

holografie



Hayley Bakker, 6W

Inhoudsopgave

	Blz.
Voorwoord en opzet	02
1 Welke factoren spelen een rol bij holografie?	03
1.1 holografie	03
1.2 licht en interferentie	04
1.3 atoommodel van Bohr	05
1.4 emissie en absorptie	05
1.5 lasers	05
1.6 lenzen	07
2 Wat is het principe van eenvoudige holografie?	08
2.1 transmissiehologram	08
2.2 voorwerp	08
2.3 laser	08
2.4 diepte	09
2.5 transmissiehologram terug zien	10
2.6 trillingvrije tafel	11
2.7 holografische plaat en papier	12
3 Welke verschillende hologrammen zijn er?	13
3.1 reflectiehologram	13
3.2 fasehologram	14
3.3 regenbooghologram	15
3.4 kleur hologram	15
3.5 het Bragg effect	16
3.6 embossed hologram	16
3.7 stereogram	17
4 Wat zijn toepassingen van holografie?	18
4.1 holografie als beveiliging	18
4.2 HOE's	18
4.3 holografische interferometri	19
4.4 holografische geheugens	19
4.5 holografie als kunstvorm	20
Nawoord en bronnenlijst	21
Conclusie	22
Praktische opdracht	23

Voorwoord

Er ging veel onderzoek vooraf aan het kiezen van dit onderwerp voor mijn profielwerkstuk. Ik heb een aantal sites bezocht waar suggesties geplaatst stonden voor het profielwerkstuk, maar veel van deze onderwerpen waren erg standaard en al erg vaak gedaan. Ik wilde graag iets nieuws, iets waar niet veel mensen iets vanaf weten. Daarom heb ik uiteindelijk dit onderwerp gekozen. Ik vond een site over "een kit voor het maken van je eigen hologram", en ik was meteen erg nieuwsgierig naar de werking ervan.

Praktische opdracht:

Als praktisch onderdeel heb ik gekozen voor het zelf maken van een hologram. Ik heb contact gezocht met een hobby holoograaf, die in zijn eigen huis de juiste apparatuur heeft voor het holograferen (lasers, trillingvrije tafel etc). Daar zal ik het praktisch deel uitvoeren.

Hoofdvraag:

- Welke methode van holografie geeft een hologram met de beste kwaliteit?

Deelvragen:

- 1) Welke factoren spelen een rol bij holografie?
- 2) Wat is het principe van eenvoudige holografie?
- 3) Welke verschillende soorten hologrammen zijn er ?
- 4) Wat zijn toepassingen van holografie?

Om eerlijk te zijn weet ik nu nog erg weinig van het onderwerp af, daarom is het opstellen van een goede hypothese vrijwel onmogelijk. Ik heb tot nu toe nog maar met weinig verschillende soorten hologrammen kennisgemaakt, dus zal ik een gok moeten doen.

Hypothese:

Faseholografie wordt gebruikt om een fasehologram te maken. Dit is het hologram met de hoogste kwaliteit. Verder moet dit op glasplaat gemaakt worden en niet op holografiepapier.

Het enige wat ik echt zeker weet van mijn hypothese is dat een hologram van betere kwaliteit is wanneer het op een glasplaat wordt vastgelegd in plaats van op holografiepapier. Dit heb ik gehoord van de hobby holoograaf die ik eerder al genoemd heb.

Welke factoren spelen een rol bij holografie?

Holografie

Ten eerste zal ik in het kort even uitleggen wat een hologram nou precies is. Hologrammen zijn overal om ons heen, in geld en bankpasjes bijvoorbeeld. Het is een 3D afbeelding van een voorwerp, maar dan wel in een plat vlak. Holografie heeft dezelfde principe als fotografie, het verschil is alleen dat er meer informatie afkomstig van het voorwerp wordt vastgelegd. Bij het maken van een foto wordt het licht afkomstig van het voorwerp vastgelegd op een film, lichtgevoelig papier dus. Hierbij wordt alleen de intensiteit van het licht op elk punt van het voorwerp vastgelegd, dus de amplitude van het licht. De amplitude zegt alleen iets over de licht- of donkerheid van het punt. Daarentegen is bij hologrammen sprake van het op lichtgevoelig papier of plaat vastleggen van zowel de amplitude als het faseverschil van de verschillende lichtstralen. Het faseverschil zegt iets over de diepte van een voorwerp. Door het faseverschil vast te leggen lijkt het alsof de afbeelding van het ruimtelijk voorwerp tastbaar is. Dit is natuurlijk niet zo, want de ruimtelijkheid is alleen maar geconstrueerd uit licht en niet uit materie.



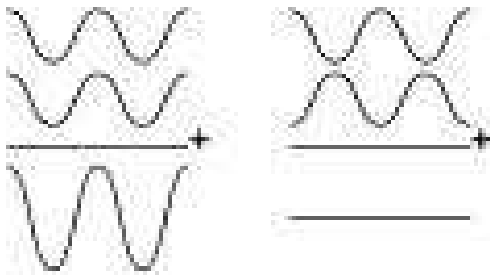
Holografie werd in 1947 uitgevonden door de Brits/ Hongaarse wetenschapper Dennis Gabor, hiervoor won hij 1971 een nobelprijs. Hij ontwikkelde per toeval de theorie van holografie toen hij werkte aan een verbeterde resolutie van de elektronische microscoop. Gabor bedacht de naam hologram, wat afkomstig is van het Griekse woord "holos" wat "heel" betekent, en het woord "gramma" wat "boodschap" betekent. Toen Gabor zijn ontdekking voor het eerst publiceerde, was er meteen veel aandacht voor, ook onder veel andere wetenschappers die er erg enthousiast over waren. In zijn tijd was het nog niet mogelijk om hologrammen te maken zoals wij die nu kennen, doordat er nog geen lasers waren. In die tijd was de meest coherente lichtbron de kwiklamp, deze werd dan ook gebruikt voor het maken van hologrammen. Met deze lamp was echter nog niet veel diepte in het hologram aan te brengen. Dit probleem werd opgelost in 1960 met de uitvinding van de laser, de ideale lichtbron voor hologrammen.

Voor het begrijpen van holografie zijn enkele onderwerpen uit de natuurkunde van belang. Deze zijn:

- licht en interferentie
- atoommodel van Bohr
- absorptie en emissie
- lasers (helium-neon laser)
- lenzen

Licht en interferentie

Licht is een elektromagnetische golf, waaruit het precies bestaat weet niemand precies, daarom is er een model gemaakt om het gedrag van licht te kunnen verklaren. In eerste instantie werd er aangenomen dat licht een golf was, maar hiermee konden niet alle verschijnselen van licht worden verklaard. Daarom is er voor een golf en deeltjes model gekozen, volgens dit model gedraagt licht zich in contact met golven als een golf, en in contact met materie als een deeltje. Enkele kenmerken van licht als golf zijn golflengte



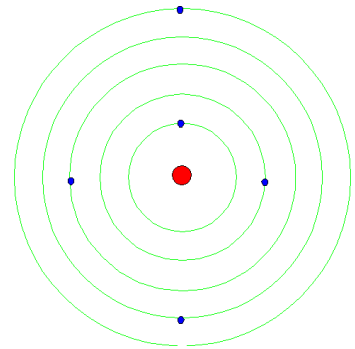
(λ), de lengte van een golfbui en golfdal, en frequentie (f), hoeveel golflengten passeren per seconde.

Interferentie kan verklaart worden door aan te nemen dat licht uit golven bestaat.

Lichtgolven kunnen elkaar tegenkomen, net als golven in water. Als zij elkaar tegenkomen, kunnen zij elkaar versterken, verzwakken of zelfs uitdoven. Welke van deze drie mogelijkheden optreedt hangt af van de fasen waarin de golven verkeren ten opzichte van elkaar, dit wordt interferentie genoemd. Als twee golven in gelijke fase elkaar kruisen, zullen zij elkaar versterken; de nieuwe amplitude van de golf op het kruispunt is dan de som van de amplitudes van de twee losse golven. Als twee golven in tegengestelde fasen elkaar kruisen, zal er sprake zijn van verzwakking, ook hier geldt dat de amplitude gelijk is aan de som van de twee amplitudes van de oorspronkelijke golven, alleen wordt hierbij de golfbui positief gerekend en de golfdal negatief. Als twee golven met gelijke amplitudes en in tegengestelde fasen elkaar tegenkomen, zullen zij elkaar dus uitdoven; de amplitude is dan nul. Door interferentie van lichtbundels ontstaan dus gebieden met golven met grotere en kleinere amplitudes, wat dus inhoudt dat het licht in sommige gebieden een grotere intensiteit heeft dan in andere, er ontstaat dus een interferentiepatroon.

Atoommodel van Bohr

Volgens het atoommodel van Bohr bestaat een atoom uit een kern van positief geladen deeltjes en neutrale deeltjes (protonen en neutronen). Daaromheen draaien negatief geladen deeltjes (elektronen) in banen met verschillende vaststaande stralen, die schillen genoemd worden. Elke straal heeft een andere energie waarde, hoe groter de straal is, hoe hoger de energiewaarde is. Een elektron in een lage schil zal dus minder energie hebben dan een elektron in een hogere schil.



Absorptie en emissie

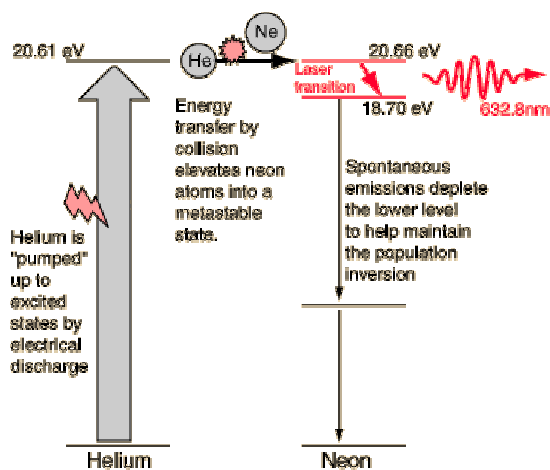
Als men licht beschouwt als deeltjes, bestaat het uit fotonen. Dit zijn kleine pakketjes energie. Deze fotonen kunnen worden geabsorbeerd door materie en ook weer worden uitgestraald, dit heet dus absorptie en emissie. Elektronen zijn in staat fotonen op te nemen, hierbij nemen zij de fotonenergie (E_f) op, absorptie, waardoor ze naar hogere schil kunnen springen. Doordat elektronen in een hogere schil belanden wordt het atoom meestal instabiel, waardoor het atoom vrijwel meteen (na enkele microseconden) terug zal vallen. Als er energie nodig is om in een hogere schil te komen, zal er dus energie vrijkomen bij het omlaag vallen naar een lagere schil. Dit klopt ook, hierbij komt weer een foton vrij, emissie, de fotonenergie van deze foton zal gelijk zijn aan het verschil van energiewaarde tussen de twee schillen.

Lasers

Kenmerken voor het licht van een laser is dat het coherent is. Dit betekent dat al het licht met gelijke golflengte met elkaar in fase is. Licht kan nooit volledig coherent zijn, maar bij lasers komt dit toch wel in de buurt. Coherentie wordt uitgedrukt in coherentielengte, hoe grotere de coherentielengte is, hoe meer coherent de lichtbundel is. Een goede laser zal dus een grote coherentielengte hebben. Het principe van de coherente lichtbundel van een laser is gebaseerd op de hierboven beschreven absorptie en emissie. Letterlijk staat laser voor "light amplification by stimulated emission of radiation", en die naam beschrijft precies hoe het laserlicht ontstaat. Een laser is te vergelijken met een gasontladingsbuis. In een laser zitten gassen, die dus bestaat uit atomen. Deze gassen worden door middel van warmte en electriciteit in aangeslagen toestand gebracht. Dit houdt in dat de elektronen in hogere schillen worden gebracht door energie opname. In deze hogere schillen aangekomen verkeren de elektronen in een metastabiele toestand, waarbij na enige tijd

zij weer naar hun oorspronkelijk niveau zullen terugvallen, waarbij een foton vrijkomt met een bepaalde fotonenergie. Als enkele van deze fotonen vrij zijn gekomen zullen zij andere atomen passeren die nog in metastabiele fase zijn. Bij het passeren treedt gestimuleerde emissie op. Dit betekent dat de elektronen die in het atoom zich nog in aangeslagen toestand bevinden gestimuleerd door een langskomende foton naar een lagere schil zullen vallen en hierbij een foton zullen uitzenden van gelijke fotonenergie en in gelijke fase.

De formule voor $E_f = h \cdot f$ ($h = 6,63 \cdot 10^{-34}$) laat zien dat bij gelijke fotonenergie dus ook sprake is van gelijke frequentie en dus gelijke golflengte. Uit gestimuleerde emissie volgt dus het vrijgekomen licht dus in fase is en gelijke golflengte heeft, dus coherent is.



In een laser zijn aan beide kanten twee spiegels aan de uiteinden die parallel zijn aan elkaar. De vrijgekomen fotonen zullen weerkaatst worden door de spiegels en in hun baan tussen de atomen door steeds meer fotonen doen vrijkomen. Een van de spiegels is een half doorlaatbare spiegel, die bestaat uit dun folie van elektrisch isolerend materiaal. Dit is een spiegel die het licht voor 99% weerkaatst en voor 1%

doorlaat. Er kunnen nu fotonen ontsnappen. Deze fotonen vormen de laserstraal.

Lasers werken op elektriciteit, dit kan verklaart worden door het bovenstaande. Als er fotonen als laserbundel ontsnappen, zal de voorraad fotonen opraken en zullen dus alle elektronen zich in hun oorspronkelijke schil bevinden, om te zorgen dat dit niet gebeurt, moet er energie aan deze elektronen worden blijven toegevoerd, elektrische energie. Een helium-neon laser is extra efficiënt en wordt daarom veel gebruikt, zo ook bij holografie. Er bevinden zich in de laser dus twee gassen, helium en neon, beide nemen elektrische energie op. Het is vrij gemakkelijk om een elektron van een helium atoom in aangeslagen toestand te brengen, en deze valt al helemaal niet snel weer terug. Het elektron van een heliumatoom valt pas weer naar beneden als het in botsing is geweest met een neonatoom. Hierbij springt een elektron van het neonatoom naar een hogere schil. Dit elektron zal uit zichzelf weer vallen en een foton uitzenden waarbij weer gestimuleerde emissie ontstaat. Het voordeel hierbij is alleen dat het neonatoom in aangeslagen toestand komt door zowel het opnemen van elektriciteit als door het botsen met heliumatomen.

Lenzen

Ook lenzen komen voor in de opstellen van holografie. Deze spelen echter maar een erg kleine rol, dus zal ik hier maar weinig over vertellen. Een holle lens zal een lichtbundel divergeren, wat betekent dat als er een evenwijdige lichtbundel op invalt, deze lichtbundel naar buiten afgebogen zal worden, zodat het lijkt alsof zij uit een brandpunt voor de lens komen. Zo zal een bolle lens een lichtbundel convergeren, wat dus betekend dat een evenwijdige lichtbundel naar elkaar toe wordt afgebogen, waardoor de lichtstralen in het brandpunt samen komen.

Waarom lasers en lenzen van belang zijn voor het maken van een hologram zal ik in het volgende hoofdstuk verklaren.

Wat is het principe van eenvoudige holografie?

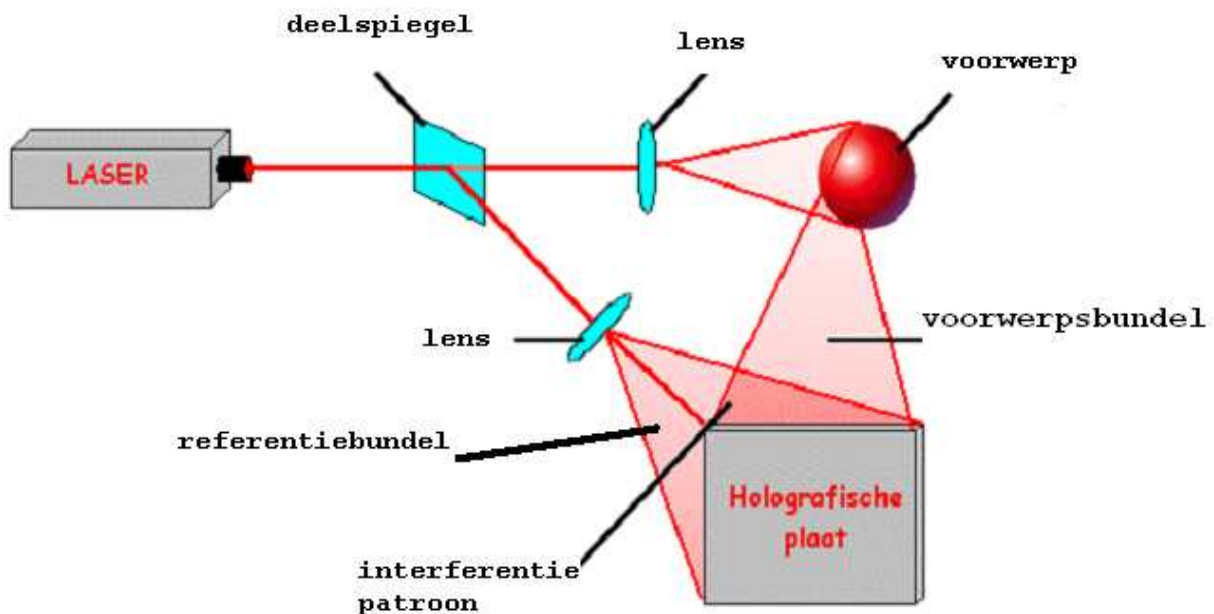
Er zijn twee basis hologrammen, dit zijn transmissiehologrammen en de reflectiehologrammen. Ik zal het principe van holografie ten eerste uitleggen aan de hand van een transmissiehologram.

Een transmissiehologram

De benodigdheden voor het maken van een eenvoudig hologram zijn:

- voorwerp
- lazer
- holografische plaat of papier
- deelspiegel en gewone spiegel
- lenzen

Deze worden in de volgende opstelling geplaatst, waarna het proces kan beginnen.



Voorwerp

Om te beginnen moet het voorwerp wel geschikt zijn voor het holografieren. Het voorwerp moet een glad oppervlak hebben en zoveel mogelijk van een lichte kleur zijn, het liefst wit. Dit is omdat het voorwerp dan zo min mogelijk van het licht absorbeert en dus zoveel mogelijk weerkaatst.

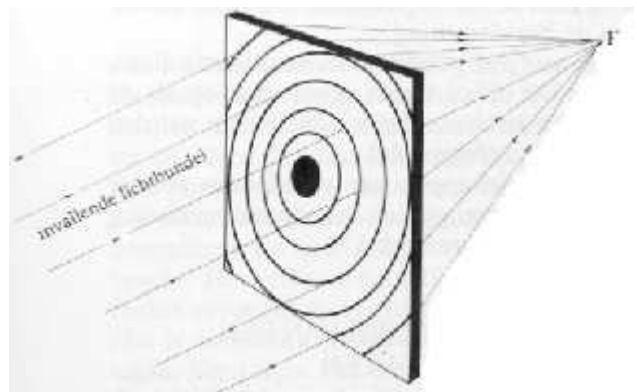
Laser

Voor het maken van een hologram wordt gebruik gemaakt van een lazer, meestal de HeNe-lazer. Zoals al eerder verteld is een lazer de meest coherente lichtbundel die wij kennen. Dit is nodig omdat er twee lichtbundels nodig zijn, de voorwerpsbundel en de referentiebundel, die dezelfde fase als golflengte bezitten. De laserstraal wordt eerst door een deelspiegel

gelaten. De deelspiegel is een halfdoorlatende spiegel, een deel van de straal wordt richting de holografische plaat weerkaatst en het andere deel gaat door de spiegel heen richting het voorwerp. Met twee divergente lenzen, worden de gesplitste lazerstralen zo afgebogen dat zij elk punt op het voorwerp en elk punt op de holografische plaat bereiken. Het licht dat door het voorwerp weerkaatst wordt en richting de holografische plaat gaat kruist de referentiebundel. Hierbij ontstaat interferentie op de holografische plaat. Deze plaat is lichtgevoelig, dus zal er op de plaat een interferentiepatroon ontstaan, dus een reeks van donkere en lichte lijnen. De lichte lijnen ontstaan door een grote intensiteit van het licht dus versterking van de amplitude van de golven, en de donkere lijnen door uitdoving of verzwakking van de amplitude. Dit patroon is een soort negatief net als bij foto's van de hologram, het grootste verschil is alleen dat bij een foto het negatief een verkleinde weergave is van het voorwerp, terwijl bij een holografisch negatief niks meer van het echte voorwerp te herkennen is. Bij fotografie wordt het licht vanuit een punt van het voorwerp via een lens op een punt van het lichtgevoelig papier gebracht. Bij holografie is daar geen sprake van, licht vanuit elk punt wordt via het interferentie patroon over het hele hologram verdeelt. Hierdoor is het mogelijk om het hele voorwerp te kunnen zien als je maar de helft van het hologram hebt.

Diepte

Het interferentiepatroon zorgt voor de diepte (3D) van het hologram. Hoe verder het voorwerp verwijderd is van de holografische plaat, hoe verder uit elkaar de lijnen van het interferentiepatroon liggen, dus hoe groter de periode is. Het interferentiepatroon werkt als een zonelens. Een zonelens buigt lichtstralen af net als een tralie in principe doet. Hoe verder de interferentielijnen uit elkaar liggen, dus hoe groter de periode is, hoe verder het brandpunt verwijderd zal zijn van de plaat. Ik zal dit met een tralieformule toelichten.



$$\tan \alpha = x/l$$

Hierin is α de hoek tussen de de lichtbundel van de n en de 0 orde, x de afstand tussen 0 en n orde, l de afstand tussen tralie en brandpunt.

Ik neem als voorbeeld een interferentiepatroon met periode, dus afstand tussen 0 en n orde van $0,02\text{m}$, α , dus de hoek

waarover het invallende licht door de tralie wordt afgebogen van 30° . Hieruit volgt:

$$\tan 30 = 0,02/l \quad l=0,035\text{m}$$

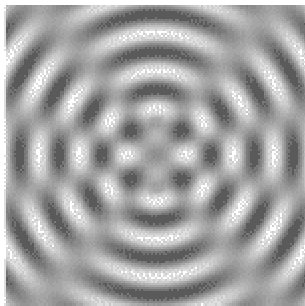
Als je nu x , dus de afstand tussen de n en 0 orde vergroot tot $0,10$ m, dus de periode van de tralie vergroot, wat dus gelijk is aan de afstand tussen de interferentie lijnen is, geldt het volgende:

$$\tan 30 = 0,10/l \quad l=0,173\text{m}$$

Hieruit kun je concluderen dat bij een grotere periode, dus afstand tussen de interferentielijnen, het brandpunt verder weg is.`

Hieruit kun je concluderen dat een voorwerp of een punt van het voorwerp dat dichterbij de holografische plaat een kleinere interferentieperiode zal maken, en dus een kleinere brandpuntsafstand zal hebben als een punt dat verder verwijderd is van de holografische plaat. Zo ontstaat er een beeld van het voorwerp dus voor de kijker achter de holografische plaat die precies dezelfde diepte heeft als het voorwerp.

Een transmissiehologram terugzien



Om een transmissie hologram terug te kunnen zien na het ontwikkelen, moet er vanuit dezelfde plaats als de referentiebundel afkomstig was en met dezelfde golflengte van het licht als de referentiebundel op de plaat geschieden worden. Dit zal ik even toelichten. Op de holografische plaat ontstaan in principe dus een tralie van lichte en donkere vlekken.

Ik ga er nu even vanuit dat de referentiebundel en de voorwerpsbundel allebei evenwijdige lichtbundels zijn in plaats van divergerende. Als dit zo is, ontstaat een regelmatig patroon van even brede donkere en lichte lijnen. De afstand tussen twee donkere of twee lichte lijnen noemen we de periode. Deze periode is te berekenen met de formule

$$P = \lambda / (\sin I_b - \sin I_a)$$

P = is de afstand tussen twee interferentielijnen oftewel hetzelfde als de tralieconstante

I_a = invalshoek voorwerpsbundel ten opzichte van een lijn loodrecht op het scherm

I_b = invalshoek referentiebundel ten opzichte van een lijn loodrecht op het scherm

λ = golflengte van het gebruikte licht

Het holografisch beeld ontstaat door buiging van de reconstructiebundel aan de tralie, dus het

interferentiepatroon. Om dit toe te lichten gebruik ik de tralie formule:

$$\sin\alpha = n \cdot \lambda' / p$$

Hierin is $\sin \alpha$ de hoek waarover de reconstructiebundel door het interferentiepatroon wordt afgebroken, n de orde van die lichtbundel, λ' de golflengte van de reconstructiebundel en p de periode van het interferentiepatroon, oftewel de tralieconstante. Bij een transmissiehologram wordt de hoek waarover de reconstructiebundel wordt afgebogen dus gegeven door de formule: ($\sin \beta$ is hierin de hoek tussen de voorwerpsbundel of de referentiebundel en de loodlijn op de holografische plaat of de):

$\sin\alpha = \sin\beta + n \cdot \lambda' / p$ als p wordt vervangen door zijn formule ontstaat er:

$$\sin\alpha = \sin\beta + n \cdot (\lambda' \cdot (\sin I_b - \sin I_a) / \lambda)$$

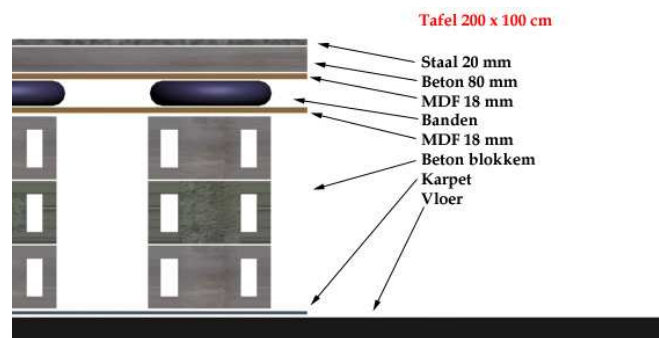
Als $\lambda' = \lambda$ en $\beta = I_a$ dan geldt dat $\alpha = I_b$ bij $n=1$ zo is het ook zo dat

Als $\lambda' = \lambda$ en $\alpha = I_b$ dan geldt dat $\beta = I_a$ bij $n=1$

Licht van grotere ordes dan $n=1$ zijn nauwelijks zichtbaar en worden verwaarloost. Uit deze formules kunnen we dus concluderen dat wanneer er een reconstructiebundel met licht van dezelfde golflengte als het licht van de voorwerps- en referentiebundel, en dit licht vanuit dezelfde hoek op de holografische plaat laat vallen als de referentiebundel, het holografisch beeld zal ontstaan in het verlengde van de voorwerpsbundel. Andersom geldt hetzelfde, als de reconstructiebundel weer met dezelfde golflengte maar nu vanuit dezelfde hoek als de voorwerpsbundel op de holografische plaat wordt geschoten, dan zal het holografisch beeld in het verlengde van de referentiebundel ontstaan. Zo kan een transmissiehologram dus zichtbaar worden gemaakt.

Trillingvrije tafel

Het maken van een hologram is dus heel precies werk. Ook maar bij de kleinste trilling van het voorwerp, de holografische plaat of de laser zal er een verschuiving van het interferentie patroon ontstaan, waardoor het interferentiepatroon geen informatie van het voorwerp meer bevat. Hierdoor zal er een zwarte vlek ontstaan in plaats



van het beeld. Om trillingen te voorkomen wordt een hologram op een speciale tafel gemaakt. De tafel bestaat uit stevige betonblokken, betonplaten en staal. Tussen de verschillende lagen zitten luchtbanden. Deze luchtbanden kunnen eventuele schokken of trillingen absorberen.

Om eventuele trillingen te beperken is de gebruikte laser ook erg van belang. Een laser met een groot vermogen zorgt ervoor dat er maar een korte belichtingstijd hoeft te zijn van de holografische plaat.

Holografische plaat en papier

De holografische plaat bestaat uit een laag kleine korrels aan het oppervlak. Deze korrels zijn meestal opgebouwd uit zilverzouten zoals zilverchloride of zilverbromide en worden als er laserlicht op valt omgezet in zilver. Deze korrels zijn gevoelig voor bepaalde golflengtes van licht. Bij het gebruik van een laser met een golflengte van bijvoorbeeld 500 nm moet een specifieke holografische plaat worden uitgezocht die gevoelig is voor deze golflengte. Hoe meer korrels er per kubieke meter zijn, hoe preciezer en hoe hoger de kwaliteit van het hologram zal zijn. Er zijn dus ook holografische platen te koop met verschillende grootten korrels, van zo'n 8-40 nm groot. Elke plaat heeft een bepaalde hoeveelheid energie nodig om een beeld te weergeven. De hoeveelheid energie die erin moet worden gestopt staat vermeld op de plaat, en bepaald dus ook hoelang de belichtingstijd zal moeten zijn.

Holografisch papier bestaat uit hetzelfde principe maar in plaats van een glasplaat wordt er uit gegaan van een dun laagje plastic. Hierop wordt weer een dun laagje metaal aangebracht, meestal zilver. Het grootste verschil tussen de plaat en het papier is de dikte ervan. Een plaat is veel dikker en veel steviger, er zullen minder trillingen optreden bij een plaat dan bij papier, waardoor er bij holografie op een glasplaat beter kwaliteit ontstaat.

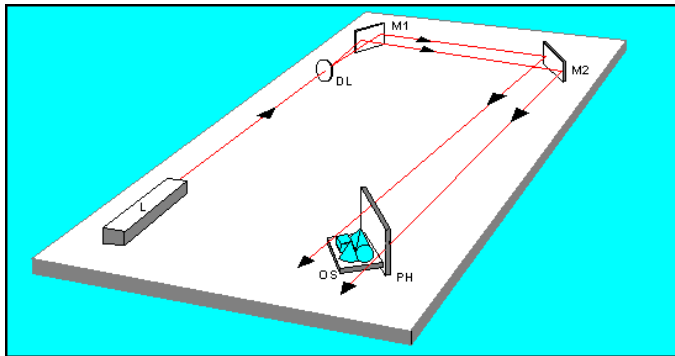
Bij een laser met een vermogen van 50 mW en een plaat die een energie nodig heeft van 200 mJ, hoort dus een belichtingstijd van $200/50 = 4$ seconden.

Welke soorten hologrammen zijn er?

Alle hologrammen kunnen ingedeeld worden in twee groepen, transmissiehologrammen en reflectiehologrammen. Het principe van een transmissie hologrammen heb ik in het vorige hoofdstuk al uitgelegd. Een reflectiehologram heeft dezelfde basis, maar heeft als bijzonderheid dat gewoon zonlicht of licht van een zaklantaarn gebruikt kan worden om het terug te lezen in plaats van een laser zoals bij transmissiehologrammen. Hologrammen zijn daarnaast nog in andere soorten in te delen, hier volgt een overzicht van de verschillende hologrammen:

- transmissiehologram
- reflectiehologram
- fasehologram
- regenbooghologram
- kleur hologram
- embossed hologram
- stereogram
-

Reflectiehologram



In de volgende figuur staat de opstelling voor het maken van een reflectiehologram. Het voorwerp wordt in deze opstelling direct achter de holoplaat geplaatst, tegengesteld aan de laserstralen. De holoplaat kan het beste met een hoek van ongeveer 45° gedraait

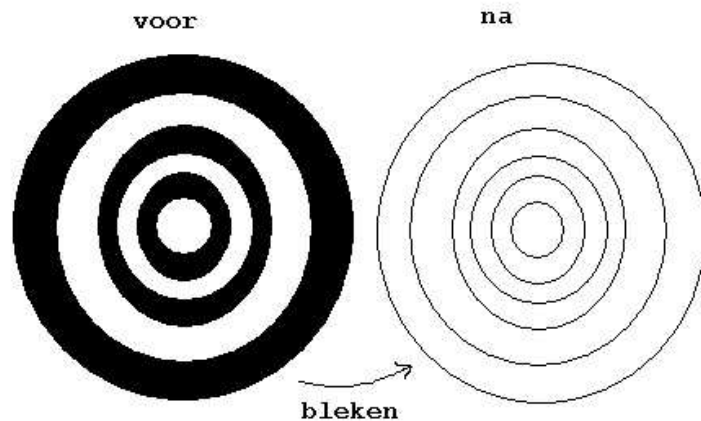
zijn ten opzichte van de laserstraal, hierdoor zal een groter deel van de plaat en het voorwerp verlicht worden. Als de laser aan wordt gezet, zal de laserstraal door de holoplaat heen schijnen, vervolgens op het voorwerp terecht komen, waar het wordt weerkaatst om vervolgens weer door de plaat te gaan. Op hetzelfde moment, zal de laserstraal die dan door de plaat gaat als referentiebundel dienen. Om dit hologram te zien, moet je het voor je houden en met zonlicht of een zaklantaarn vanuit dezelfde hoek als de laserstraal geschiedt heeft, dus in dit geval 45° , het licht erop laten vallen. Het wordt een reflectiehologram genoemd omdat het hologram zichtbaar wordt doordat de reconstructiestraal via de holoplaat gereflecteerd wordt in het oog. Ook als de hoek niet precies gelijk is aan 45° zal het hologram te zien zijn, maar dan wel veel minder fel, onder de hoek waaronder het hologram is gemaakt, is het hologram van de beste kwaliteit. Ook kan gewoon laserlicht gebruikt worden om een reflectiehologram terug te zien, maar ook hierbij wordt het van mindere kwaliteit. Als het hologram

af is, is het nog duidelijker te maken door de achterkan zwart te verven, hierdoor kun je er niet meer doorheen kijken. Bij het maken van een reflectiehologram is het zo mogelijk nog belangrijker dat er geen trillingen zijn, daarom wordt het voorwerp stevig vastgemaakt op een aluminiumplaat, die weer aan de holoplaat vast zit.

Fasehologram

Om de lichtopbrengst van een hologram te vergroten, zodat een beter beeld ontstaat, kan het hologram gebleekt worden. De zonelens op de holografische plaat bestaan uit afwisselend lichte en donkere ringen. De transparante ringen laten het licht gewoon door, maar de donkere ringen absorberen heel veel licht. Nou, dat is gemakkelijk, dan zorg je er gewoon voor dat de donkere ringen verdwijnen. Helaas is het niet zo eenvoudig, want zonder donkere ringen heb je geen zonelens meer, een

dus verlies je de op de plaat vastgelegde informatie. Er moet dus voor gezorgd worden dat de donkere ringen doorzichtig worden, maar wel te onderscheiden blijven van de transparante ringen.



Een normale fotografische film bestaat uit een gelatinelaag waarin kristallen van lichtgevoelige zilverzouten, zoals zilverchloride, zilverbromide en zilverjodide, zitten. Bij het ontwikkelen van zo'n plaat worden de kristallen waarop licht is gevallen omgezet in zilver. De donkere ringen van de interferentiepatronen in het hologram zijn hieruit opgebouwd.

Door het hologram chemisch te bleken, wordt het zilver van die ringen omgezet in een zilververbinding die wel licht doorlaat. Er is dan nog wel een verschil tussen de plaatsen waar donkere ringen waren en de transparante ringen. De lichtsnelheid in de zilververbinding is namelijk kleiner dan de snelheid van het licht dat de transparante ringen passeert. Daardoor worden de golven die door de gebleekte ringen gaan een beetje verschoven ten opzichte van de golven die door de transparante ringen gaan, een faseverschuiving. Als de verschuiving optimaal is, wordt een zonelens gevormd door de gebleekte ringen. De golven komen dan gewoon in gelijke fase aan in het brandpunt.

Regenbooghologram

Het regenbooghologram werd in 1968 uitgevonden door Benton, toen hij onderzoek deed naar een holografische televisie. Dit was het eerste hologram die bij gewoon witlicht bekeken kon worden. Het bijzondere aan dit hologram is dat het alle kleuren van het kleurenspectrum aanneemt, als het van verschillende kanten bekeken wordt, daarom wordt het een regenbooghologram genoemd. Doordat er nu verschillende kleuren te zien waren bij een hologram, werd door de uitvinding van het regenbooghologram holografie meer commercieel en werd het als een kunstvorm gezien. Een regenbooghologram is in principe een kopie van een transmissiehologram. Hierbij wordt een stuk van het transmissiehologram genomen, dit is mogelijk omdat elk deel van het transmissiehologram alle informatie van het hele beeld bevat. In dit stuk van het transmissiehologram wordt een spleet gemaakt. Er wordt een reconstructiebundel, met dezelfde fase en golflengte als de constructiebundel, op het stukje van de transmissiehologram geschoten. De spleet wordt gebruikt als een soort pupil waar het licht van de hologram doorheen gaat. Verder verspreid de spleet het invallende witlicht zodat er een spectrum ontstaat dat op een fotografisch plaat valt, waarop de kopie ontstaat. Doordat de spleet erg smal is, is het licht dat er doorheen valt gepolariseerd, hierdoor is het hologram niet meer in verticale richting te bekijken. Als je recht op het hologram kijkt zie je dus wel een beeld ga je met je hoofd van boven naar beneden bewegen, dan vervalt het beeld dus. Het hoofd van links naar rechts bewegen geeft dus verschillende kleuren van het hologram. Als het hoofd precies vanuit de hoek waardoor het licht vanuit de spleet op het hologram kijkt, zal de kleur die te zien is, de kleur zijn van de gebruikte reconstructiebundel. De spleet moet precies tussen de 3 en 5 mm breed zijn. Bij een breedte kleiner dan 3 mm zal het hologram uit stippen bestaan, bij een breedte groter dan 5mm zal het hologram onduidelijk zijn.

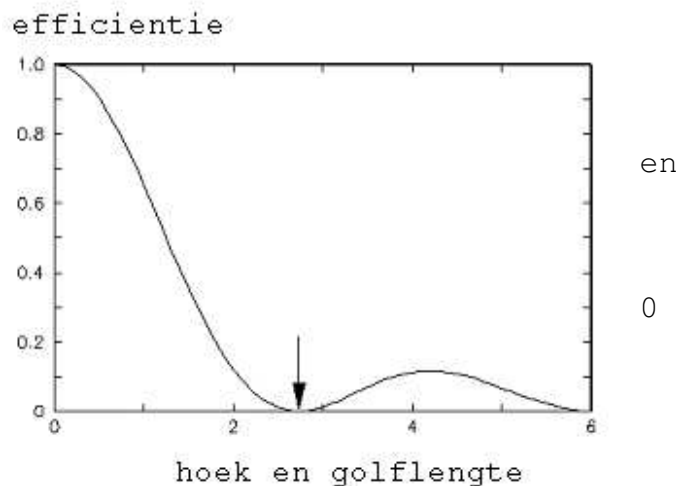
Kleur hologram

Een kleur hologram, is precies wat zijn naam zegt, een hologram waarbij de afbeelding in kleur is. Hierbij wordt niet bedoelt in een kleur, want dat is bij andere hologrammen ook mogelijk, maar juist nu in meerdere kleuren. Dit wordt gedaan door een voorwerp in principe gewoon meerdere keren met lasers van verschillende golflengtes te holografieren. Er is alleen een probleem hierbij, de verschillende interferentiepatronen zullen zich in elkaar mengen waardoor de beelden in elkaar doorlopen. Hier is een oplossing voor gevonden, het Bragg effect. Ik zal dit effect eerst even hieronder apart uitleggen. Door dit effect kunnen dus meerder hologrammen in een volume worden opgenomen, hierdoor kunnen meerdere kleuren in een hologram worden vastgelegd. Hiervoor moet dus wel met

de verschillende lasers op het materiaal gescheten worden om de verschillende kleuren van het hologram terug te zien. Een andere manier om kleur hologrammen te maken is het zogenaamde pseudokleuring. Hierbij wordt ook gebruik gemaakt van het principe van het Bragg effect. Hierbij wordt puur de dikte van de holoplaat gevarieerd op verschillende plaatsen in het hologram. Ook hierdoor treedt een 0 punt van het efficiëntie op, waardoor weer meerdere hologrammen in een volume kunnen worden opgenomen. Het variëren van de dikte kan op verschillende manier bereikt worden, onder andere door het in bepaalde verhouding toevoegen van ontwikkelaars en bleekmiddelen. Daarnaast is het mogelijk de belichtingstijd en dus belichtingsenergie te variëren. De belichtingsenergie bepaalt namelijk de hoeveelheid zilver die wordt geïoniseerd. Hoe meer wordt geïoniseerd, hoe dunner de plaat op die plaat zal worden.

Het Bragg effect

Voor het reconstrueren van een hologram moeten we een reconstructiebundel nemen die zoveel mogelijk gelijk is aan de constructiebundel (golflengte, fase en hoek). Hoe dikker het hologram is, hoe gevoeliger het is voor verschillen. Als de reconstructiebundel precies gelijk is aan de constructiestraal zal er een maximum efficiëntie zijn. Dit betekent dat het gevormde beeld zijn maximum kwaliteit heeft bereikt wat betreft felheid en scherpheid. Bij grotere verschillen tussen de reconstructie- en constructiebron, dus verschillende golflengtes en hoeken, zal de efficiëntie van het holografisch beeld afnemen. Er bestaat volgens het Bragg effect een punt waarop de hoek de golflengte van de reconstructiebundel zo gekozen is dat de efficiëntie van het beeld is. Op het punt waar de efficiëntie 0 is, kan een ander hologram worden opgenomen zonder dat deze het andere hologram verstoort.



Embossed hologram

Dit is de engelse benaming voor dit soort holografie, embossed betekent letterlijk "in relief gemaakt", en dit is ook precies wat een embossed hologram inhoudt. De techniek die hierachter zit, is het in dun plastic "film" drukken van het interferentiepatroon van een bestaand transmissiehologram. Deze film bestaat meestal uit polyester met een dun laagje

metaal. Hoewel de machines en technieken voor het maken van zulke hologrammen erg ingewikkeld en duur zijn, is de kostprijs per stuk erg laag, zelfs de laagste van alle soorten hologrammen. Dit komt doordat nadat het productieproces is opgezet de productie per stuk erg snel gaat. Doordat de kosten voor het produceren zo laag zijn, worden embossed hologrammen massa geproduceerd en zijn ze de meest voorkomende hologrammen op aarde.

Stereogram

Een van de nieuwste ontwikkeling op het gebied van holografie is de stereogram. Hierbij wordt een LCD-scherm aan een computer gekoppeld. Er wordt een reeks hologrammen (stilstaande) ingescand in de computer, bij het afspelen van die reeks hologrammen ontstaat een geanimeerde beweging van het holografisch beeld. Een stereogram wordt ook wel een geanimeerde hologram genoemd. Zoals de animatiefilm is ontstaan uit de foto of 2D plaatjes, is een stereogram ontstaan uit hologrammen, oftewel 3D plaatjes.

Wat zijn toepassingen van holografie?

Holografie als beveiliging



Producenten geven veel geld uit aan de productie van hun goederen, om te zorgen dat deze van goede kwaliteit is zodat de consumenten deze zullen kopen. Consumenten willen daarentegen waar voor hun geld. Vervalsers kosten zowel de producenten als de consumenten veel geld, de producenten verkopen door hen minder van hun goederen en de consumenten krijgen niet de kwaliteit waar zij voor betalen. Bij het tegengaan van dit probleem speelt het hologram een belangrijke rol. Vooral geld, paspoorten, rijbewijzen en merknaam

producten worden veel vervalst. Beveiligingshologrammen gaan dit steeds meer tegen. Hele hoge kwaliteitshologrammen die bijna onmogelijk te vervalsen zijn, worden op deze artikelen en hun verpakkingen gemaakt, zodat zowel de consument als de producent verzekerd kunnen zijn van het "echte" product. Er zijn apparaten die deze holografische lasers kunnen lezen, zodat het product gemakkelijk gecontroleerd kan worden op afkomst, kwaliteit en waarde.

HOE's

HOE staat voor Holografisch Optisch Element, en wordt in sommige supermarkten gebruikt. Het bestaat uit een aantal holografische lenzen met verschillende brandpuntsafstanden. Op alle producten staan streepjescodes die informatie bevatten over het onderwerp. Bij het afrekenen van de artikelen, wordt de streepjescode "gescand", dit gebeurt met behulp van een laser die de streepjescode leest. Een HOE maakt dit proces makkelijker, door met behulp van de verschillende holografische lenzen en prisma's de laserstralen zo af te buigen dat zij het hele voorwerp aan alle kanten kunnen aftasten naar de streepjescode. Op deze manier kan het scannen van de producten veel sneller gebeuren, dan wanneer er handmatig naar de streepjescode gezocht moet worden.

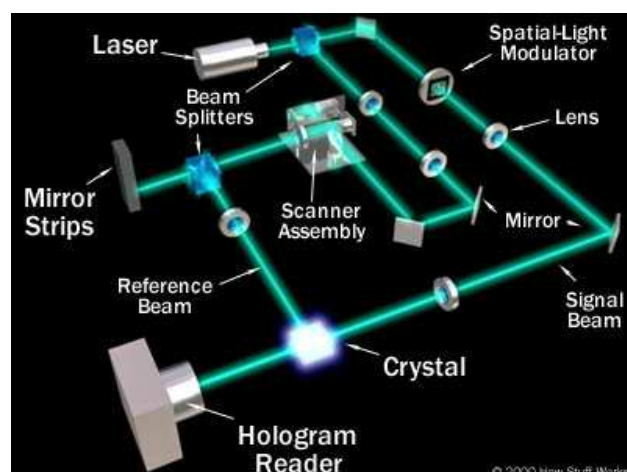
Holografische interferometri

Bij interferometrie wordt gebruik gemaakt van het feit dat wanneer het object tijdens het maken van een hologram verschuift, je donkere lijnen en vlekken krijg. Wanneer een punt van het voorwerp een heel aantal halve golflengtes verschuift, zal er op die plaats een donkere plek ontstaan. Als de verschuiving echter een heel aantal hele golflengtes is, ontstaat weer een lichte plek. De donkere en lichte plekken worden verbonden, en zo ontstaat een zebrapatroon van donkere en heldere lijnen. Er kan nu ook een dubbelopname gemaakt worden. Als bij de ene opname het voorwerp belast is, en bij de andere onbelast, zullen er kleine verschuivingen optreden, en krijg je dus het hierboven beschreven zebrapatroon. Als in het patroon lijnen zitten die erg dicht op elkaar zitten, of onderbroken zijn, wijst dat op een fout in het materiaal. Met behulp van holografische interferometrie kunnen dus materiaal- en constructiefouten opgespoord worden. Ook kan een voetafdruk op een tapijt opgespoord worden. Van die plek waar de voetstap zou moeten staan (je ziet hem niet), wordt een hologram gemaakt. Vijf minuten daarna wordt de opname nog een keer belicht. Omdat de haartjes van het tapijt zich langzaam oprichten, is er in die vijf minuten een verplaatsing geweest. Er wordt dus weer een streppatroon zichtbaar.

Holografische geheugens

Holografie biedt een extra dimensie voor het opslaan van informatie. Tot nu toe wordt in computers alle informatie 2D opgeslagen, aangezien alles aan het oppervlak wordt opgeslagen. Door het gebruik van holografie kan informatie ook in 3D worden opgeslagen doordat ook de diepte gebruikt kan worden. Verder is het door het gebruik van licht van verschillende golflengtes net als bij een kleuren hologram mogelijk om op basis van het effect van Bragg meerdere bestanden van informatie in een volume op te slaan.

Informatie wordt opgeslagen door een laserstraal te splitsen in een referentiestraal en een signaalbundel (normaal voorwerpsbundel genoemd), deze signaalbundel bevat de informatie. De informatie wordt door een zogenaamde SLM, Spatial Light Modulator omgezet van digitale nullen en eenen in een optisch "dambord", dus een patroon van lichte en

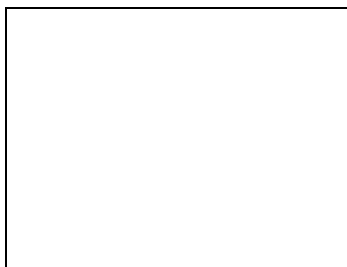


donkere pixels. Op de holografische plaat wordt net als bij gewone holografie een hologram gevormd door interferentie tussen de signaalbundel en de referentiebundel. Om de informatie weer terug te lezen moet met een reconstructiebundel op de holoplaat geschieden worden, waarbij de hologram zichtbaar is. De hologram wordt geprojecteerd op een detector, een apparaat dat het "dambord" omzet in digitale nullen en eenen.

Holografische geheugens zijn nog in de ontwikkelingsfase er zijn nog vele problemen die opgelost moeten worden. Er is wel al een ding duidelijk, holografische geheugens zullen in een kleine ruimte duizenden malen zoveel informatie kunnen opslaan als conventionele opslagsystemen. Hierdoor zal de snelheid waarmee de informatie kan worden overgebracht enorm stijgen. Het is wetenschappers nu al gelukt om 1400 hologrammen in een volume aan te brengen, verder is er al een dichtheid behaald van meer dan 10 gygabyte per seconde.

Holografie als kunstvorm

Door de uitvinding van het regenbooghologram werd holografie heel populair in de kunstsector. Er zijn duizenden exposities, gallerijen, musea en sites van hologrammen. Het kopen van een hologram als kunstwerk is tegenwoordig net zo makkelijk als het bestellen van kleren bij de neckermann. Er is keuze uit praktisch elk voorwerp dat je je maar kunt bedenken en tegenwoordig kunnen ook hologrammen besteld worden van een persoon. Er zijn oneindig veel mogelijkheden wanneer het gaat om holografie, kleur, diepte, meerdere hologrammen in een, geanimeerde hologrammen, dus voor de kunstenaars is er nog genoeg uit te proberen.



Nawoord en bronnenlijst

Toen ik aan dit werkstuk begon had ik nog geen enkel idee hoe een hologram werkte, wat er aan te pas kwam, welke soorten er waren etc. Achteraf gezien was het een vrij moeilijk onderwerp, vooral omdat er zo weinig nuttige informatie over te vinden was. In de bibliotheek was geen enkel boek met als onderwerp holografie, maar daar heb ik wel het een en ander over lasers kunnen vinden. Op internet zijn wel veel sites, maar slechts weinig met goede informatie voor mij. De meeste sites zijn vooral gericht op het verkopen van hologrammen, en hierdoor geven zij maar weinig informatie over hoe ze nou gemaakt worden. Ik heb mijn hologram bij Kris Meerlo gemaakt, een hobbyer. Hij was wel hulpvaardig bij het maken van een hologram en had ook goede apparatuur, maar als snel merkte ik dat hij wel veel van de praktijk af wist, maar helaas slechts weinig over de theorie die erachter zat. Uiteindelijk heb ik gelukkig genoeg informatie kunnen vinden en met een beetje hulp van mijn natuurkunde boek is het allemaal goed gekomen.

Bronnen

Boeken:

- Holografie - Toveren met licht, Bruno Ernst, 1986
- Lasers - in theorie en praktijk, Dirk R. Baur, 1997
- Lasers en hologrammen, Ian Graham
- natuurkunde 1 tekstboek

Internet:

- www.inphase-technologies.com
- www.holobank.com
- www.holography.nl
- www.holografie.tk
- www.holographer.com
- www.holography.co.uk
- www.holokits.com
- www.holoprint.com
- www.holoworld.com

Artikelen:

- Optische techniek verlicht communicatie, Rene raaijmakers
- Holographic storage nears debut, Margaret Quan, EE Times

Personen:

- Kris Meerlo

Praktische opdracht

Als praktisch deel van het profielwerkstuk heb ik besloten zelf een hologram te maken. Hiervoor ben ik naar Kris Meerlo geweest, een hobby holoograaf. Hier volgt het verslag.

Voor het maken van een singlebeam reflectiehologram is een bepaalde opstelling van onderdelen nodig. Dit is te zien op bladzijde 12 en hier is een foto van deze opstelling. Omdat een hologram erg gevoelig is voor trillingen, moet deze opstelling dus op een trillingvrij tafel staan, hiervoor was de tafel gemaakt van een stalen frame en stond de tafel op liggende scooterbanden. De scooterbanden moeten eventuele bewegingen opvangen. Om trillingen geheel te voorkomen mag niemand de tafel aanraken tijdens de belichting.



Ik heb een HeNe-laser van 50 mW gebruikt, dit is een heel groot vermogen, maar het is sterk genoeg voor het maken van een eenvoudig hologram. Ik heb een holografische plaat gebruikt van 10 bij 13 cm, met een energie waarde van 200mJ. Voor deze waarden is een belichtingstijd van 4 seconden nodig, maar voor de zekerheid heb ik de plaat gedurende 5 seconden verlicht. Dit wordt allemaal gedaan in een donkere kamer, compleet afgesloten van ander licht dat het laserlicht.

Na afloop moet ik de plaat "ontwikkelen", net als bij foto's. Dit gebeurt weer in een andere kamer, hier is wel gewoon licht. Als ontwikkelaar gebruik ik een mengsel van pyro-gallol, kalium-dichromaat en soda. Hier leg ik de holografische plaat 5 minuten in, waardoor het interferentiepatroon (dus een soort negatief van het hologram) ontstaat. Hierna moet het hologram nog gebleekt worden, dit gebeurt om het geheel helderder te maken. Ook dit gebeurt zo'n 5 minuten, totdat het geheel transparant is. Hierna wordt het geheel 10 minuten lang gewassen in gedestilleerd water zodat de bleekmiddel er geheel af is. Vervolgens laat ik mijn hologram 20 minuten lang drogen, gewoon in de lucht totdat het geheel hard is. Nu is mijn hologram in principe al af, maar Kris vertelt mij dat ik de achterkant het beste zwart kan verven zodat er geen achtergrond meer is, dus verf ik de achterkant maar. Hierna ziet het hologram er inderdaad nog duidelijker uit.



De kleur van mijn hologram wordt door twee dingen bepaald:

- De hoek waaronder het hologram belicht wordt
- Bij welke temperatuur het hologram droogt
- De belichtingstijd

Bij een hoek tussen de 35 en 45 graden zal het hologram rood/oranje/ geel laten uitvallen, bij een hoek tussen 45 en 55 graden zal het groen worden. Ik heb de hoek niet heel precies gemeten, maar het was ongeveer 50 graden, waardoor het hologram groen is geworden. Onder een bepaalde hoek is ook een beetje oranje te zien.

Als je het hologram gewoon in de lucht laat drogen zal de kleur niet veranderen en is het dus afhankelijk van de hoek waarover ik het net had. Als je het hologram met warme lucht laat drogen, zal de emulsie op de plaat krimpen, waardoor de interferentiepatronen krimpen en zal de kleur veranderen in groen of zelfs blauw. Ik heb het in de lucht laten drogen, daarom is die van mij gewoon groen gebleven.

De emulsie van de holografieplaat verandert van dikte bij verschillende belichtingstijden. Wanneer het hologram langer belicht wordt zullen de interferentiepatronen meer diepte krijgen. Bij een belichtingstijd van minder dan drie seconden, zal de kleur van het hologram afhankelijk zijn van de eerste twee punten. Wanneer het hologram langer belicht wordt dan drie seconden zal het groen worden.

Het terugzien van mijn hologram kan gewoon met witlicht. Het is namelijk een witlicht, reflectie, fase hologram. Een witlicht bron is bijvoorbeeld een zaklamp, maar het best is nog de zon (het zonlicht is de meest coherente witlicht bundel die wij hebben). Witlicht is een spectrum van alle kleuren. Wanneer het licht op de holografische plaat valt, wordt bijna al het licht geabsorbeerd door de emulsie aan het oppervlak, behalve slechts het licht van een bepaalde golflengte. In het geval van mijn hologram is de golflengte dus 550 nm, dus de golflengte van groen licht. Dit licht wordt weerkaatst, oftewel gereflecteerd door de emulsie (vandaar reflectie hologram) en vormt het hologram.