist es vorbehalten sich auch bildnerisch mitzuteilen. Schon in der Frühzeit waren es Höhlenmalereien, Steinritzungen und Ornamente in der Wüste. Es war das bereits eines der wichtigsten Formen der Mitteilung für die Nachkommenden. Erst tausende Jahre später wurde diese bildnerische Mitteilung durch die Schrift erweitert. Dadurch war nicht nur eine Mitteilung für den Nächsten verbunden, sondern daraus bildeten sich Lyrik, Theatralik und allgemeine Konversation in schriftlicher Form. Auch in bildnerischen Darstellungen war man bestrebt diese in Perspektive und Proportion zu verbessern. Erste Versuche in dieser Richtung erreichte man mit der **Camera obscura** = lat. Dunkle Kammer.



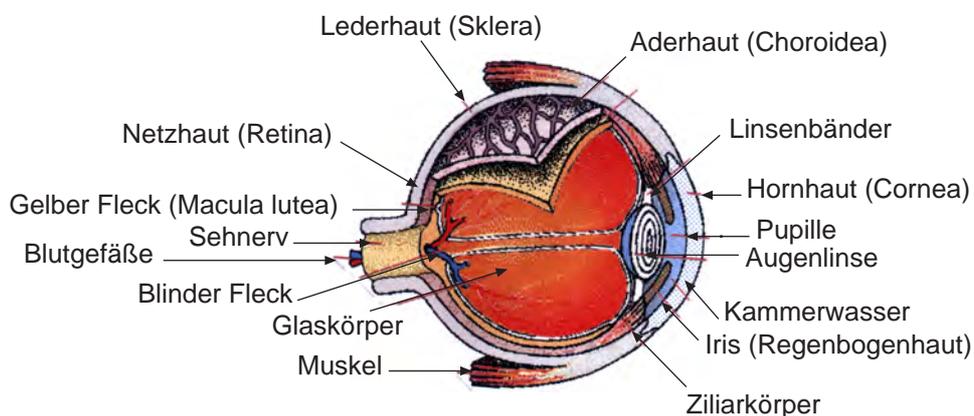
Atanasius Kirchner, Amsterdam 1671  
Nationalbibliothek Madrid

Die ersten Berichte über diese Beobachtung gehen bis in die Antike zurück. Es ist ein geschlossener, dunkler Raum mit einer kleinen, lochförmigen Öffnung in der Licht durchfällt. Die Abbildung erfolgt an der gegenüberliegenden Wand und ist seitenverkehrt. Um die Abbildungen zu verbessern wurden in die Lochöffnung Optiken eingesetzt und durch unterschiedliche Brennweiten waren bereits Verkleinerungen möglich. Diese Abbildungen erreichten schon eine erstaunliche Qualität. Daguerre verwendete dieses System, wobei er mit Jod veredelte Silberplatten belichtete. Diese Negative wurden nach der Kopie mit Quecksilberdampf "fixiert". Dieses Verfahren wurde erstmals 1839 veröffentlicht und zum Patent angemeldet. Von da an erlebte die Fotografie permanent Fortschritte und ist aus unserem heutigen Leben der Mitteilung nicht mehr wegzudenken.



Grundsätzlich versteht man unter dreidimensional, mathematisch gesehen, Ausdehnungen in x - y - z Richtung. Diese Dreidimensionalität wird vom menschlichen Auge wahrgenommen und im Gehirn umgesetzt. Das heißt, dass durch die Augenbasis (6-7cm) zwei unterschiedliche Bilder gesehen werden. Dies ist genetisch gesehen ein Lernprozess des menschlichen Gehirns. Dieser Lernprozess ist einige Wochen nach der Geburt nahezu abgeschlossen und wird in den folgenden Jahren weitergebildet.

### Schnitt durch das menschliche Auge - Seitenansicht



Grob genommen sind die Augen aller Säuger ähnlich der Kamerafunktion. Die Linse wirft ein kopfstehendes Bild der Außenwelt auf die lichtempfindliche Netzhaut (entspricht dem Film in der Kamera). Das Scharfstellen des Bildes (**Fokussierung**) erfolgt durch Abflachung oder Verdickung der Linse (**Akkommodation**). Bei weit entfernten Objekten stellt das Auge automatisch auf scharf (**unendlich**). Dieses scharfe Bild wird auf die Netzhaut geworfen. Je näher das betrachtete Objekt ist, desto stärker zieht sich der Ziliarmuskel zusammen und die Linse rundet sich ab. Mit zunehmenden Alter lässt die Elastizität der Linse nach und Sehschwächen treten auf. Welche Lichtmenge das Auge erreicht, wird durch die Pupille bestimmt, die sich öffnet (schlechte Lichtverhältnisse) und schließt (helle Lichtverhältnisse). Gleichzusetzen mit der **Irisblende**. Die Ziliarmuskeln haben die Aufgabe das Auge zu drehen und dieser Bewegungsablauf sollte bei beiden Augen gleich sein. Ist dies nicht der Fall, so entstehen Doppelbilder und das räumliche Sehen ist bei nichtverschmelzen beider Bilder gestört. Wir sehen quasi "stereoskopisch" weil beide Augen unterschiedliche Bildinformationen erhalten, welche durch die Retina an das Gehirn weitergeleitet werden. Durch die Bewegung der Augen in x-y-z Richtung sehen wir tatsächlich dreidimensional, also die **senkrechte und waagrechte Parallaxe**. Bei allen herkömmlichen Abbildungsverfahren wie Stereofotografie, holografische Stereografie, Anaglyphen und Lenticular, Regenbogenhologrammen, fehlt die senkrechte Parallaxe und wir können daher nur von **Tiefenbildern** sprechen. Einzig die klassische **Holografie** kann beide Parallaxen darstellen und ist deshalb **ganzheitlich**.

# Stereofotografie

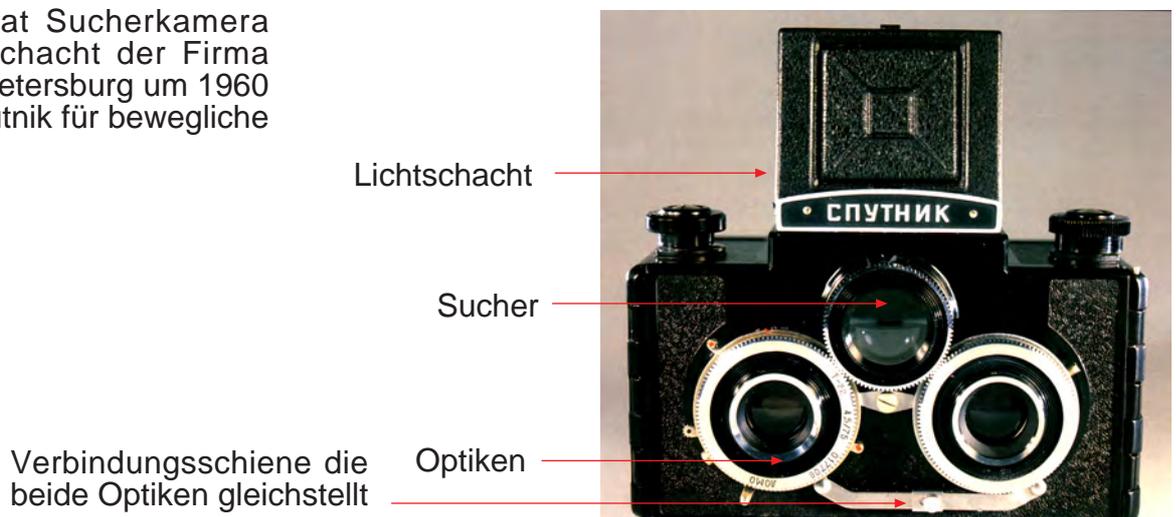
Dass wir dreidimensional sehen können verdanken wir dem binakularem Sehen. Dieses Phänomen der Augenparallaxe war schon in der Antike bekannt. Euklid (280 BC) erwähnt dies bereits in seinen Schriften. Auch Leonardo da Vinci behandelt dies in seinem Mailänder Manuskript (1484). Der engl. Physiker Charles Wheatstone bewies 1838 mit Zeichnungen dass räumliches Sehen mit binakularer Betrachtung möglich ist.

1844 hat Sir David Brewster, der zuvor das Kaleidoskop erfunden hatte, Experimente durchgeführt. 1850 entwickelte er mit dem Optiker und Fotografen Jules Duboscq den ersten "Stereoskopischen Apparat". Die ersten Stereoaufnahmen wurden noch mit monokularen Fotoapparaten durchgeführt. Um bewegte Motive abbilden zu können, benötigt man ein Kamera mit zwei Objektiven.



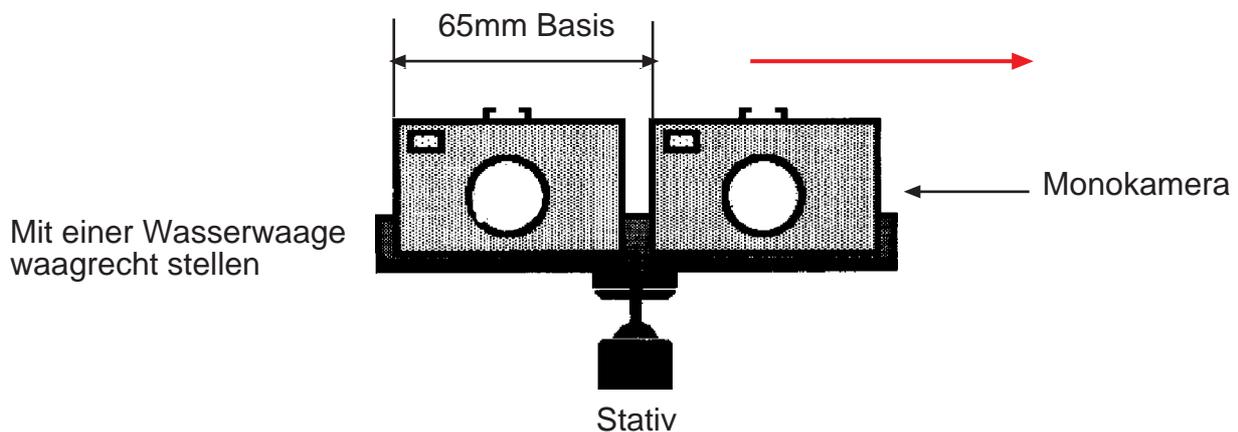
Park in Tiflis (Georgien) um 1900

Mittelformat Sucherkamera mit Lichtschacht der Firma Lomo St.Petersburg um 1960 Marke Sputnik für bewegliche Motive.

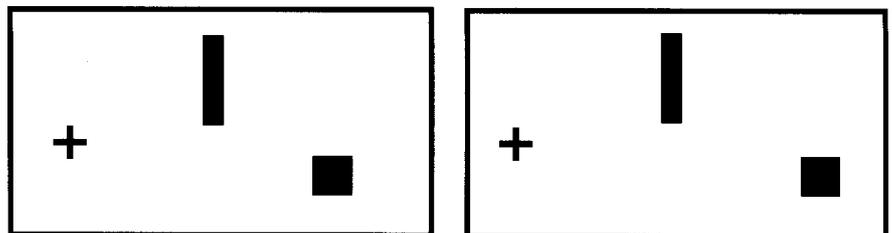


# Stereofotografie 2

Stereofotos sind auch mit monokularen Fotoapparaten herstellbar = **Sukzessiv Verfahren**. Bei dieser Technik ist besonders darauf zu achten, dass die Kamera waagrecht auf einer Schiene montiert ist. Nach der ersten Aufnahme wird die Kamera um die Basis von 6,5cm verschoben. Die Basis von 6,5cm wird bei Standardmotiven angewendet. Für Nahaufnahmen ist eine geringere (5,5 - 6cm) und bei Landschaftsaufnahmen eine größere (7,5cm) Basis zu wählen. Beim Sukzessiv Verfahren können nur starre Objekte aufgenommen werden und für bewegte Motive ist eine Stereokamera unbedingt erforderlich. Die schnellste und einfachste Art Stereofotos herzustellen ist die Aufnahme mit einer Digitalkamera im Sukzessiv Verfahren. Beide Bilder werden in einem Fotobearbeitungsprogramm im Computer bearbeitet und können anschließend mit Standarddruckern ausgedruckt werden.



## Stereobild Betrachtung

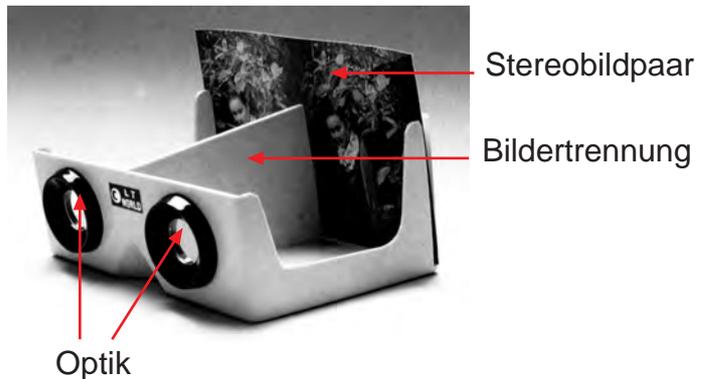


Ein großer Nachteil bei der Betrachtung von Stereobildern ist, dass man ein Hilfsmittel zB. ein Stereoskop benötigt. Allerdings sind bei einiger Übung Stereobilder auch ohne Hilfsmittel betrachtbar. Man betrachtet das Stereobild mit dem sogenannten **Parallelblick**, wobei die Konvergenz der Augenlinsen mit der Augenachse gekoppelt werden.

Betrachten Sie obiges Stereobildpaar in einer Entfernung etwa Armlänge und schauen Sie über den Rand der Zeichnung auf einen fern liegenden Punkt. Nach kurzer Zeit sind drei unscharfe Bilder zu sehen. Fixieren Sie das mittlere Bild und schauen Sie nun direkt auf das Stereobildpaar das jetzt scharf zu sehen ist. Das mittlere Bild muss aber immer noch sichtbar sein. Gehen Sie ca. 35cm an das Bild heran und Sie sehen es jetzt räumlich. Wenn der erste Versuch nicht gleich gelingt ist das normal, aber nach einiger Übung ist die Betrachtung des Stereobildes ganz sicher kein Problem mehr.

# Stereofotografie 3

Stereoskop



Stereobilder lassen sich auch als Diapositive aufnehmen und mit einem speziellen Projektor projizieren. Die Betrachtung erfolgt mit einer Polarisationsbrille. Das heißt, dass bei der Aufnahme bei den Teilbildern die Polarisation gedreht und durch die Brille wieder umgekehrt wird. Dieses Verfahren wird auch bei 3D Filmen angewendet.



Stereoprojektor Rollei twin MSC 300 P

Der Projektor hat die Aufgabe beide Bilder übereinander zu legen und durch die Polarisationsbrille das 3D Bild erscheinen zu lassen. Im Anaglyphenverfahren = rot/grün bzw. rot/blau wird dies auch angewendet, aber anstelle einer Polarisationsbrille eine entsprechende Farbbrille verwendet. In beiden Fällen liegt das Problem der Diarahnung. Es werden spezielle Rahmen verwendet die keinerlei Größenunterschiede aufweisen dürfen, bzw. müssen die Diaposive passgenau montiert werden, da bereits geringste Abweichungen zu unscharfer Wiedergabe führen. Geringe Korrekturen werden direkt am Projektor durchgeführt.

Eine Alternative anstelle von zwei Objektiven sind die Stereo Strahlteiler Vorsätze. Nach der Aufnahme sind auch hier wieder zwei Halbbilder. Die optische Qualität ist allerdings etwas schlechter. Diese Vorsätze sind auch für Anaglyphen Aufnahmen geeignet, wobei die linke und rechte Optik mit einem entsprechenden Farbfilter versehen werden muss.



Stereo Strahlteiler Vorsatz

# Stereofotografie

## Anwendungen - Beispiele

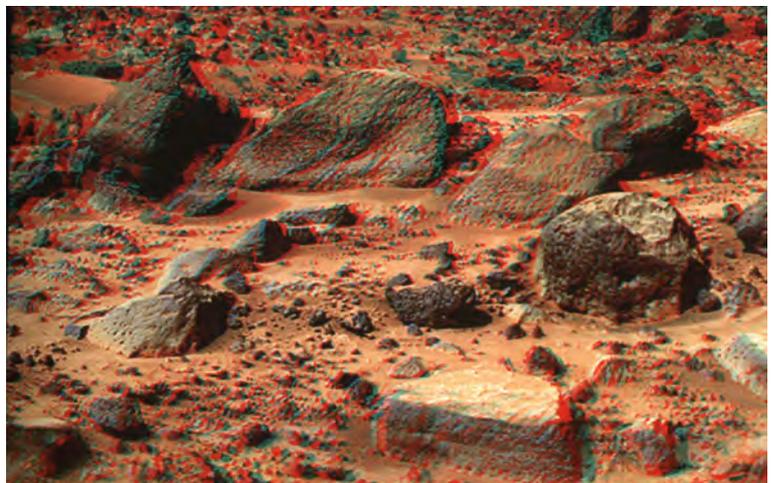
Die Stereofotografie mit Ihren Techniken, zum Beispiel auch die Anaglyphentechnik hat heute einen besonderen Stellenwert in Medizin und Forschung. Ein 3D Bild transformiert natürlich wesentlich mehr Informationen vom Objekt als ein 2D Bild. In der Computertomografie sind Abweichungen leichter zu lokalisieren und entsprechende Diagnosen besser zu erstellen. In der Kartografie wird die Stereotechnik zur besseren Landvermessung eingesetzt. 3D Bilder vom Mars (Anaglyphen) beweisen die Wichtigkeit dieser Verfahren. Diese Technik wird auch in der Werbung und Industrie eingesetzt, da ein dreidimensionales Bild in unserer reizdurchflutenden Welt wesentlich mehr Aufmerksamkeit erreicht. Das Produkt wird länger und öfter betrachtet, ja zum Teil sogar aufgehoben. In der Mikrostereografie lassen sich Molekularstrukturen leichter erkennen. Die Stereoendoskopie liefert ein dreidimensionales Bild zum Beispiel von unserem Körperinneren.



Leica Zoom 2000 Stereo Mikroskop

Anaglyphenbild von der  
Marsoberfläche.  
Aufgenommen während der  
Pathfinder Mission 1997

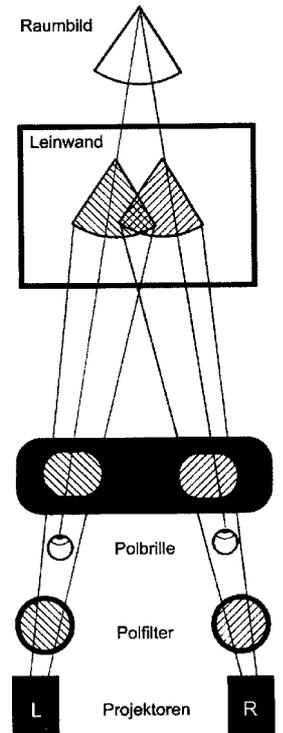
Die Dreidimensionalität  
dieses Anaglyphenbildes  
ist nur mit einer rot/grünen  
Brille zu sehen.



# Projektion von Anaglyphen bzw. Stereobildern/Film mit Hilfe von Polfiltern

Die Trennung der beiden Stereobilder erfolgt nicht mittels Farbseparation, sondern durch Drehung der Polarisation eines Halbbildes.

Licht schwingt bei seiner Ausbreitung in alle Richtungen. Mit Hilfe der Polarisation erreicht man, dass die Schwingung nur in eine bestimmte Richtung erfolgt. Bei der Aufnahme wird die Polarisation des linken Bildes um  $135^\circ$  gedreht und beim rechten Bild um  $45^\circ$ . Wichtig ist, dass die Polarisationsbrille welche wir zum betrachten des 3D Bildes benötigen ebenfalls diese Winkelstellung aufweist. Da ein Polfilter ja nur einen geringeren Anteil des Lichtes durchlässt werden die Bilder auch etwas dunkler. Für die Projektion werden daher sehr lichtstarke Projektoren benötigt. Große Anforderungen werden auch auf die Rahmung gestellt, da bereits Abweichungen von 1% zu sogenannten Geisterbildern führen. Die Projektion erfolgt auf einer Silberleinwand die das polarisierte Licht nicht beeinträchtigen kann. Bei einer herkömmlichen Perleleinwand oder weißen Fläche ist die Lichtstreuung (Depolarisierung) zu groß und das dreidimensionale Bild ist nicht zu sehen. Werden bei der Projektion zwei Einzelbilder mit zwei Projektoren projiziert, so sind die Projektoren gleichzuschalten.

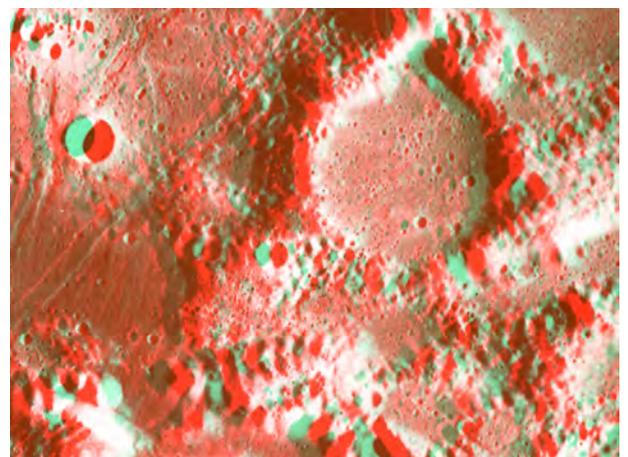


## Anwendungsbeispiele

nur sichtbar mit einer entsprechenden Anaglyphenbrille



Briefmarke als Anaglyphenbild



Oberflächenteilansicht des Mondes

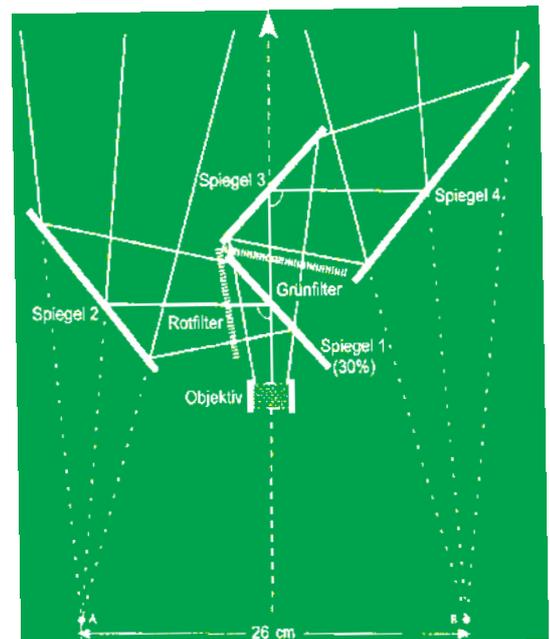
# Anaglyphentechnik

Wilhelm Rollmann entwickelte 1858 das Anaglyphenverfahren, wobei er zwei Stereo= bilder unterschiedlich einfärbte (rot /grün) und übereinander druckte. J.C.d'Almeida projizierte mittels zwei Projektoren diese Halbbilder und mit der Anaglyphenbrille konnte der dreidimensionale Effekt gesehen werden. 1891 erhielt Louis Ducos du Hauron für das blau/rote Anaglyphenbild ein Patent. In den fünfziger Jahren wurde diese Technik in der Kinematografie mit großem Erfolg angewendet. Die Anaglyphentechnik ist auch heute noch in vielen Anwendungen vorhanden wie zB. Fotogrammetrie und Kartografie, Umweltschutz, Geowissenschaft und Ozeanografie, Meteorologie, Planetenforschung, Archäologie, Kunst, Mikroskopie, Medizinische Röntgenologie, Zeitgeschichtliche Dokumentation, Werbung uva.

Bei der schwarzweißen Anaglyphentechnik werden beide Stereo Halbbilder unterschiedlich eingefärbt und übereinander gelegt und mit einer entsprechend eingefärbten Brille als 3D Bild sichtbar. Wichtig dabei ist, dass die Farben keine spektralen Abweichungen haben, da sonst die 3D Wirkung stark herabgesetzt wird. Die Farben der Brille müssen mit den des Druckes oder Projektion übereinstimmen!

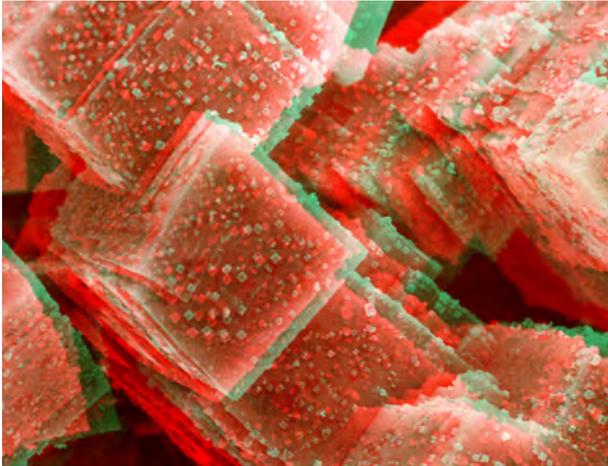
Sogenannte Echtfarbanaglyphen wurden erstmals 1983 gezeigt. Diese Anaglyphen werden nur in RGB gedruckt wobei gelb den Echtfarben Eindruck verstärkt. Da schwarz bei diesen Drucken fehlt, ist auch die Farbbrillanz geringer. Echtfarbanaglyphen werden hauptsächlich in der Werbung eingesetzt.

Mit Hilfe eines speziellen Kameravorsatzes lassen sich Anaglyphenbilder von bewegten Objekten aufnehmen. Der Strahlteiler 30% hat zunächst die Aufgabe beide Halbbilder zusammen auf den zu belichtenden Film zu bringen. Spiegel 2 und 4 sind in der Basisbreite angeordnet, so dass zwei Zeit= versetzte Bilder entstehen. Vor dem 30% Strahlteiler (er ist verspiegelt) wird jeweils vor dem Spiegel 2 + 3 ein Rot,- bzw. Grünfilter vorgesetzt. Da der Grauwert von rot und grün unterschiedlich ist, wird kein 50:50 Strahlteiler verwendet.

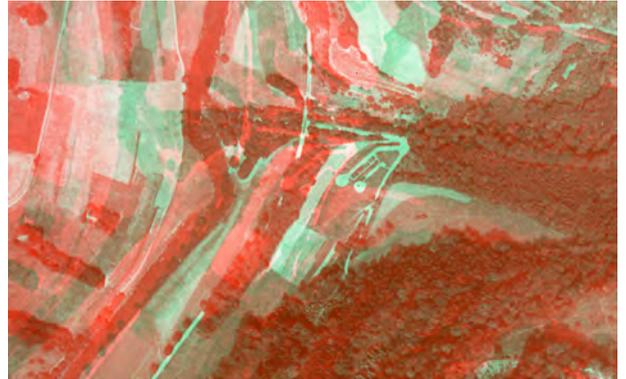


Bunte Anaglyphenfotos von starren Objekten können auch mit einem herkömmlichen Fotoapparat aufgenommen werden. Zunächst verwenden wir den Aufbau wie in der Stereofotografie beschrieben. Wir montieren vor der Optik ein einstellbares Polarisationsfilter. Bei der ersten Aufnahme wird die Polarisation auf 135° eingestellt und belichtet. Bei der zweiten Aufnahme wird der Fotoapparat um die Basis von 6,5cm verschoben. Entscheidend ist nun, dass der verwendete Fotoapparat eine Doppelbelichtung zulässt. Diese nun aktivieren und das Polfilter auf 45° einstellen und wieder belichten. Anschließend liegen beide Aufnahmen in Echtfarben als Diapositiv übereinander und lassen sich projizieren bzw. mit einem Drucker ausdrucken.

# Anwendungsbeispiele



Kristall aufgenommen mit einem Elektronenmikroskop



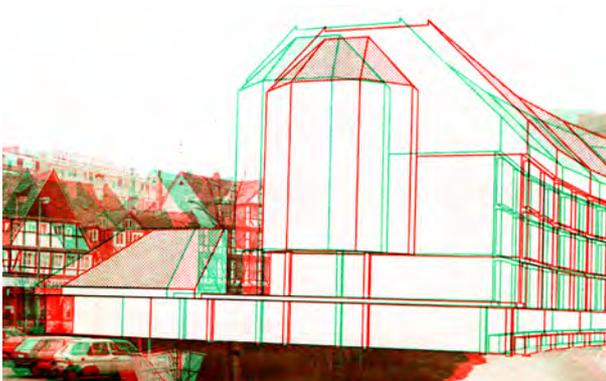
Landvermessung



Grab aus der Jungsteinzeit



Comic



Architektur



Echtfarbanaglyphe Jahreskatalog 2001

# Stereokinematografie

Die ersten Versuche startete man mit der Anaglyphentechnik, wobei entsprechende Farbfilter vor die Optik montiert wurden. In der Stummfilmzeit wurden amerikanische Filme mit zwei Kameras gefilmt die nahe aneinander standen. Also bereits einen unbewussten Stereoaufbau hatten. Ein Kamerafilm war für die USA gedacht und der zweite für die Kopien in Europa. Diese Beobachtung machte Roland Totheroh (bis 1952 Kameramann von Charlie Chaplin) und drehte 1928 einen zweiminütigen 3D Film. Das Ergebnis war nicht sehr gut, da die Kameras noch mit Handkurbeln bedient wurden und eine Synchronisation daher kaum möglich war. Weitere Experimente folgten nach der Automatisierung des Kameraantriebes und wurden bis hin zu IMAX 3D perfektioniert. Das größte Problem ist auch hier die genaue Überlagerung beider Bilder, da bereits eine einprozentige Abweichung zu Störbildern führt. Durch das Zeilensprungverfahren ist jedes Fernsehbild dreidimensional. Nehmen Sie eine Polarisationsbrille und schauen Sie im Kreuzblick auf den Bildschirm, das heißt beide Augen fixieren den Bildschirm und das Fernsehbild wird dreidimensional. Natürlich nicht in der Qualität wie von echten Stereoaufnahmen. 3D Film und Fernsehen sind extrem anstrengend, da ja das Gehirn permanent das Gesehene umwandeln muss und relativ rasch ermüdet. Deshalb sind bei einem 3D Film sogenannte Aussetzer, das heißt das einige Sequenzen in 2D bleiben, wobei das Gehirn eine Erholungsphase hat.

In den 70er Jahren wurden vom NIKFI Institut in Moskau der erste holografische Film hergestellt. Wie wir wissen, haben Hologramme einen eingeeengten Betrachtungswinkel. Man versuchte dieses Problem mit einer gekrümmten Projektionswand zu lösen. Da diese Aufnahmen doch sehr aufwendig und kostenintensiv waren, folgten keine weiteren Aufnahmen. Alexander (amerik. Künstler) stellte zwei Filme in der Regenbogentechnik her, welche durch einen "Guckkasten" zu betrachten waren.



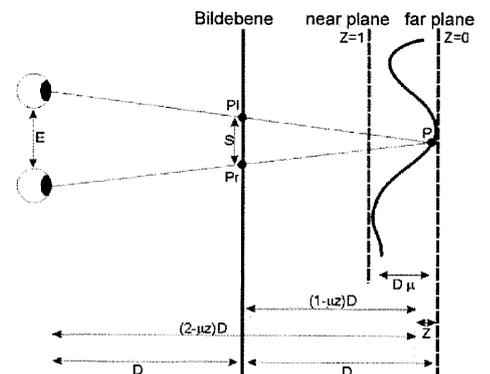
IMAX 3D Kamera mit einem Gewicht von über 100kg

## Stereo Bildgestaltung

Für gute Stereobilder und Filme sind einige Punkte entscheidend. Um eine gute Tiefenwirkung zu erreichen sind mindestens drei Ebenen erforderlich. Vordergrund, Mitte und Hintergrund. Die beste Wiedergabe liegt von 3-10 Metern, da bei größeren Entfernungen unser Auge bereits auf unendlich stellt. Je mehr Ebenen erreicht werden können, desto besser ist die Tiefenwirkung und der 3D Effekt. Beim Film sind Fahraufnahmen "Eisenbahneffekt" sehr gut und ein-, und auszoomen ist zu vermeiden, da sich hier kein 3D Effekt einstellt. Wenn ein Zoom verwendet wird, muss es schräg sein und eine zusätzliche Ebene eintreten. Jedenfalls ist viel Übung erforderlich, aber mit einer Digitalkamera im Sukzessiv Verfahren sind diese Übungen rasch durchgeführt.

# Autostereogramme

1940 entdeckte Bela Julesz den Effekt der räumlichen Tiefe, als er zwei Luftaufnahmen übereinanderlegte und es dreidimensional sah. Mitte der 60er Jahre veröffentlichte er einige Publikationen über "Tiefenbilder" (Querdisparation). Unter Querdisparation versteht man einen seitlichen Versatz von Bildteilen in einem Halbbild eines Stereobildes der bei Überlagerung einen Raumeindruck erzeugt. Bela Julesz stellte für seine Versuche ein sogenanntes RDS (Random Dot Stereogram) welches ein wirres, zufälliges Muster in Form von Punkten aufwies, her. Es war dies die Vorstufe von SIRDS (Single Image Random Dot Stereogram) und bestand noch aus zwei Halbbildern. 1983 wurden die ersten SIRDS von Tyler hergestellt. Ein Autostereogramm welches mit dem Parallelblick dreidimensional zu sehen war. Ein Autostereogramm ist ein Rasterbild mit sich wiederholenden Mustern. Die räumliche Information entsteht durch Wiederholungen des Bildes in geringen Größenunterschieden. Ausgangspunkt ist ein Bild mit sehr großen Tiefeninformationen. Die Algorithmen zur Berechnung von Autostereogrammen gehen davon aus, dass der Abstand  $D$  der "far plane" zur Bildebene gleich groß ist wie der Abstand des Betrachters zur Bildebene.



Lage der Bildebene von "near plane" zu "far plane".  
Das 3D Bild wird im Bereich zwischen "near plane" und "far plane" sichtbar.



Beispiel zweier Bilder mit sehr guter Tiefeninformation

## Beispiele von Autostereogrammen



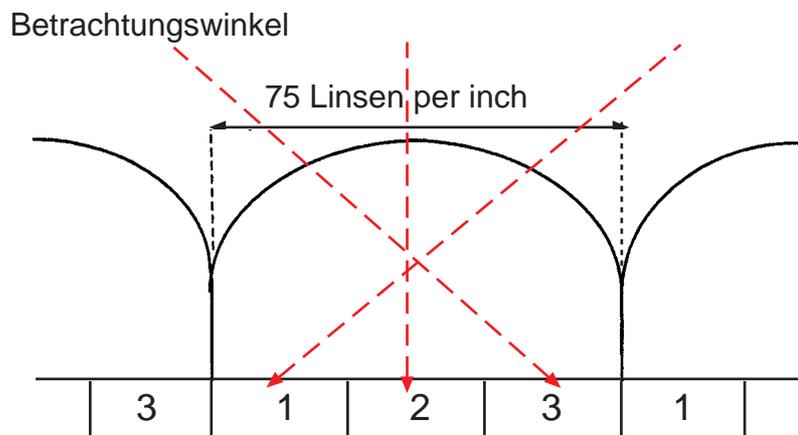
# Lenticular

Die Lenticulartechnik, auch Linsenrasterdrucke oder einfach Wackelbilder genannt, haben mit der Holografie und anderen 3D Techniken nichts zu tun.

Die Erfindung von Berthier und Benschoten geht zurück in die dreißiger Jahre und wurde von M. Bonnet weiterentwickelt. Diese Versuche wurden mit optischen Glasrastern durchgeführt und waren zur Massenherstellung nicht geeignet. Mitte der vierziger Jahre waren die ersten Kunststofffolien für diese Technik am Markt. Es gibt grundsätzlich zwei Verfahren in der Drucktechnik. Erstens bedruckt man das Papier und bringt dieses im Nasskaschierverfahren auf die Folie. Zweitens wird die Folie im UV-Offset direkt bedruckt (Hinterglas) und mit weiß abgedeckt. Da die Folien mit weniger lpi's (lenses per inch) auch an Dicke zunehmen ist das direkt bedrucken limitiert. Die Kunststofffolie ist meistens eine modifizierte PET Folie, da dieses Material dimensionsstabil ist und auch eine gute shorehärte aufweist. Die Folie hat einen leichten Grauschleier, wodurch die Farben beim Endprodukt auch leicht beeinträchtigt werden.

Das Grundprinzip ist, dass unter jeder Linse Streifenbilder liegen und durch den unterschiedlichen Betrachtungswinkel ein anderes Bild erscheint. Vom einfachen Kippbild bis zu Bewegungsabläufen ist diese Technik geeignet unterschiedliche Bilder mit nur einem Druckvorgang herzustellen. Je mehr Streifenbilder unter einer Linse sind, desto geringer ist auch der Betrachtungswinkel des Einzelbildes. Bei Kippbildern ist die Linse meistens waagrecht. Beispiel: 75 lpi (lenses per inch)= ca. 31 Linsen pro Zentimeter

## Schemazeichnung eines dreifach Kippbildes



Ansicht eines fertig geschnittenen zweifach Kippbildes. Natürlich ist der Kippeffekt nur beim darüberlegen einer entsprechenden Folie sichtbar.

# Lenticular 2

1960 entwickelte die Eastman Chemical (Kodak Konzern) ein Verfahren, welches von nur einem Ausgangsbild ein 3D Linsenrasterbild gestattete. Dieses Verfahren wurde hauptsächlich für Postkarten verwendet und heute ist dieses Verfahren in der Werbung sehr beliebt.

Da es sich auch hier um Tiefenbilder handelt, ist die Gestaltung des Motives sehr wichtig. Wie in der Stereofotografie sind mindestens drei Ebenen einzuplanen. Je mehr Ebenen, desto besser der 3D Effekt. In einem Fotobearbeitungsprogramm werden die einzelnen Ebenen frei gestellt, wobei man mit der hintersten Ebene beginnt. Die nächsten Ebenen müssen alle einen Überfüller haben, da es sonst zu "Blitzern" kommen kann. Die Tiefe sollte nicht zu stark angelegt werden, da mit zu großer Tiefenwirkung durch die Lichtbrechung der Folie auch die Unschärfe zunimmt.

Da die Lenticularfolie auch optischen Gesetzen unterliegt ist die Wahl der lpi's der Folie wichtig. Handelt es sich um ein Produkt welches man nur in etwa Armlänge betrachtet, so ist eine Folie von mindestens 65 lpi's zu wählen (besser 75 lpi). Ist es ein Poster DIN A3 wählt man zum Beispiel eine Folie mit ca. 60 lpi's. Da viele Streifenbilder unter einer Linse liegen, bewirkt eine Verschiebung des Druckes um nur ein Prozent ein schlechtes Kippbild, das heißt, es kippt nicht vollständig weg. Ein Problem ist ebenso das "ghosting", und bedeutet, dass ein Teil des zweiten Bildes noch schwach sichtbar ist. Abhilfe kann man schaffen wenn man zwischen den zwei Bildern ein mittleres Graubild einbaut. Allerdings wird dadurch auch der Betrachtungswinkel eingeengt. Es ist bereits bei der Gestaltung der Grafik darauf zu achten, dass keine zu starken Helligkeitsunterschiede bei den Bildern sind. Je stärker die Helligkeitsunterschiede, desto stärker auch das ghosting. Bei 3D Lenticularbildern sind die Linsen immer senkrecht. Je größer das Bild ist, desto geringer ist die Linsenanzahl per inch.

20 lpi = 7,87 Linsen pro cm

30 lpi = 11,81 Linsen pro cm

50 lpi = 19,68 Linsen pro cm

60 lpi = 23,62 Linsen pro cm

75 lpi = 29,52 Linsen pro cm



Fertig geschnittenes 3D Bild mit drei Ebenen. Nur sichtbar wenn eine entsprechende Lenticularfolie aufgelegt wird.

# Lenticular 3

Lenticularbilder lassen sich auch mittels Fotografien herstellen. 1980 waren es J.R. Nims und Kowk Wah Lo die die heute schon legendäre NIMSLO auf den Markt brachten. Es war ein Fotoapparat mit vier Optiken. Die Filme musste man allerdings zum Hersteller des Fotoapparates schicken = aufwendig und teuer. Weitere Hersteller brachten Kameras mit drei Optiken auf den Markt und der Film muss ebenso zum Hersteller gesendet werden. Besser haben sich sogenannte Wegwerfkameras bewährt. Die Bildqualität lässt sich natürlich nicht mit herkömmlichen Fotografien vergleichen, aber der 3D Effekt ist doch sehr gut. Die Aufnahmemotive sollten nicht weiter als in fünf Meter Entfernung maximal liegen. Auch hier gilt wie in der Stereofotografie, je mehr Ebenen das Motiv besitzt, desto besser ist der 3D Effekt.



Linsenrasterkamera mit drei Objektiven



Sogenannte Wegwerfkamera - sie wird zum Hersteller gesandt, wo die Bilder ausgearbeitet werden.

# Resümee

Bei der Durcharbeit und Betrachtung aller gängigen und zurzeit möglichen 3D Techniken hat die Holografie eindeutig einen Vorsprung. In keiner Technik ist die Anwendung derart weitreichend. Von optischer, akustischer und synthetischer Holografie reicht das Angebot von Kunst über Werbung bis hin zu den rein technischen Bereichen wie Interferometrie, HOE, Datenspeicher und Sicherheitstechnik. Gerade in den technischen Bereichen hat die Holografie längst Einzug gehalten und ist von einigen Produktionen nicht mehr wegzudenken. In Hinblick auf die relativ kurze Geschichte dieses Mediums ist schon ein sehr großer Fortschritt erreicht worden. Nehmen wir den Zeitpunkt der Entstehung der Fotografie bis zum jetzigen Stadium - über 160 Jahre, so ist in der Technik der Holografie jetzt über 50 Jahre, noch sehr viel zu erwarten. Wir können davon ausgehen, dass die Holografie vielleicht einmal ohne Laser hergestellt werden kann und auf rein rechnerischer Basis erstellt wird. Sicherlich wird auch der Weißlichtlaser im TEM00 mode große Fortschritte in der Echtfarbholografie bringen. Die Gesamtentwicklung ist bisher erst die Spitze eines Eisberges. Quo vadis Holografie?

Die anderen 3D Techniken haben natürlich ihren Stellenwert, sind aber doch nur sehr temporär einzusetzen. Stereo und Anaglyphen haben ihre Berechtigung in der Vermessung, Werbung usw. Der große Nachteil liegt in der Betrachtung, da ein Hilfsmittel (Brille) benötigt wird. Die Autostereogramme sind auch erst nach einiger Übung ohne Probleme zu sehen, werden aber doch in der Werbung fallweise wieder eingesetzt. Lenticularprodukte haben hier eine viel größere Zukunft, da der technische Bereich noch ausbaufähig ist. Hinterleuchtete Poster, wie schon von der Firma Kodak vor einigen Jahren präsentiert, werden beweglich. Natürlich unterliegen diese 3D Techniken dem Zeitverfall, werden aber immer wieder periodisch in der Werbung eingesetzt werden. Jedenfalls erreichen diese Techniken immer wieder einen hohen Aufmerksamkeitswert, auch wenn die Kosten höher als bei einem Standarddruckwerk liegen, haben sie einen besonderen Werbewirkungsgrad. Langzeitwerbung.

3D war und ist für den Menschen immer noch eine Faszination. Dies ist auch der Grund warum alle bisher bekannten 3D Techniken immer wieder aufgegriffen werden und technische Verbesserungen auch hier sicherlich zu erwarten sind. **Je mehr Wissen man von diesen Techniken besitzt, desto effizienter kann man sie auch einsetzen.**