

Beispielarbeit Jugend forscht

Holographie auf dem Küchentisch - Die wirklich einfache Holographieapparatur

von Markus Greiner

KURZFASSUNG

Jeder der ein Hologramm betrachtet, ist fasziniert von der Schönheit und Ästhetik dieser Bilder. Mich hat es immer gereizt, Hologramme selber aufzunehmen. In der Literatur habe ich jedoch gelesen, welchen Aufwand es erfordert, Hologramme herzustellen. Die größten dort angesprochenen Probleme sind die Beschaffung eines geeigneten Lasers und die Erschütterungsempfindlichkeit der Aufnahme-Apparatur.

Angeblich sei es fast unmöglich, Hologramme im Hobbykeller ohne viel Aufwand herzustellen. Dass dies nicht unbedingt stimmen muss, zeigen bereits einige Bastler, denen es gelungen ist, Hologramme aufzunehmen.

So gab es zum Beispiel eine Jugend forscht-Arbeit über die Holographieherstellung mit einem in vielen Schulen vorhandenen optischen System, doch derartige Apparaturen stellten meist entweder Provisorien dar, oder für sie werden teure optische Systeme benötigt. Oft konnten mit ihnen nur einfache und qualitativ schlechte Hologramme hergestellt werden. Es fehlt bislang eine einfache, billige und universelle Apparatur, die jeder interessierte Hobbybastler nachbauen kann, um Hologramme guter Qualität aufzunehmen.

Mir ist es gelungen, eine Apparatur zu entwickeln, mit der man mit jeweils nur geringfügig geänderten Aufbau

- Denisyuk-Weißlichthologramme
- Laserlicht-Transmissionshologramme
- Bildebenenhologramme und
- Regenbogen-Transmissionshologramme herstellen kann.

Dabei ist die Apparatur leicht auf- und abzubauen, aus einfachen Materialien (Holz), erschütterungsunempfindlicher als andere Verfahren, da keine Strahlteilung stattfindet, und nicht zuletzt sehr preisgünstig. Inklusive Laser, Spiegel, Linse, Holz, Film und Photochemie betragen die Kosten etwa 350 DM.

GLIEDERUNG

1. **EINLEITUNG**
2. **AUFNAHME VON HOLOGRAMMEN**
 - 2.1. **Aufbau der Apparatur**
 - 2.2. **Die verschiedenen Hologrammtypen**
 - 2.2.1. **Denisyuk-Weißlicht-Reflexionshologramm**
 - 2.2.2. **Laserlicht-Transmissionshologramm**
 - 2.2.3. **Bildebenenhologramm**
 - 2.2.4. **Regenbogen-Transmissionshologramm**
 - 2.3. **Phototechnische Details**
3. **UNTERSUCHUNGEN UND WEITERENTWICKLUNGEN**
 - 3.1. **Anordnung von Objekt und Filmebene**
 - 3.2. **Vermeidung von Erschütterung**
 - 3.3. **Variation der Aufweitungsoptik**
 - 3.4. **Weitere Experimente**
4. **ZUSAMMENFASSUNG UND ANWENDUNGSGEBIETE**
5. **DANKSAGUNG**
6. **LITERATURVERZEICHNIS**

1. EINLEITUNG

Den ersten Kontakt zur Holographie fand ich im Alter von 11 Jahren: 1984 besuchte ich eine Holographieausstellung im Deutschen Museum und war fasziniert von diesem neuen Medium. Seit dieser Zeit bewegte mich die Frage, ob man auch selber mit einfachen Mitteln Hologramme zu Hause herstellen kann, doch alle Angaben in der Literatur sprachen dagegen. Im letzten Jahr entdeckte ich einen Artikel von Jearl Walker (vgl. Walker, Spektrum der Wissenschaft 8/89), in dem er ein Herstellungsverfahren für einfache Denisyuk-Hologramme beschrieb. Die dort vorgestellte Apparatur war für mich nicht geeignet, da auch diese nicht ganz ohne professionelle und teure Mittel auskam. Doch der Artikel gab mir den entscheidenden Anstoß, mich intensiv mit der Holographie zu beschäftigen. Ich beschaffte mir Informationsmaterial von verschiedenen Fotofirmen und versuchte, aus einfachsten Mitteln eine Holographieapparatur zu konstruieren. Dies gelang mir, und ich konnte damit sofort beim ersten Versuch ein gutes Denisyuk-Hologramm herstellen. Schon dieses erste Hologramm besaß eine so gute Qualität, dass sogar Fachleute erstaunt waren. Diese Erfahrung zeigte mir, dass es entgegen vieler Angaben in der Literatur möglich ist, auch mit einfachsten Mitteln Hologramme herzustellen. Ich forschte weiter und versuchte besonders auf folgende Fragen Antworten zu finden:

- Wie könnte eine sehr einfache und billige Holographieapparatur aussehen, die für alle gängigen Hologrammarten geeignet ist?
- Was sind die kritischen Parameter; was ist zu beachten, damit trotz geringen Aufwands hohe Qualität erzielt wird?

Ich nahm wesentliche Verbesserungen und Erweiterungen an meiner Apparatur vor und untersuchte Einflüsse von Vibration und Konvektion. Im Folgenden stelle ich nun die auf diese Weise optimierte Holographieapparatur vor und berichte anschließend detailliert über einzelne Untersuchungsergebnisse.

2. AUFNAHME VON HOLOGRAMMEN

2.1. Aufbau der Apparatur

Die Holographieapparatur zeichnet sich vor allem durch Einfachheit und Flexibilität aus (Abb.1). Sie ist aus preisgünstigen und leicht zu beschaffenden Teilen aufgebaut. Es werden keine teuren optischen Spezialteile (optische Bank, Linsenhalter, Strahlteiler, schwingungsfreier optischer Tisch etc.) benötigt, die Kosten betragen inklusive Laser, Film, Linse, Photochemie, Holz etc. nur etwa 350 DM. In einem ruhigen, dunklen Raum aufgestellt, kann man mit der Apparatur sehr einfach und schnell:

- Denisyuk-Weißlichthologramme,
- Laserlicht Transmissionshologramme,
- Bildebenen hologramme und
- Regenbogen-Transmissionshologramme von guter Qualität herstellen.

Die Anordnung der Einzelkomponenten (Laser, Linse etc.) bleibt dabei unverändert. Nur der Aufbau auf dem Objektisch wird variiert. Die sonst übliche Teilung des Strahles in Objekt- und Referenzstrahl mittels eines Strahlteilers entfällt. Dies hat zum einen den Vorteil, dass der apparative Aufwand sehr gering ist (kein Strahlteiler, nur eine Aufweitungslinse, geringer Platzbedarf), zum anderen wird auf diese Weise eine große Erschütterungsunempfindlichkeit erreicht (siehe 3.2).

Die Einzelkomponenten stehen lose auf einer etwa 5 cm dicken Spanplatte. Die Platte ist ein Reststück einer Küchenplatte (Ausschnitt für eine Spüle). Durch die Materialbeschaffenheit und die Lagerung auf einem nicht zu stark aufgepumpten Fahrradschlauch wird eine schwingungsarme Arbeitsplatte geschaffen, große Massen sind nicht erforderlich (siehe 3.2).

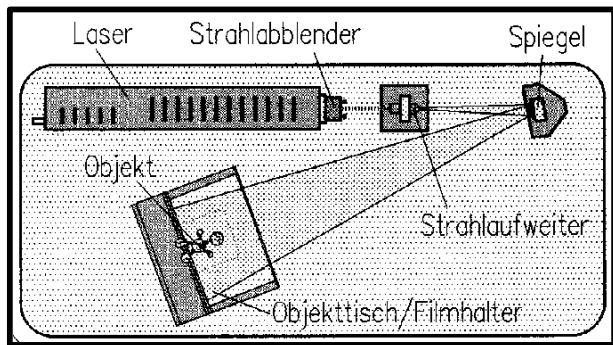


Abb. 1:
Aufbau der
Holographie-
apparatur

Der Laserstrahl kann vom elektronischen Strahlunterbrecher abgeblendet werden. Der Strahl wird vom Strahlaufweiter aufgeweitet und anschließend vom Oberflächenspiegel reflektiert. Schließlich trifft er auf das Objekt und den Film auf dem Objektisch. Als Laser verwende ich einen linear polarisierten 2-mW Helium-Neon-Laser. Der gesamte Laser mit Gehäuse und Netzteil kostet als Bausatz nur etwa 180 DM. Für die Apparatur können auch andere Helium-Neon-Laser verwendet werden, zum Beispiel ein 1-mW-Laser wie er in vielen Schulen vorhanden ist. Hierbei ist entsprechend der halben Ausgangsleistung die Belichtungszeit zu verdoppeln. Jedoch ist darauf zu achten, dass der Laser im TEM₀₀- Mode arbeitet, also ausschließlich longitudinale Lichtwellen ausstrahlt. Er sollte linear polarisiert sein und die Polarisationsrichtung sollte senkrecht zur Aufbauplatte stehen. Zur Aufweitung des Laserstrahls wird eine Linse mit einer kurzen Brennweite benötigt, z.B. ein Mikroskop-Objektiv oder ein Fernrohr-Okular. Im Elektronikfachhandel sind spezielle Laserobjektive zu einem sehr günstigen Preis erhältlich (siehe 3.3.).

Der Objektivhalter besteht aus zwei zugesägten Spanplatten, in denen das Objektiv mit Keilen aus Streichhölzern festgeklemmt wird. Der Halter selbst steht auf drei weiträumig verteilten Holzdübeln, um einen festen Stand zu gewährleisten. Da der Laserstrahl etwas nach oben gerichtet ist und die Linsenhalterung lose auf der Unterlage steht, kann die Linse durch Verschieben des Halters leicht justiert werden: Eine Verschiebung zum Laser hin bewirkt, dass der Laserstrahl die Linse weiter unten trifft und dadurch der aufgeweitete Strahl weiter nach oben gerichtet wird. Analog dazu bewirkt eine seitliche Verschiebung eine horizontale Änderung des Strahls. Ähnlich wie die Linse ist auch der Umlenkspiegel auf einer Halterung aus Holz montiert. Auch diese Halterung steht auf drei Holzdübeln, so dass der Spiegel leicht durch einfaches Herausziehen und Hineindrücken der Dübel und durch Verschiebung des Halters justiert werden kann. Der Spiegel ist ein Oberflächenspiegel der im Elektronikfachhandel erhältlich ist (Showlaserzubehör). Die Belichtungszeit wird durch einen elektronischen Strahlunterbrecher gesteuert (Abb. 2).

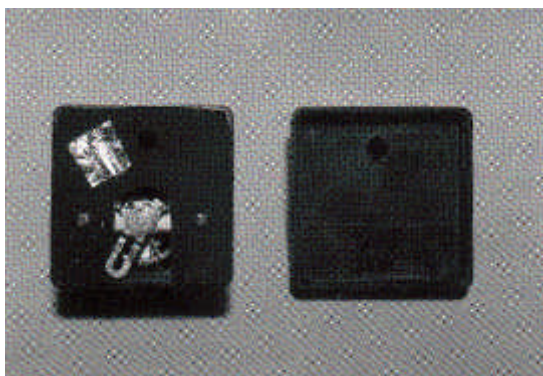


Abb. 2:
Strahlenunterbrecher

Dieser besteht aus einem umgebauten Messwerk, an dessen Zeiger eine Blende befestigt ist. Er ist an eine elektronische Timerschaltung angeschlossen (siehe 3.2.). Die Grundlage des Objektisches bilden zwei Glasplatten, zwischen denen sich der Film befindet. Diese schließen mit der Unterlage einen

Winkel von 34° (Brewsterwinkel) ein. Dadurch werden Reflexionen zwischen den Glasplatten vermieden (siehe 3.1.). Die Platten liegen auf zwei keilförmigen Holzprofilen. Der Objektisch bildet die Grundlage für die Aufbauten zur Herstellung der einzelnen Hologrammtypen, wie sie nachfolgend beschrieben sind.

2.2. Die verschiedenen Hologrammtypen

2.2.1. Denisyuk-Weißlicht-Reflexionshologramm

Das Denisyuk-Hologramm kann im weißen Licht rekonstruiert werden. Dieser Hologrammtyp kann mit der Apparatur besonders einfach hergestellt werden (Abb. 3,4):

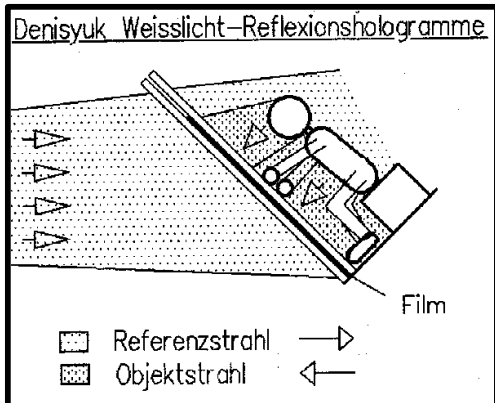


Abb. 3:
Schematische Darstellung der Anordnung von Objekt und Film



Abb. 4:
Foto des Objektisches mit Objekt

Der Film wird zwischen die auf dem Halter liegenden Glasplatten platziert und das Objekt wird auf die Platten gelegt. Der aufgeweitete Laserstrahl strahlt als Referenzwelle durch den transparenten Film und beleuchtet das dahinterliegende Objekt. Das vom Objekt auf den Film reflektierte Licht bildet die Objektwelle. Da das Objekt direkt auf dem Filmhalter liegt, ist diese Anordnung wesentlich erschütterungsunempfindlicher als andere Anordnungen für diesen Hologrammtyp.

2.2.2. Laserlicht-Transmissionshologramm

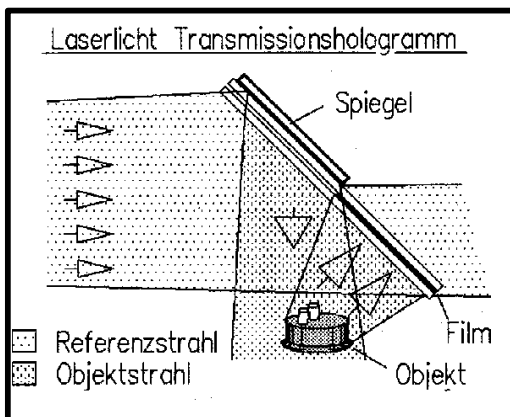


Abb. 5:
Aufbau für Transmissionshologramme

Bei der Herstellung eines Transmissionshologramms trifft die Objekt- und die Referenzwelle von der gleichen Seite her auf den Film. Bei den üblichen Verfahren wird hierzu der Laserstrahl mittels eines Strahlteilers in Objekt- und Referenzstrahl aufgeteilt. Diese Methode hat, wie in 3.2. beschrieben, einige Nachteile. Bei der von mir entwickelten Apparatur wird als Ausgangsbasis der oben beschriebene Objektisch für Reflexionshologramme verwendet.

Das Objekt liegt unterhalb der um 34° geneigten Glasplatten. Im unteren Teil der Platten befindet sich der Film, auf den der Strahl als Referenzwelle trifft. Oberhalb des Filmes liegt ein Spiegel auf den Glasplatten, der den Strahl auf das darunterliegende Objekt reflektiert. Auf diese Weise wird der Strahl erst unmittelbar vor dem Film geteilt. Dieser Hologrammtyp wird im Laserlicht rekonstruiert. Die Bilder besitzen eine sehr gute Qualität und sind deshalb praktisch nicht von dem vom Laserlicht beleuchteten Objekt zu unterscheiden. Das Laserlicht-Transmissionshologramm wird auch als Ausgangsobjekt für die nachfolgend beschriebenen Holographieverfahren benötigt.

2.2.3. Bildebenenhologramme

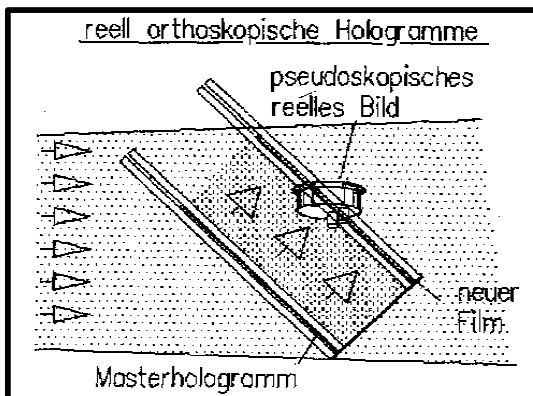


Abb. 6:
Schematische Darstellung der Aufnahmeanordnung

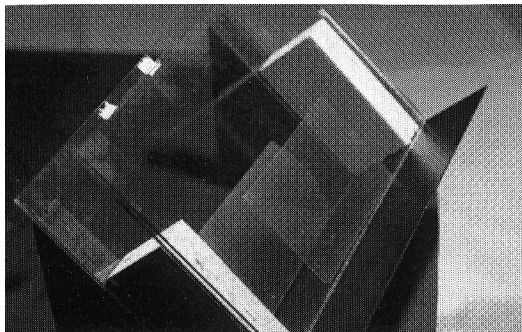


Abb. 7:
Aufbau für das Bildebenenhologramm

Hologramme, bei denen das Bild nach vorne aus der Filmebene heraustritt, sind besonders faszinierend. Sie werden als Bildebenenhologramme bezeichnet. Zur Herstellung dieser Hologramme wird eine Kopie eines Hologramms hergestellt. In der von mir verwendeten Literatur steht, dass dies nur mit einer sehr teuren optischen Ausrüstung und einem leistungsstarken Laser möglich sei und dass dieser Hologrammtyp deshalb für einen Hobbyhologen nahezu ungeeignet sei (vgl. Huber, Hobbytip der Hobbythek, 1989 und Savrda, Wie entsteht ein Hologramm, 1984). Dennoch ist es mir gelungen, einen einfachen Aufbau zu entwickeln, um Bildebenenhologramme guter Qualität herzustellen: Zunächst wird ein Transmissionshologramm als Masterhologramm hergestellt. Dieses wird umgedreht zwischen den Glasplatten auf den Objektisch gelegt. Nun scheint das reelle Bild vor der Filmebene zu schweben, jedoch ist es umgestülpt, ähnlich einem Gipsabdruck. In dieses pseudoskopische Bild hinein wird nun mit Hilfe zweier weiterer Glasplatten und Abstandshaltern aus Holz der zweite Film platziert und belichtet. Der Rekonstruktionsstrahl des Masterhologrammes dient nun gleichzeitig als Referenzstrahl für den 2. Film, das rekonstruierte Bild bildet den Objektstrahl. Wird das neue Hologramm wieder umgedreht und beleuchtet, so ist das gesamte Bild um eine bestimmte Entfernung senkrecht zur Filmebene nach vorne verschoben, so dass Teile des Bil-

des nach vorne herausragen. Diese Entfernung entspricht dem Abstand der beiden Filme bei der Aufnahme.

2.2.4. Regenbogen-Transmissionshologramm

Das Regenbogen-Transmissionshologramm ist ein Transmissionshologramm, das im weißen Licht betrachtet wird. Da die einzelnen Farben des weißen Lichtes verschieden stark gebeugt werden, muss die vertikale Parallaxe eingeschränkt werden. Dazu wird das Hologramm genauso wie das Bildebenenhologramm hergestellt. Das Masterhologramm ist in diesem Fall jedoch ein schmaler Streifen (ca. 1 cm).

2.3. Phototechnische Details

Als Film verwende ich den AGFA-Holographiefilm 8E75 HD NAH. Er kostet pro Blatt (10x12 cm) etwa 2 DM. Zum Entwickeln und Bleichen der Hologramme habe ich ein in der Holographie übliches, einfaches Verfahren angewendet. Zur Entwicklung habe ich folgenden Entwickler angesetzt:

2-3 g	Metol, Temal
50 g	Natriumcarbonat
10 g	Ascorbinsäure (Vitamin C)
1 l	Wasser

Statt dessen lässt sich auch der handelsübliche Tetenal-Feinkornentwickler "Documol" verwenden. Auch mit diesem Bad habe ich sehr gute Erfahrungen gemacht. Beide Entwickler sind ein bis zwei Wochen haltbar. Als Bleichbad habe ich ein lösendes Bleichbad folgender Zusammensetzung verwendet:

5 g	Kaliumdichromat ($K_2Cr_2O_7$)
5 ml	Schwefelsäure
1 l	destilliertes (!) Wasser

Achtung: Kaliumdichromat ist eine giftige Chromverbindung! Nachdem die jeweils oben beschriebene Anordnung aufgebaut und die Ausleuchtung kontrolliert wurde, wird die Beleuchtung ausgeschaltet und der Belichtungstimer eingeschaltet. Als Dunkelkammerbeleuchtung dient eine schwache grüne Lampe oder grüne LED's. Ein Blatt Film wird aus der Packung genommen, eventuell halbiert und in den Filmhalter gelegt. Die Starttaste des Timers wird gedrückt. Nach etwa zwei Minuten, bei Transmissionshologrammen etwa fünf Minuten, in denen die Apparatur ausschwingt und thermische Unterschiede ausgeglichen werden, öffnet sich die Blende für die eingestellte Zeit. Anstatt des Strahlunterbrechers kann selbstverständlich auch einfach ein Stück Pappe in den Strahlengang gehalten werden. Die Belichtungszeit beträgt mit einem 2 mW-Laser bei einem Reflexionshologramm der Größe 10x12 cm etwa 30 Sekunden. Die optimale Belichtungszeit ist nicht sehr kritisch und kann leicht durch Probieren ermittelt werden. Nach der Belichtung wird der Film etwa zwei Minuten entwickelt und anschließend etwa 20 Sek. ins Stopbad (verdünnte Essigsäure) gelegt. Nun wird er gebleicht, bis er vollständig klar ist (Achtung: Mit Handschuhen und evtl. Brille arbeiten, die Chemikalien sind gesundheitsschädlich, siehe 5).

Anschließend wird er mindestens fünf Minuten unter fließend warmem Wasser gewässert, bis alle Chemikalien gründlich (!) ausgewaschen sind. Ich habe die Erfahrung gemacht, dass es am günstigsten ist, ihn nun, anstatt in ein Netzmittel zu legen, mit einem nicht fesselnden Toilettenpapier trocken zu wischen und anschließend die Gelatineschicht mit einem Föhn nachzutrocknen. Hierbei entstehen keine Flecken durch Staub. Bei Reflexionshologrammen wird nach dem Trocknen die Schichtseite mit einem schwarzem Lack, der nicht in die Gelatineschicht des Filmes einzieht, überzogen.

3. UNTERSUCHUNGEN UND WEITERENTWICKLUNGEN

3.1. Anordnung von Objekt und Filmebene

Der bereits genannte Artikel von Jearl (vgl. Walker, Spektrum der Wissenschaft, 8/89) brachte mich auf die Idee, den Film nicht wie üblich senkrecht anzuordnen und das Objekt auf einem separaten Tischchen zu platzieren, sondern ihn zwischen zwei Glasplatten auf eine schiefe Ebene zu legen und das Objekt darauf zu legen. Diese Methode erwies sich in verschiedenen Punkten als vorteilhaft:

- Das Objekt liegt (beim Denisyuk-Hologramm) direkt auf dem Filmhalter und bewegt sich nicht relativ zum Film. Somit wird die Erschütterungsanfälligkeit wesentlich vermindert.
- Die Anordnung lässt sich, wie oben beschrieben, auch sehr gut als Ausgangsbasis für Transmissionshologramme verwenden.
- Das Objekt kann bei der Rekonstruktion wieder von schräg oben beleuchtet werden.

Weiterhin ist eine sehr universelle Objektgestaltung möglich. Bei meiner früheren Apparatur verwendete ich einen Objektisch, bei dem der Film mit der Grundplatte einen Winkel von 45° einschließt. Weil ich keine Filmplatten, sondern einen zwischen zwei Glasplatten gelegten Film benutze, reflektiert das Licht jedoch an den Glasplatten und erzeugt neue Interferenzmuster (Interferenz an dünnen Schichten). Diese sind auf dem Hologramm deutlich als störende Linien zu erkennen. Da der Laser linear polarisiert ist, konnte ich dieses Problem lösen, indem ich den Neigungswinkel auf 34° verkleinerte (Brewsterwinkel) und die Polarisationssebene entsprechend drehte. Dadurch reflektiert das Licht nicht mehr an den Glasplatten, der Effekt verschwand und die Hologramme wurden erheblich klarer.

3.2. Vermeidung von Erschütterung

Das größte Problem bei der Holographie ist die Erschütterung. Während der Filmbelichtung muss jegliche Art von Bewegung einzelner Komponenten vermieden werden. Ortsveränderungen in der Größenordnung von Bruchteilen der Lichtwellenlänge können bereits die Aufzeichnung des Interferenzmusters verhindern. Zur Lösung dieses Problems habe ich folgende Überlegungen angestellt:

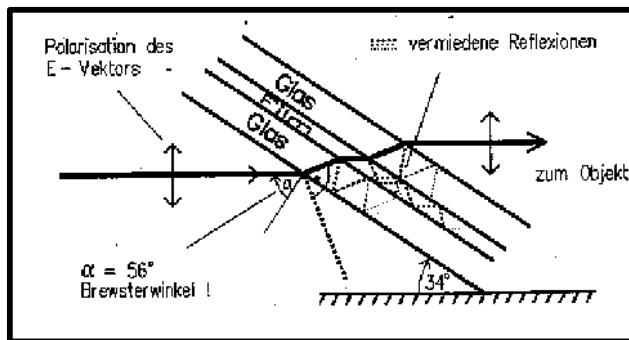


Abb. 8: Vermeidung störender Reflexionen durch vertikale Polarisation des E-Vektors und Brewsterwinkel in der Filmträgeranordnung

- a) Zur mechanischen Entkoppelung der Arbeitsplatte von der Unterlage sind Luftkissen gut geeignet. Diese werden auch in anderen Gebieten für ähnliche Aufgaben verwendet (Elektronenmikroskop etc.) und müssten also auch für diese Anwendung geeignet sein. Deshalb verwendete ich einen nicht zu stark aufgepumpten Fahrradschlauch als dämmende Unterlage.

- b) Aus dem Gebiet des Lautsprecherbaus ist mir die günstige, schwingungsdämpfende Eigenschaft von Holz, insbesondere von Spanplatten bekannt. Deshalb müsste als Grundplatte ein dickes Pressspanbrett besonders gut geeignet sein. Auch alle anderen Komponenten (Linsen- und Spiegelhalter, Objektisch) habe ich deshalb soweit möglich aus Holz gebaut.

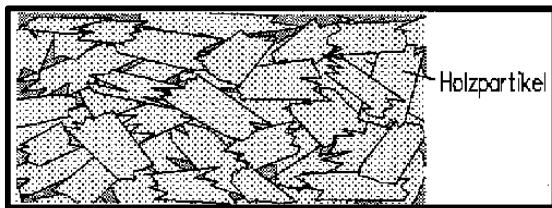


Abb. 9: Schwingungsdämpfende Eigenschaft von Spanplatten wegen der chaotischen Anordnung der Holzpartikel und deren Verbindung mit

- c) Bei den üblichen Holographieverfahren, vor allem für Transmissionshologramme, wird der Laserstrahl mittels eines Strahlteilers aufgeteilt und über große Entfernungen geleitet. Auf diese Weise bewirken schon sehr kleine Erschütterungen oder Verformungen einzelner Komponenten oder der Grundplatte relativ große Weglängenunterschiede zwischen Objekt- und Referenzstrahl. Dadurch entsteht eine Phasenverschiebung, die die Aufzeichnung eines stehenden Interferenzmusters auf dem Film verhindert:

Das Hologramm ist verwackelt. Dieses Problem habe ich gelöst, indem ich, wie oben beschrieben, für die einzelnen Hologrammtypen Aufnahmeanordnungen entwickelt habe, die ohne Teilung des Strahls auskommen (Denisyuk-Hologramm, Bildebenen hologramm) oder bei der erst unmittelbar vor dem Film eine Strahlteilung stattfindet (Transmissionshologramm). Nach den oben genannten Gesichtspunkten habe ich eine Aufnahmeapparatur entwickelt, die sehr kompakt ist und vollständig ohne große träge Massen auskommt. Vergleichbare Apparaturen erfordern sehr schwere Stahl- oder Steinplatten zur Erschütterungsdämpfung. Bei kleineren Apparaturen werden Sandkisten verwendet.

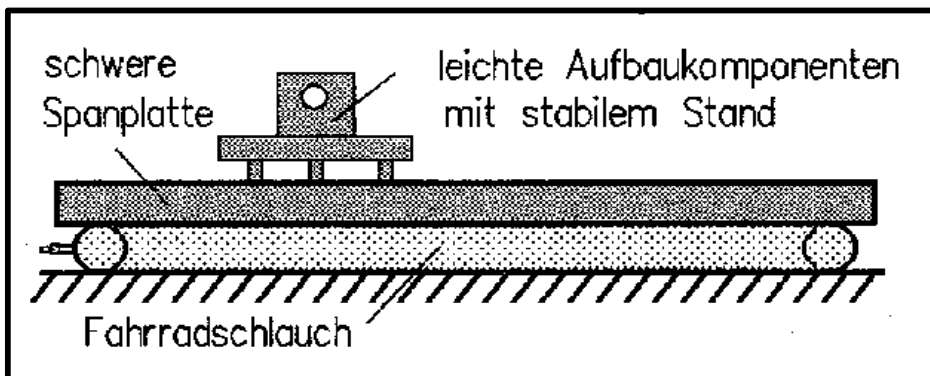


Abb. 10: Der Fahrradschlauch mit der relativ schweren Spanplatte bildet einen SchwingungsfILTER, der nur für tiefe Frequenzen durchlässig ist. Die leichten und dabei stabil aufgestellten Aufbaukomponenten sind nur auf hoher Frequenz empfindlich.

Bei den Hologrammaufnahmen traten tatsächlich kaum Verwackelungsprobleme auf. Bei denjenigen Hologrammen, die verwackelt waren, waren nur einzelne Teile des Objekts unsichtbar. Dies deutet darauf hin, dass diese Verwackelungen von einer Bewegung des Objekts stammen, etwa durch thermische Verformungen, nicht aber von einer Erschütterung einer anderen Komponente der Apparatur. In diesem Falle hätte sich die Phasenbeziehung zwischen Referenz- und Objektstrahl auf dem ganzen Film verändert und es wären nicht nur einzelne Teile des Objektes dunkel. Um festzustellen, auf welche Faktoren bei der Wahl eines Aufnahmeortes zu achten ist, untersuchte ich die Einflüsse von Vibrationen, von Luftkonvektion und von Temperaturunterschieden. Zur Untersuchung der Vibration klopfte ich während der Aufnahme verschieden stark gegen den Tisch, auf dem die Apparatur stand (entspricht einer hohen Frequenz) oder stampfte auf den Boden (tiefe Frequenz). Bei der Untersu-

chung der Konvektion fächerte ich Luft zu (Luftströmung) oder platzierte Widerstände als Wärmequelle unterhalb des Strahlenganges (Dichteunterschiede der Luft). Dabei machte ich zusammengefasst folgende Beobachtungen:

Denisyuk-Hologramme sind bei meinem Aufbau sehr unempfindlich gegen oben genannte Einflüsse. Bei ihnen spielt eine größere Rolle, dass das Objekt gut und standsicher auf dem Objekthalter liegt. Transmissionshologramme sind etwas anfälliger gegen Vibration und thermische Unterschiede, da bei diesen das Objekt nicht direkt auf dem Filmhalter liegt.

Ich habe die Erfahrung gemacht, dass sich mit der Apparatur in praktisch jedem Raum Hologramme herstellen lassen. So konnte ich zum Beispiel in einem sehr unruhigen Klassenzimmer, in dem sich zur Zeit der Aufnahme 25 Schüler befanden, völlig ohne Probleme die Apparatur vorführen und habe gute Hologramme erhalten.

Um mich bei der Aufnahme der Hologramme in einigem Abstand von der Apparatur befinden zu können (Vermeidung von Konvektion), konstruierte ich zur Ablendung des Laserstrahls einen elektronischen Strahlunterbrecher (siehe Abb.2). Er besteht aus einem umgebauten Messwerk und wird an der Stirnseite des Lasers montiert. Der Zeiger ist so justiert, dass er den Endanschlag nicht berührt. Auf dem Zeiger klebt ein Stück Aluminiumfolie als Blende. Das Gehäuse ist durchbohrt und die klare Abdeckung ist schwarz lackiert. Der Laserstrahl kann so durch das Messwerk strahlen.

Wird nun eine Spannung angelegt, so schwenkt der Zeiger in die Mittelstellung, verdeckt das Loch und unterbricht somit den Laserstrahl. Das Messwerk ist an einer selbstentwickelten Belichtungszeituhr angeschlossen. Nach etwa zwei Minuten Verzögerung (zum Ausschwingen der Apparatur) öffnet sie für eine einstellbare Zeit den Strahlabblender. Als Zeitgeber wurde der doppelte Timer "NE 556" verwendet.

3.3. Variation der Aufweitungsoptik

Ich habe mit verschiedenen Aufweitungsoptiken experimentiert: Als erstes habe ich ein Fernrohr-Okular mit einer Brennweite von 8 mm benutzt und hatte damit keinerlei Probleme. Anschließend stand mir ein Mikroskop-Objektiv (40fache Vergrößerung) zur Verfügung. Dieses war ebenso geeignet. Die besten Ergebnisse habe ich mit günstig erhältlichen Laserobjektiven aus Bildplattenspielern erzielt. Da die Brennweite jedoch relativ groß ist, müssen zwei Objektive hintereinander im Abstand von etwa einem Zentimeter angeordnet werden, um eine genügend große Aufweitung zu erreichen. Trotzdem ist dieses sehr gut geeignet, was umso erstaunlicher ist, da oben genannte Alternativen etwa 150-250 DM kosten. Experimente, anstatt einer Linse einen Tropfen Öl oder Glycerin zu verwenden, schlugen fehl. Die Aufweitung war zwar gut und ließ sich durch die Flüssigkeitsmenge gut steuern, jedoch führten wahrscheinlich innere Konvektionen während der Belichtungszeit zu einer Verwischung des Interferenzmusters.

3.4. Weitere Experimente

Die Apparatur ist auch zur Erstellung von Interferogrammen geeignet: Hierzu wird das Objekt nacheinander zweimal auf den gleichen Film aufgenommen. Zwischen den Aufnahmen wird das Objekt minimal verändert. Die bei der Betrachtung erscheinende Makrointerferenz gibt Aussagen über Verformung und Ausdehnung im Nanometerbereich. Ich habe Versuche gemacht, bei denen ich an einen Lautsprecher eine Gleichspannung von etwa 10 mV angelegt habe. Dadurch konnte ich die Verformung der Membrane beobachten. Auch Verformungen von Gegenständen durch Magnetfelder können optimal sichtbar gemacht werden. Mit der Apparatur können auch einfache holographisch-optische Elemente, zum Beispiel Beugungsgitter hergestellt werden. Im einfachsten Fall treten dann zwei Strahlenbündel aus verschiedenen Richtungen als Objekt- und Referenzstrahl direkt auf den Film, indem unterhalb des Objektisches ein Spiegel aufgestellt wird.

4. ZUSAMMENFASSUNG UND ANWENDUNGSGEBIETE

Die Arbeit zeigt, dass es, entgegen mancher Angaben in der Literatur, möglich ist, auch komplizierte Hologramme, für die gewöhnlich aufwendige und teure Apparaturen benötigt werden, auch mit sehr einfachen Mitteln und in sehr guter Qualität herzustellen. Die zu diesem Zweck von mir entwickelte Apparatur, die oben ausführlich beschrieben wurde, ist besonders für den Einsatz im Hobbybereich und im Schulbereich geeignet. Inklusive Laser, Spiegel, Linse, Holz, Film und Photochemie betragen die Kosten nur etwa 350 DM. Mit ihrer Hilfe wird die Herstellung von Hologrammen praktisch genauso einfach wie das im Hobby- und Schulbereich oft praktizierte Entwickeln von Fotos. Diese Apparatur könnte somit der Holographie zu einer ähnlich großen Verbreitung wie der Hobbyfotografie verhelfen.

5. SICHERHEITSHINWEISE

Der im Text beschriebene He-Ne-Laser hat eine Ausgangsleistung von 2 mW und entspricht damit der Laserklasse 3b. Bei der Arbeit mit dem Laser sind die Sicherheitsbestimmungen zu beachten (vgl. Treiber, Lasertechnik, 1985). Insbesondere ist der direkte Blick in den Laserstrahl oder seinen Reflex zu vermeiden. Soll die Apparatur im Unterricht verwendet werden, so ist ein Laser der Klasse 2 erforderlich. Dieser hat nach DIN 58126 eine maximale Ausgangsleistung von 1 mW und eine Einrichtung zur Ablendung des Strahles auf 0,2 mW (vgl. Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, Sicherheit im naturwissenschaftlichen Unterricht, 1987).

Es sollte grundsätzlich nur mit dem aufgeweiteten Strahl gearbeitet werden, da dieser praktisch keine Gefahr darstellt. Bei dem Umgang mit den chemischen Entwicklungs- und Bleichbädern ist größte Sorgfalt geboten: Metol und Natriumcarbonat sind reizend, Schwefelsäure ist ätzend. Kaliumdichromat ist reizend und krebserregend. Man muss darauf achten, dass das Bleichbad nicht mit der Haut in Berührung kommt. Deshalb muss grundsätzlich immer mit Handschuhen und größter Sorgfalt gearbeitet werden. Der Film sollte nach der Verarbeitung gründlich gewässert werden, um alle Chemikalienreste auszuwaschen. Es ist empfehlenswert, die Bäder in der Schule oder in einer Apotheke anmischen zu lassen. Die Chemikalien müssen sachgerecht entsorgt werden und dürfen keinesfalls in das Kanalisationssystem gelangen (vgl. Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, Sicherheit im naturwissenschaftlichen Unterricht, 1987).

6. DANKSAGUNG:

Ich möchte mich an dieser Stelle besonders bei Herrn Dr. Deger für seine Unterstützung bedanken. Weiterhin bedanke ich mich bei den Firmen, die mir Geräte und Materialien zur Verfügung gestellt haben.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- 1) AGFA-Gevaert N.V.: Technische Information Holographie, No. 21.8271(1184), Mortsel, Belgien 1984
- 2) Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus: Sicherheit im naturwissenschaftlichen Unterricht, München 1987
- 3) Huber, Eckhard: Hobbytip der Hobbythek, Nr 175, Bayerischer Rundfunk, München 1989
- 4) Savrda, Wolf-Uwe: Wie entsteht ein Hologramm, in: Holographie - Medium für Kunst und Technik, München 1984
- 5) Treiber, Hanskarl: Lasertechnik; Frech Verlag, Stuttgart 1985
- 6) Treiber, Hanskarl; Treiber, Martin: Lasertechnik 2; Holographie; Frech Verlag, Stuttgart 1987
- 7) Unterseher, Fred; Hansen, Jeannene; Schlesinger, Bob: Holography Handbook; Ross books; Berkely, USA 1982
- 8) Walker, Jearl: Experiment des Monats; in: Spektrum der Wissenschaft 8/1989, S134 ff, Heidelberg 1989

Übrigens: Fragen zur Holographie beantwortet euch gern die Gesellschaft für Holographie e.V.

Geschäftsstelle: Postfach 1722, 49007 Osnabrück