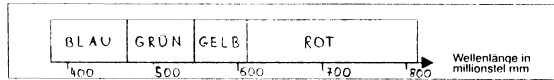


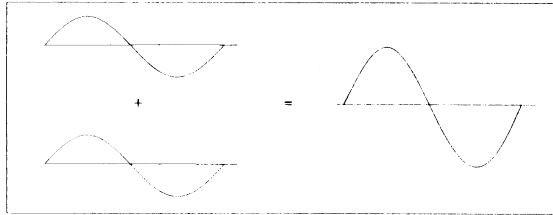
Licht ist eine Welle

Licht breitet sich von einer Lichtquelle in Form einer Welle aus, ähnlich den Wellen auf einer Wasseroberfläche. Da das Licht verschiedene Farben haben kann, muß es ein Unterscheidungsmerkmal zwischen den verschiedenen Wellen geben: die **WELLENLÄNGE**.

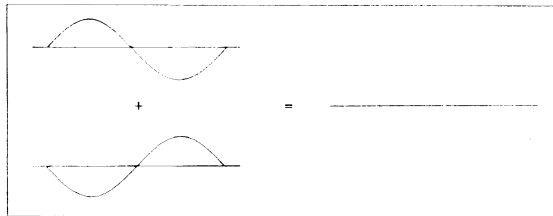


Sichtbares Spektrum

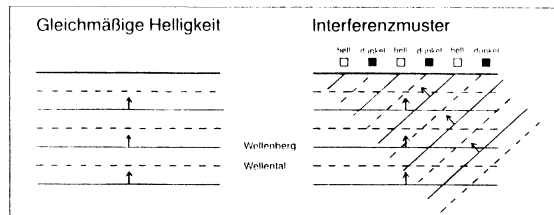
Je nach der Wellenlänge des Lichts, das in unser Auge fällt, sehen wir also eine andere Farbe. Treffen nun zwei Lichtwellen gleicher Wellenlänge — also auch gleicher Farbe — zusammen, so geschieht folgendes:



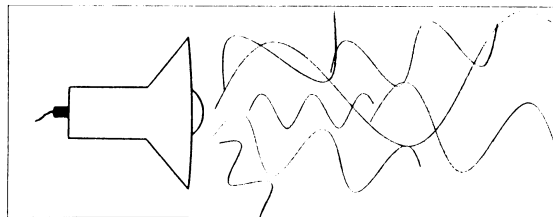
trifft Wellenberg auf Wellenberg, so ergibt sich eine besonders hohe Welle;



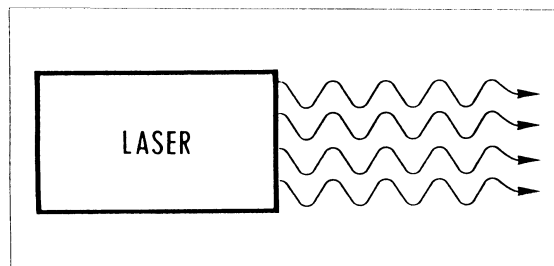
trifft Wellenberg auf Wellental, so löschen sich beide Wellen aus.



Allgemein spricht man bei der Überlagerung von Wellen gleicher Wellenlänge von **Interferenz**. Wenn nur eine Lichtwelle auf eine Wand fällt, so wird diese gleichmäßig hell ausgeleuchtet. Läßt man nun noch eine Welle der exakt gleichen Farbe aus einer anderen Richtung auf die Wand treffen, so kann man dort ein Muster erkennen, das durch die Überlagerung beider Wellen zustandekommt.



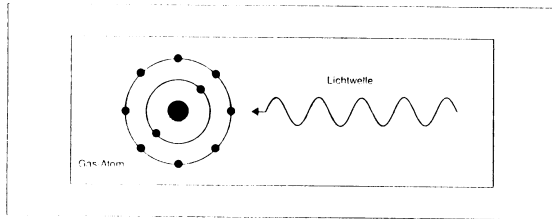
Warum beobachtet man solche Muster nicht auch im täglichen Leben? Wenn z. B. zwei Lampen einen Tisch beleuchten, so sollte es doch auf dem Tisch irgendwo auch dunkle Stellen geben. Nun, eine alltägliche Lichtquelle sendet Lichtwellen aller Farben in zufälliger Reihenfolge und Zeitdauer aus. Deshalb erscheint uns das Licht weiß.



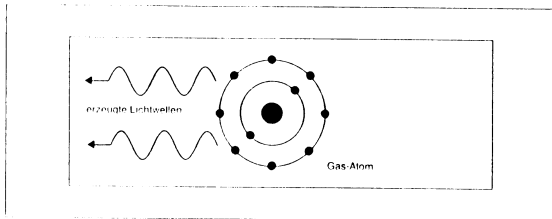
Die Interferenz funktioniert aber nur dann, wenn zwei Wellen am gleichen Ort im gleichen Takt schwingen. Im gleichen Takt schwingen bedeutet gleiche Wellenlänge. Diese Bedingung des gleichen Taktes am gleichen Ort nennt man **Kohärenz**. Wegen dem „Chaos“ im weißen Licht einer alltäglichen Lampe ist es aber praktisch unmöglich, daß sich z. B. zwei „rote Wellen“ am gleichen Ort treffen. Normale Lichtquellen sind deshalb inkohärent. Um die Eigenschaft des Lichts, sich verstärken oder auslöschen zu können, für die Holographie auszunutzen, benötigt man eine Lichtquelle, die Licht nur in einer Wellenlänge ausstrahlt, die also möglichst kohärent ist: den **Laser**. Beim Laser schwingt das Licht im fast idealen Gleichtakt.

Der Laser

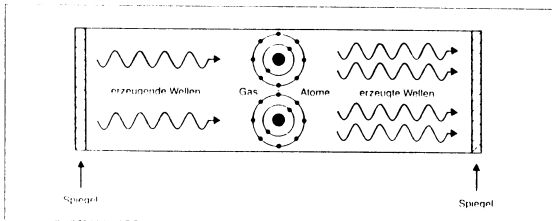
Als neuartige Lichtquelle mit bisher unerreichten Eigenschaften hat der Laser seit seinem Erfindungsjahr 1960 die klassische Optik revolutioniert. Die Vorzüge des Laserlichts gegenüber dem Licht herkömmlicher Lichtquellen sind die exakte Einfarbigkeit, die scharfe Bündelung des Lichtstrahls und seine hohe Kohärenz, also Interferenzfähigkeit. Diese Eigenschaften erreicht man bei allen Lasertypen nach dem gleichen Grundprinzip:



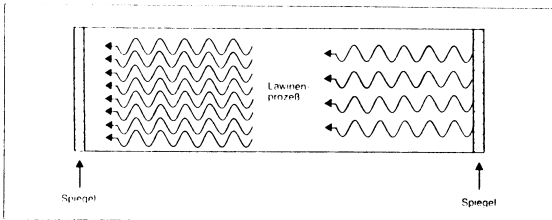
Zunächst wird ein Medium, z. B. ein Gas, mit Energie vollgepumpt. Fast alle Gasteilchen haben dann mehr Energie als vorher, z. B. schwingen sie stärker. Trifft dann eine Lichtwelle auf ein solches Gasteilchen, so wird dieses dazu gezwungen (stimuliert) seine Energie ebenfalls in Form von Licht abzugeben.



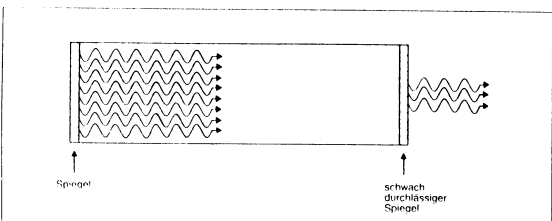
Die so zusätzlich entstandene Lichtwelle hat genau die gleiche Wellenlänge wie die erste und wird auch in die gleiche Richtung ausgesendet.



Stellt man das Medium jetzt zwischen zwei parallele Spiegel, so wird das Licht immer hin und her reflektiert, wodurch immer wieder Teilchen gezwungen werden, ihrerseits Licht auszusenden.



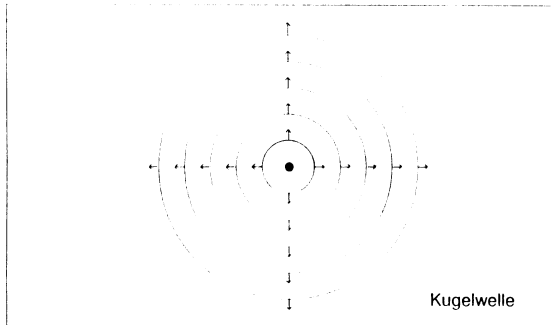
Es entsteht also ein lawinenartiger Verstärkungsprozess.



Wenn einer der beiden Spiegel schwach durchlässig ist, tritt ein kleiner Teil des Lichts als scharf gebündelter Laserstrahl aus, der Rest sorgt für die Aufrechterhaltung des Prozesses innerhalb des Mediums.

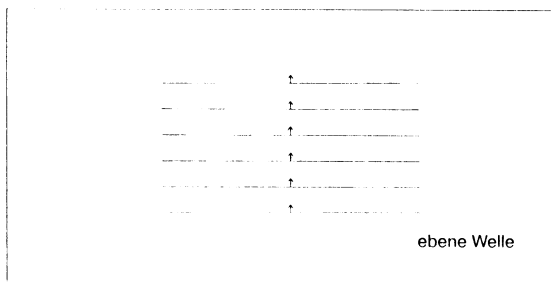
Die Vielzahl verschiedener Lasertypen läßt sich danach einteilen, welches aktive Medium verwendet wird. Es gibt Gas-Laser, Festkörper-Laser, Farbstoff-Laser, Halbleiter-Laser und noch einige andere mehr. Die Anwendungen des Lasers sind praktisch unbegrenzt und reichen von der Medizin (Chirurgie) über Materialbearbeitung (schweißen, härten . . .) bis hin zur Datenverarbeitung (Lichtcomputer) und Unterhaltungselektronik (CD-Player, Laser-Light-Shows).

Zonenplatten — Mehr als nur Kreise



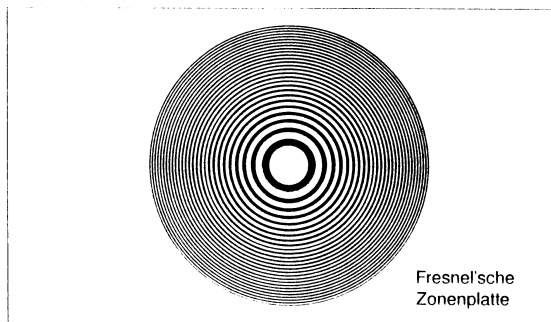
Kugelwelle

Stellen Sie sich vor, Sie tauchen einen Finger schnell hintereinander immer an die gleiche Stelle in eine Wasseroberfläche. Dann beobachten Sie kreisförmige Wellen, die von dieser Stelle ausgehen. Ganz ähnlich wirft ein punktförmiges Objekt das Licht, mit dem es beleuchtet wird, in Form einer Kugelwelle zurück.



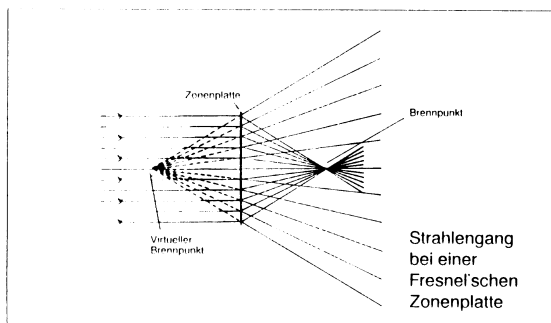
ebene Welle

Eine andere Form der Welle ist die ebene Welle, die z. B. im Wasser dadurch entsteht, wenn man anstatt des Fingers einen beliebig langen geraden Gegenstand nähme; etwa ein sehr langes Lineal.



Fresnel'sche Zonenplatte

Überlagert man nun eine Kugellichtwelle einer ebenen Lichtwelle, so sollte sich ja ein Interferenzmuster ergeben, vorausgesetzt beide Wellen haben die gleiche Wellenlänge. Dies ist in der Tat so; das Muster hat wegen seiner großen Bedeutung sogar einen Namen: die **Fresnel'sche Zonenplatte**



Strahlengang bei einer Fresnel'schen Zonenplatte

Ihre große Bedeutung erlangt diese Zonenplatte unter anderem dadurch, daß sie die gleichen Eigenschaften wie eine Sammellinse und eine Zerstreuungslinse zugleich hat. Beleuchtet man die Zonenplatte mit einer ebenen Welle, so wird das Licht zum einen wie bei einer Sammellinse in einem Punkt, dem Brennpunkt, vereinigt; zum anderen wird der Lichtstrahl wie bei einer Zerstreuungslinse aufgeweitet, so daß man den Eindruck erhält, er käme von einem Punkt hinter der Zonenplatte (scheinbarer oder virtueller Brennpunkt).

Man sieht also einen nicht wirklich existierenden leuchtenden Punkt hinter der Zonenplatte, der genau dem entspricht mit dessen Kugelwelle die Zonenplatte erzeugt wurde. Dies ist bereits die einfachste Form eines Hologramms: man kann den Punkt durch bloßes Hinschauen nicht von seinem Original unterscheiden.

Holooptics, Inhaber Jörg Schweer E.K.

Waldmannsweg 20

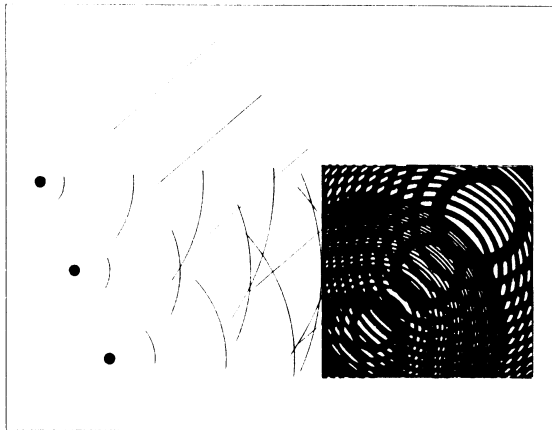
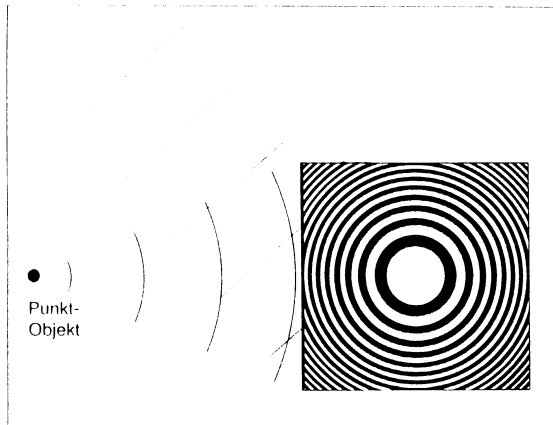
D-26133 Oldenburg

Telefon 0441 485 53 00

Telefax 0441 485 53 33

home: [optics.de](http://www.holo<span style=)

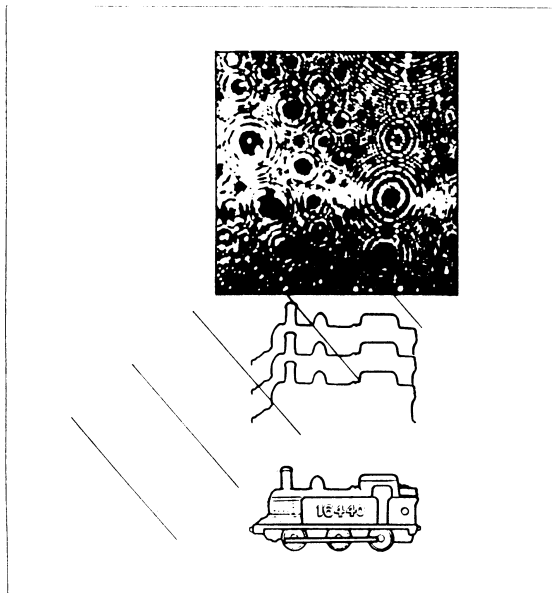
e-mail: [optics.de](mailto:info@holo<span style=)



Läßt man die Kugelwellen mehrerer Punkte mit einer ebenen Welle interferieren, so überlagern sich die Fresnel-Zonen der einzelnen Punkte.

Je mehr Punkte dazukommen, desto verwirrender wird das „Muster“.

Man kann sich vorstellen, daß ein Gegenstand wie bei einem Zeitungs- oder Fernsehbild aus einzelnen Punkten besteht. Jeder dieser Punkte sendet nun eine Kugelwelle aus, die bei Überlagerung mit einer ebenen Welle eine Fresnel-Zone ergibt. Das resultierende Interferenzbild (das Hologramm) hat scheinbar nichts mit dem Gegenstand gemeinsam, durch den es entstanden ist. Erneut mit der ebenen Welle bestrahlt, erzeugt es jedoch ein naturgetreues dreidimensionales Bild des Gegenstandes.



Holo*optics, Inhaber Jörg Schweer E.K.

Waldmannsweg 20

D-26133 Oldenburg

Telefon 0441 485 53 00

Telefax 0441 485 53 33

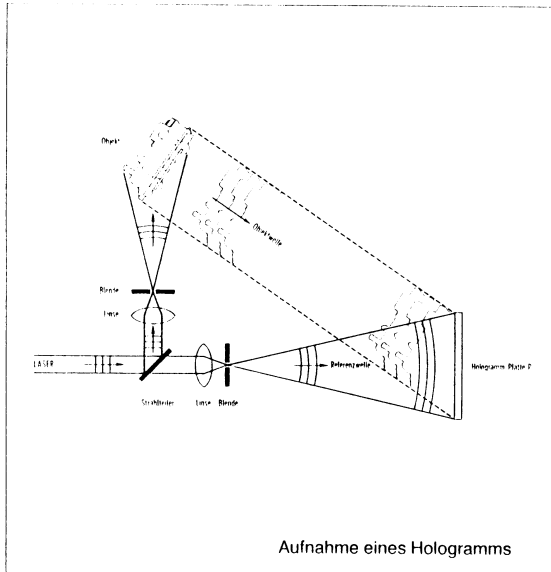
home: [*optics.de">www.holo*optics.de](http://www.holo<span style=)

e-mail: [*optics.de">info@holo*optics.de](mailto:info@holo<span style=)

Das Hologramm

Eigenschaften, Entstehung, Wiedergabe

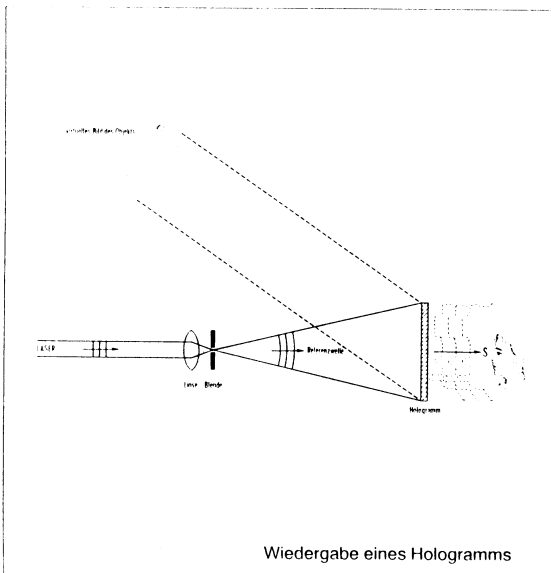
Ein Hologramm kann man am treffendsten mit einem Fenster vergleichen, durch das man den Gegenstand betrachtet. Man kann ihn in jeder Perspektive sehen, die das Fenster zuläßt. Verdeckt man das Fenster nun bis auf einen kleinen Teil. (das hieße, man nimmt nur einen kleinen Splitter des Hologramms) so kann man den Gegenstand nur noch in der Perspektive betrachten, die durch dieses Bruchstück festgelegt ist. Der Unterschied zum Hologramm besteht nur darin, daß dort gar kein Gegenstand vorhanden ist. Der Trick dabei ist, daß jede Perspektive auf dem dazugehörigen Teil des Hologramms gespeichert ist. Man sieht also durch dieses „Fenster“ ein **echtes** dreidimensionales Bild, es ist **keine** optische Täuschung, wie z.B. bei der Stereophotographie. Durch bloße Beobachtung kann man das Bild des Gegenstands nicht von seinem Original unterscheiden.



Aufnahme eines Hologramms

Wie kann denn nun jede Perspektive eines Gegenstands auf einer Photoplatte oder einem Film gespeichert werden? Dies geschieht dadurch, daß sich das vom Gegenstand ausgehende Licht, die **Objektwelle**, mit dem direkt vom Laser kommenden Licht, der **Referenzwelle**, auf den Film überlagert. Dort bildet sich dann ein verwirrendes Interferenzmuster, das aus sehr vielen Fresnel'schen Zonenplatten besteht. An jeder Stelle des Films befindet sich aber ein anderer Teil jeder Zonenplatte, so daß insgesamt eine andere Perspektive entsteht. Der prinzipielle Aufbau, um ein Hologramm aufzuzeichnen sieht so aus:

Abschließend wird die belichtete Hologramm-Platte noch entwickelt — das Hologramm ist fertig.



Wiedergabe eines Hologramms

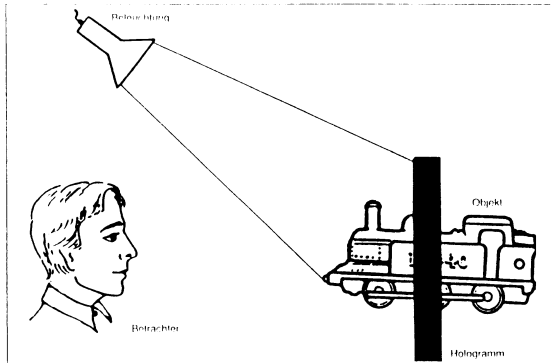
Beleuchtet man das Hologramm wieder mit der Referenzwelle, so wird das Licht durch das Interferenzmuster so abgelenkt, daß man den Eindruck erhält, es käme von dem ursprünglich aufgenommenen Gegenstand. Bei der Wiedergabe entsteht also die Objektwelle (das Bild des Objekts) durch die Referenzwelle und das Interferenzmuster, bei der Aufnahme entsteht das Interferenzmuster durch die Referenzwelle und die Objektwelle (der Gegenstand selber). Die Referenzwelle ist also bei Aufnahme und Wiedergabe unbedingt nötig.

Warum man die hier gezeigten Hologramme auch bei normalem, weißen Licht betrachten kann ist nicht ganz einfach zu verstehen. Solch ein **Weißlicht-Hologramm** sucht sich das richtige Licht nämlich selbst aus!

Hologrammtypen

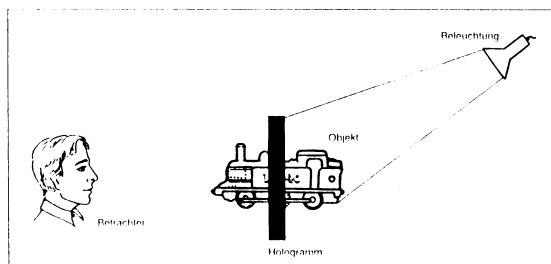
Es gibt inzwischen so viele Techniken um Hologramme aufzunehmen, daß selbst dem Fachmann nicht mehr alle bekannt sind. Grundsätzlich läßt sich jedoch folgendes sagen:

- alle Hologrammtypen werden mit Laserlicht aufgenommen
- die grundlegendste Einteilung aller Hologramme ist die in **Transmissions-** und **Reflexions-Hologramme**



Weißlichtreflexionshologramm

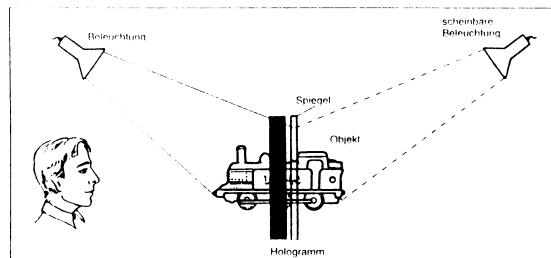
Reflexions-Hologramme werden immer mit „normalen“ Lampen beleuchtet. Diese müssen sich auf der gleichen Seite des Hologramms wie der Betrachter befinden. Weißlichtreflexions-Hologramme wirken im Normalfall einfarbig, wechseln aber unter extremen Blickwinkeln ihren Farbton ein wenig.



Transmissionshologramm

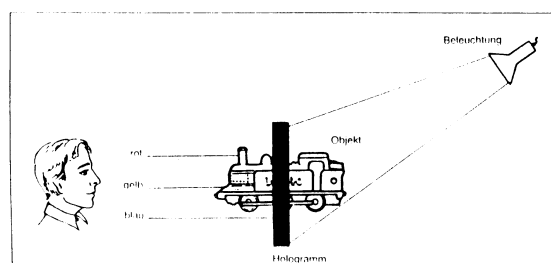
Während Reflexions-Hologramme immer mit weißem Licht wiedergegeben werden, unterscheidet man bei Transmissions-Hologrammen zwischen **Lasertransmissions-** und **Weißlichttransmissions-Hologrammen**.

Beim Transmissions-Hologramm befindet sich die Lichtquelle vom Betrachter aus gesehen hinter der Hologrammplatte. Sollte dies aus Platzgründen nicht möglich sein, bringt man hinter dem Hologramm einen Spiegel an, so daß das Licht von hinten zu kommen scheint.



verspiegeltes Transmissionshologramm

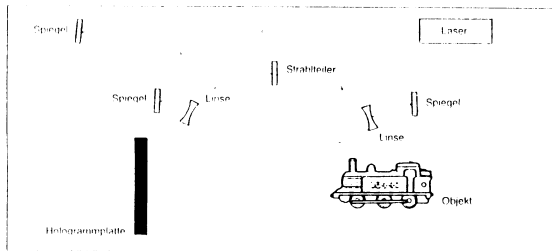
Der älteste und wichtigste Hologrammtyp ist das Lasertransmissions-Hologramm. Man nennt es auch **Masterhologramm**, da es als Original dient, um Weißlichtkopien herzustellen. Die Wiedergabe geschieht hier durch einen aufgeweiteten Laserstrahl. Im Labor werden praktisch nur Lasertransmissions-Hologramme verwendet, im kommerziellen Bereich dienen sie als Vorlage für Kopien. Beleuchtet man ein solches Hologramm mit weißem Licht, so ist kein scharfes Bild zu erkennen, da das Hologramm das Bild für jeden Farbanteil des Lichts an einer etwas anderen Stelle formt. Das Ergebnis ist ein verwaschener bunter Fleck.



Regenbogenhologramm

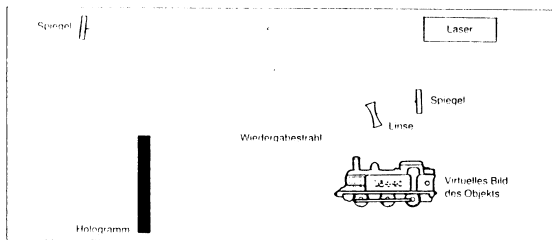
Das Weißlichttransmission-Hologramm wird auch **Regenbogen-Hologramm** genannt, da es nacheinander die verschiedenen Farben des Regenbogens annimmt, wenn der Betrachter seinen Kopf auf und ab bewegt. Der Trick bei der Aufnahme eines Regenbogen-Hologramms besteht darin, daß nur ein wenige Millimeter breiter waagerechter Ausschnitt des Masterhologramms auf die sog. Tochterplatte kopiert wird. Dadurch wird der oben beschriebene Farbfehler so groß, daß sich die verschiedenfarbigen Einzelbilder gar nicht mehr überlappen, sondern einzeln betrachten lassen.

Aufnahmetechnik



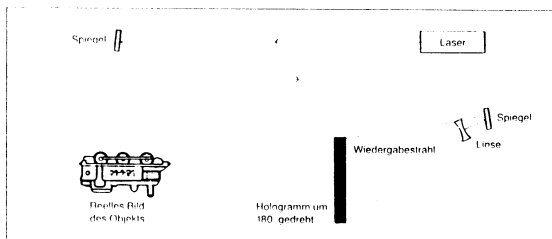
Aufnahme eines Lasertransmissions-Hologramms

Bei der Aufnahme eines Lasertransmissions-Hologramms wird das Laserlicht durch einen halbdurchlässigen Spiegel geteilt und mit dem einen Teil das Objekt beleuchtet. Der andere Teil fällt aufgeweitet als Referenzstrahl auf die Fotoplatte. Durch Interferenz des vom Objekt zurückgestreuten Lichts mit dem Referenzlicht entsteht das Masterhologramm. Nach dem Entwicklungsprozeß ist das Hologramm fertiggestellt. Je nach Stellung zu einem aufgeweiteten Laserstrahl kann es nun zwei unterschiedliche Bilder wiedergeben:



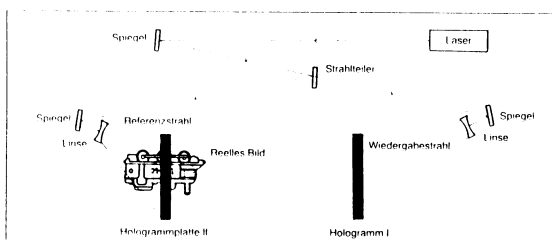
Virtuelles Bild eines Hologramms

Kommt die Beleuchtung aus der gleichen Richtung wie der Referenzstrahl bei der Aufnahme, so wird ein virtuelles (scheinbares) Bild des Objektes erzeugt. Es steht an der gleichen Stelle, an der der wirkliche Gegenstand bei der Aufnahme stand.



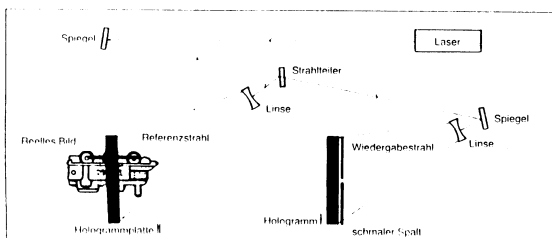
Reelles Bild des Hologramms

Dreht man die Hologrammplatte um 180 Grad, so entsteht ein reelles Bild des Objektes vor der Platte. Dieses pseudoskopische Bild hat sehr merkwürdige Eigenschaften: der Gegenstand erscheint völlig „umgestülpt“. Was nach innen gewölbt war erscheint plötzlich außen und der Hintergrund verdeckt den Vordergrund. Im Gegensatz zum virtuellen Bild kann das reelle Bild jedoch auf eine Fläche projiziert werden, z.B. ein Blatt Papier oder eine zweite Hologrammplatte.



Kopieren eines Masterhologramms I auf ein Weißlichtreflexions-Hologramm II

Beim Kopieren des Lasertransmissions-Hologramms I dient sein reelles Bild als Objekt für das zu fertigende Weißlichtreflexions-Hologramm II. Dreht man es nach seiner Belichtung und Entwicklung um 180 Grad und beleuchtet es aus der Richtung des Referenzstrahls mit weißem Licht, so entsteht ein originalgetreues Bild des ursprünglichen Objektes.



Kopieren eines Masterhologramms auf ein Regenbogen-Hologramm II

Beim Kopieren auf ein Regenbogen-Hologramm fällt der Referenzstrahl von der entgegengesetzten Seite auf die Fotoplatte, da man ein Transmissions-Hologramm erzeugen möchte. Außerdem wird das Masterhologramm bis auf einen schmalen waagerechten Spalt abgedeckt. Da ja jedes kleine Stück des Hologramms das ganze Objekt wiedergibt, bleibt also von links nach rechts jeder Blickwinkel auf der Kopie erhalten. Nur von oben nach unten ändert sich die Farbe des Gegenstands, nicht seine Perspektive.

Anwendungen der Holographie

Seit der Erfindung des Lasers 1960 entwickelte sich die Holographie von einer physikalischen Kuriosität zu einer Hochtechnologie, die sich aus vielen Anwendungsbereichen nicht mehr wegdenken läßt.

Kunst und Werbung:

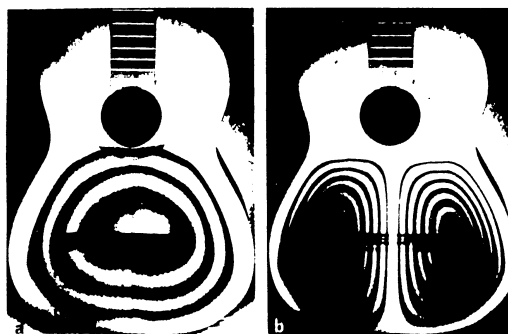
Die meisten der hier ausgestellten Hologramme sind Kunstobjekte. Mittlerweile lösen sich die Künstler von der Darstellung dreidimensionaler Objekte und schaffen durch freieren Umgang mit dem Medium Holographie eigene Kompositionen in Raum und Farbe. Werbeagenturen bedienen sich zunehmend der Holographie um neue Produkte in allen Einzelheiten darstellen zu können.

Architektur und Innenarchitektur:

Durch die Entwicklung der Holographie in jüngster Zeit lassen sich völlig neue Raumeindrücke erzielen: bis zu mehreren Quadratmetern große Hologramme scheinen kleine Räume zu einer Seite hin zu öffnen; große Räume werden zur Traumlandschaft und ein Schaufenster braucht nicht mehr tiefer als ein Poster zu sein. In der Architektur besteht die Möglichkeit, Bauwerke durch Hologramme räumlich zu skizzieren, so daß der Schritt über das Modell bald eingespart werden kann.



Interferogramm eines Autoreifens unter Belastung
Die Pfeile markieren Materialfehler.



Interferogramm einer Gitarre bei zwei verschiedenen Tönen
a: 185 Hz, b: 285 Hz

Zerstörungsfreie Materialprüfung:

Die holographische Interferometrie als berührungsloses Prüfverfahren hat sich als Meßtechnik in vielen Anwendungen bewährt. Das physikalische Prinzip macht aus der Not der Holographie-Künstler eine Tugend. Bewegt sich der Gegenstand während der Aufnahme auch nur ein tausendstel Millimeter, so entstehen auf dem Hologramm dunkle Ringe. Belastet man also z. B. einen Autoreifen während der Aufnahme, so sind auf dem Hologramm die Stellen zu erkennen, die besonders stark deformiert wurden. Diese Technik wird neuerdings auch in der Medizin angewandt um z. B. die Elastizität von Gewebe oder die Durchlässigkeit von Eileitern zu prüfen.

Holooptics, Inhaber Jörg Schweer E.K.

Waldmannsweg 20

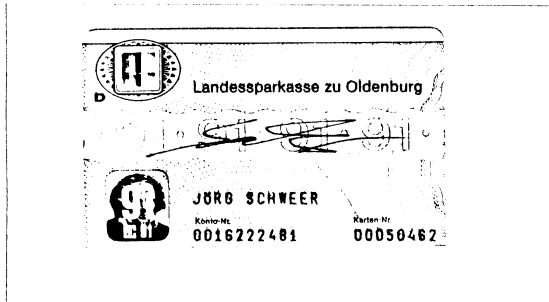
D-26133 Oldenburg

Telefon 0441 485 53 00

Telefax 0441 485 53 33

home: [optics.de">www.holooptics.de](http://www.holo<span style=)

e-mail: [optics.de">info@holooptics.de](mailto:info@holo<span style=)



Echtheitssicherung:

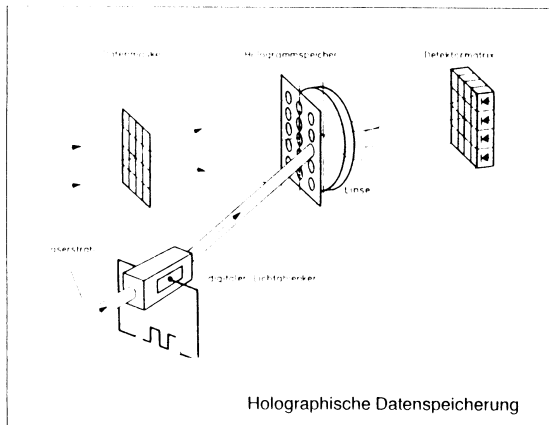
Wegen der speziellen Eigenschaften eines Hologramms läßt es sich nur mit hohem technischen Aufwand kopieren. Dadurch bieten sich Hologramme besonders zur Herstellung fälschungssicherer Dokumente an. So können Ausweise, Scheckkarten, Geldscheine und Exklusivprodukte vor unerlaubter Nachahmung geschützt werden.

Holographisch-optische Elemente (HOE):

Ähnlich wie in der Mikroelektronik die Funktion zentnerschwerer Geräte auf einem winzigen Chip untergebracht werden kann, so speichert ein holographisch-optisches Element die Eigenschaften komplizierter optischer Systeme auf einem briefmarkengroßen Stück Film. In Zukunft können sperrige Kameraobjekte durch kleine Plättchen ersetzt werden. Holographische Kontaktlinsen sind nicht mehr durch die Brennweite eingeschränkt und werden die Eigenschaften einer Bifokalbrille annehmen.

Datenspeicherung:

Auch der optische Computer, wie auch immer er letztlich aussehen möge, wird gewiß einige holographische Elemente enthalten. So können elektronische Bauteile durch holographisch-optische Elemente ersetzt werden und Daten werden durch holographische Methoden mit sehr großer Kapazität und Zuverlässigkeit gespeichert. Schon heute werden ganze Telefonbücher in zuckerstückgroßen elektrooptischen Kristallen gespeichert. Theoretisch lassen sich über eine Billion Bits in einem Kubikzentimeter holographischen Materials speichern.



Synthetische Hologramme:

Da ein Hologramm nur aus Schwärzungsunterschieden besteht, läßt es sich theoretisch auf dem Bildschirm eines Computers simulieren. Man könnte so das dreidimensionale Bild eines nicht wirklich existierenden Gegenstands darstellen. Da die Berechnung der Hologrammstruktur jedoch äußerst kompliziert ist, ist die Entwicklung auf diesem Gebiet noch nicht sehr weit fortgeschritten. Der Computer erlaubt es aber, jede mögliche Perspektive eines fiktiven Objekts zu zeigen. Wenn diese nun nacheinander auf der entsprechenden Stelle eines Hologramms gespeichert werden, erhält man ebenfalls ein dreidimensionales Bild des Gegenstands.