

TOEPASSINGEN VAN POLARISATIE IN DE OPTIEK

door

Redant Michaël

Met deze scriptie wordt voldaan aan een deel van de vereisten voor het behalen
van een diploma

Opticien-Optometrist

Syntra Midden-Vlaanderen Campus Gent

2017

Syntra Midden-Vlaanderen Campus Gent

Samenvatting

TOEPASSINGEN VAN POLARISATIE IN DE OPTIEK

door Redant Michaël

Deze scriptie handelt over de diverse mogelijkheden van gepolariseerde filters en glazen die toegepast worden in de optiek.

Na een korte inleiding en een geïllustreerde uitleg over polarisatie en licht in het algemeen zullen de diverse toepassingen die in de optiek gebruikt worden, behandeld worden.

Tevens zal er ook aan de hand van een enquête die werd afgenoem, een studie gemaakt worden over de actuele kennis inzake polarisatie.

Voorwoord	6
Lijst met afbeeldingen	7
Hoofdstuk 1: Basisbeginselen	9
1.1 Korte geschiedenisles	9
1.2 Basisprincipes	10
1.2.1 Vanwaar komt het licht?	10
1.2.2 Elektromagnetisch spectrum	11
1.2.3 Deeltje of golf?	12
1.3 Golflengtes	13
1.3.1 Ontstaan van elektromagnetische golven	13
1.3.2 golflengtes uitgelegd	13
1.3.3 Fase van een golf	14
1.3.4 Transversale golf	15
1.3.5 Longitudinale golf	15
Hoofdstuk 2: Polarisatie in de spotlight	17
2.1 Inleiding naar polarisatie	17
2.1.1 Lichtbreking	17
2.1.2 Wet van Snellius	19
2.1.3 Terugkaatsing van licht	19
2.1.3 Hoek van Brewster	21
2.1.4 Wet van Malus	21
2.2 Kenmerken van polarisatie	22
2.2.1 Wat is wel en niet gepolariseerd	22
2.2.2 Soorten van polarisatie	22
2.3 Bekomen van polarisatie	23
2.3.1 Natuurlijke manieren van polarisatie	23
2.3.2 Artificiële manieren van polarisatie	26
Hoofdstuk 3: Toegepaste polarisatie	29
3.1 Gepolariseerde film	29
3.1.1 Met kristallen	29
3.1.2 Dichromophoren	29
3.1.3 Afgeleide "sheets"	30
3.1.4 Succes van Polaroid	30
3.2 Polarisatoren	31
3.2.1 Calciet	31
3.2.2 Nicol en Glan type prisma's	31
3.2.3 Gepolariseerde beam-splitter prisma's	32
3.2.5 Wire-grid polarsatoren	34
3.2.6 Diverse polarisatoren voor licht in het niet zichtbare spectrum	34
3.2.7 Retarders	34
3.3 Toepassingen in communicatie	35
3.3.1 Antennes en satellieten	35
3.3.2 Lasers	35
3.4 Toepassingen in LCD	36

3.4.1 Principes van LCD	36
3.4.2 Licht aan of uit in LCD	37
3.5 Toepassingen in de microscopie	37
3.5.1 Door de microscoop heen	37
3.5.2 Wat heb je nodig op je microscoop	38
3.5.3 Werking van gepolariseerd licht door een microscoop	39
3.5.5 Verdere studies met de microscoop	41
3.6 Toepassingen in de spectroscopie	42
3.7 Toepassingen in de fotografie	43
3.7.1 Een korte samenvatting	43
3.7.2 De hoek van de zon en verdraaiing van de polarisatiefilter	43
3.7.3 Verzadiging van kleur	44
3.7.4 Reflecties en lichtdoorlaatbaarheid	45
3.7.5 Contrast en schitteringen	46
3.7.6 Nadelen van polarisatiefilters in de fotografie	47
3.8 Toepassingen in 3D	47
3.9 Toepassingen in optische modulators	49
3.9.1 Photoelasticity	49
3.9.2 Het Faraday effect	50
3.9.3 Het Kerr en Pockels effect	51
3.10 Toepassingen in zonnebrillen	51
Hoofdstuk 4: De enquête	53
4.1 Inleiding tot de enquête	53
4.2 Resultaten van de enquête	53
4.3 Analyse van de resultaten	54
4.3.1 Analyse van de doelgroep	54
4.3.2 Analyse van de vragen	54
4.4 Eindconclusie van de enquête	55
Bibliografie	57

Voorwoord

Mijn naam is Redant Michaël, ik zit in het 3de jaar opticien optometrist op Syntra in Gent. De reden waarom ik voor dit vak in het algemeen heb gekozen is omdat ik reeds enkele jaren werkzaam ben in de optiek en ik nu van mijn werkgever de kans kreeg om mijn diploma te behalen. Optiek interesseert mij enorm, zowel praktisch als theoretisch en wanneer ik de kans kreeg om mijn vak echt goed te leren, dan nam ik deze gretig en met beide handen aan.

Mijn onderwerp voor deze verhandeling is eigenlijk uit het idee gekomen dat vele mensen een gepolariseerde zonnebril of filter op hun camera gebruiken, zonder er bij stil te staan hoe deze exact werkt. Hiervoor heb ik zelf een onderzoek gestart om te kijken hoeveel mensen juist weten hoe polarisatie werkt en de eventuele toepassingen waarvoor het gebruikt wordt.

Na reeds talloze malen gepolariseerde zonnebrillen te verkopen kreeg ik in de les een diepere kennis van de gepolariseerde filter. Zelf ligt in mijn auto ook een gepolariseerde zonnebril op sterkte dus weet ik zelf ook het grote voordeel die bij het dragen van een zonnebril met gepolariseerde glazen komt.

Ik heb getracht met deze verhandeling een zo compleet mogelijk beeld te scheppen van polarisatie en de andere verschillende toepassingen ervan in de optische wereld.

Lijst met afbeeldingen

<i>Figuur 1 Etienne-Louis Malus op Eiffel toren</i>	9
<i>Figuur 2 Eiffel toren</i>	9
<i>Figuur 3 Etienne Louis Malus</i>	9
<i>Figuur 4 Zonlicht</i>	10
<i>Figuur 5 oppervlak van de zon</i>	11
<i>Figuur 6 elektromagnetische straling</i>	11
<i>Figuur 7 Interferentiepatroon</i>	12
<i>Figuur 8 Diffractie</i>	12
<i>Figuur 9 3D weergave van licht als deeltje en golf</i>	13
<i>Figuur 10 Golvengte</i>	14
<i>Figuur 11 elektromagnetische golf</i>	14
<i>Figuur 12 Golven met dezelfde fase</i>	14
<i>Figuur 13 Golven met verschillende fase</i>	15
<i>Figuur 14 transversale golf in één richting</i>	15
<i>Figuur 15 Longitudinale golf</i>	15
<i>Figuur 16 Breking van licht door Zatony Sandor</i>	17
<i>Figuur 17 Breking van licht in water</i>	18
<i>Figuur 18 Van lucht naar vast</i>	18
<i>Figuur 19 Van vast naar lucht</i>	18
<i>Figuur 20 Grenshoek</i>	20
<i>Figuur 21 Totale terugkaatsing</i>	20
<i>Figuur 22 Malus' law</i>	21
<i>Figuur 23 Lineaire polarisatie</i>	22
<i>Figuur 24 Cirkelvormige polarisatie</i>	23
<i>Figuur 25 Elliptische polarisatie</i>	23
<i>Figuur 26 Polarisatie door reflectie</i>	24
<i>Figuur 27 Polarisatie door refractie</i>	24
<i>Figuur 28 Dubbelbreking in Calciet</i>	25
<i>Figuur 29 Polarisatie door verstrooiing</i>	25
<i>Figuur 30 Polarisatie door filter</i>	26
<i>Figuur 31 Half wave plate</i>	26
<i>Figuur 32 Quarter wave plate</i>	27
<i>Figuur 33 Full wave plate</i>	27
<i>Figuur 34 Volledige interne reflecties</i>	27
<i>Figuur 35 Fresnel 's Rhomb</i>	27
<i>Figuur 36 Polymeer retarder</i>	28
<i>Figuur 37 Edward Herbert Land</i>	29
<i>Figuur 38 Dichroïsche filters</i>	29
<i>Figuur 39 Diochroïsch kristal</i>	29
<i>Figuur 40 Nicol Prisma</i>	31
<i>Figuur 41 Glan-Thompson prisma</i>	32
<i>Figuur 42 Wollaston Beam Splitter prisma</i>	33
<i>Figuur 43 Dichroïsche parels</i>	33
<i>Figuur 44 Wire-grid polarisator</i>	34
<i>Figuur 45 LCD kristallen in hun groeven</i>	36
<i>Figuur 46 principe van LCD</i>	37
<i>Figuur 47 Microscoop met polarisatoren</i>	38
<i>Figuur 48 polarisator en analysator</i>	38
<i>Figuur 49 Polarisator en Analysator gemonteerd</i>	39
<i>Figuur 50 Foto van een vulkanische zandkorrel</i>	41
<i>Figuur 51 Spectroscoop</i>	42

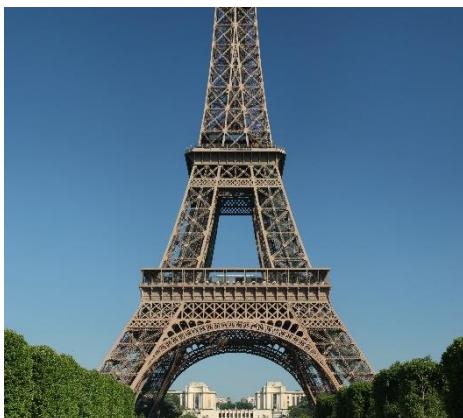
<i>Figuur 52 Polariserend effect met groothoeklens</i>	44
<i>Figuur 53 Hoge verzadiging</i>	44
<i>Figuur 54 Weinig verzadiging</i>	44
<i>Figuur 55 Zonder polaroidfilter</i>	
<i>Figuur 57 Zonder polaroidfilter</i>	
<i>Figuur 59 Foto door vliegtuigraam</i>	
<i>Figuur 60 Zonder polaroidfilter</i>	
<i>Figuur 62 Zonder polaroidfilter</i>	
<i>Figuur 64 Stereopsis</i>	48
<i>Figuur 65 3D toen</i>	48
<i>Figuur 66 3D nu</i>	49
<i>Figuur 67 Dubbelbrekende stress</i>	50
<i>Figuur 68 Faraday Effect</i>	50
<i>Figuur 69 Een Kerr cel</i>	51
<i>Figuur 70 Gepolariseerde zonnebril</i>	52
<i>Figuur 71 Indeling van een zonneglas</i>	52
<i>Figuur 72 Doelgroepen van de enquête</i>	56
<i>Figuur 73 Antwoorden van de enquête</i>	56
<i>Figuur 56 Met polaroidfilter</i>	45
<i>Figuur 58 Met polaroidfilter</i>	45
<i>Figuur 61 Met polaroidfilter</i>	46
<i>Figuur 63 Met polaroidfilter</i>	47

Hoofdstuk 1: Basisbeginselen

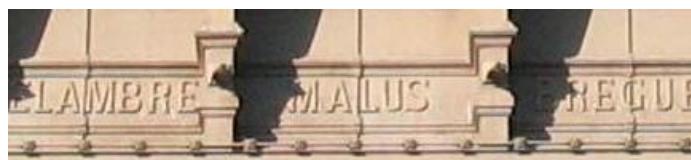
1.1 Korte geschiedenisles

De eerste beginselen van polarisatie was in 1669 wanneer

Polarisatie werd ontdekt door Etienne-Louis Malus in 1808. Etienne-Louis Malus was een Franse fysicus die, na de expeditie van Napoleon in Egypte, zijn leven wijdde aan de optica. Met zijn paper "Sur une propriété de la lumière réfléchie par les corps diaphanes" beschreef hij de ontdekking van polarisatie. Hij is één van de 72 Fransen wier namen gegrift staan op de Eiffeltoren.



Figuur 2 Eiffel toren



Figuur 1 Etienne-Louis Malus op Eiffel toren

De doorbraak in elektromagnetische theorie van eind 19^{de}, begin 20^{ste} eeuw bood de kans aan om het gebied van polarisatie te bestuderen. E.L. Malus zijn theorie beschreef hoe materialen met die karakteristieken zich gedragen, in plaats van te beschrijven waarom ze die bepaalde karakteristieken hebben.

E.L. Malus ontdekte dat wanneer je een bundel licht onder een hoek op een plaat glas laat vallen de gereflecteerde straal gedeeltelijk gepolariseerd wordt. Onder één bepaalde hoek, de polarisatiehoek, is de gereflecteerde straal zelfs geheel gepolariseerd.



ETIENNE LOUIS MALUS
(1775 - 1812)

Figuur 3 Etienne Louis Malus

1.2 Basisprincipes

1.2.1 Vanwaar komt het licht?

Licht, het komt van onze zon en zorgt voor de warmte...

Dat zou de meest simpele uitleg zijn om kort uit te leggen wat licht is. Maar licht is veel meer en bevat anno 2017 nog steeds mysteries.



Figuur 4 Zonlicht

De basis van licht in ons zonnestelsel komt van onze zon. De zon, in het hart van ons zonnestelsel houdt met haar zwaartekracht het hele zonnestelsel in een baan draaiend. De zon is een kleine gele dwergster. Fusie is wat er aan de basis ligt van wat er gebeurt in de zon. Wanneer 2 atomen samenkommen en intens verhitten dan versmelten hun nuclei tot één nieuw element, een foton.

Dit zijn lichtdeeltjes die door de zon uitgestoten worden. Het duurt echter 40.000 jaar vooraleer een foton het oppervlak van de zon bereikt. Wanneer ze het oppervlak van de zon bereiken dan verlichten ze het gehele zonnestelsel en geven ze onze warmte. Het aantal uitgestoten fotonen is een biljoen biljoen keer groter dan het totale aantal zandkorrels op onze planeet. De fotonen moeten om onze aarde te bereiken een afstand afleggen van 149.600.000 km en dit in 8 minuten.

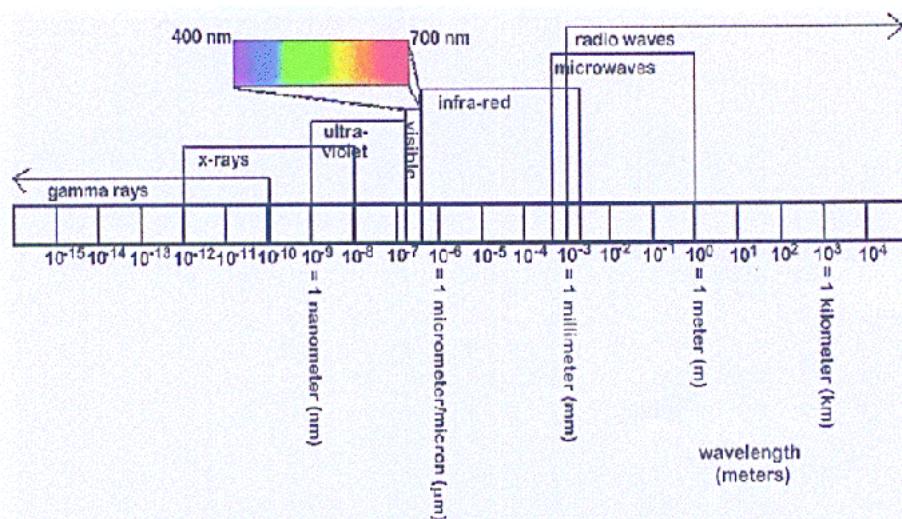


Figuur 5 oppervlak van de zon

1.2.2 Elektromagnetisch spectrum

Om de basisprincipes van polarisatie te weten moet men eerst een begrip trachten te krijgen van licht zelf. Licht is eigenlijk, in het meest basisprincipe, een manier om energie door te geven door een ruimte. De snelheid waarmee dit gebeurt, is de maximale snelheid die behaald kan worden in vacuüm namelijk 299.792.458 meter per seconde.

Het licht is eigenlijk een breed spectrum waarvan het zichtbaar licht maar een klein gedeelte is.



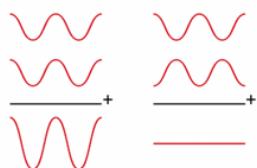
Figuur 6 elektromagnetische straling

Naast het zichtbaar licht, bestaat licht eigenlijk uit elektromagnetische straling. Zoals beschreven in figuur 6 is het elektromagnetische spectrum een breed spectrum van verschillende stralen. Belangrijk is om hier te stellen dat er geen

“grenzen” zijn tussen deze verschillende stralingen, het is een continue stroom van energie.

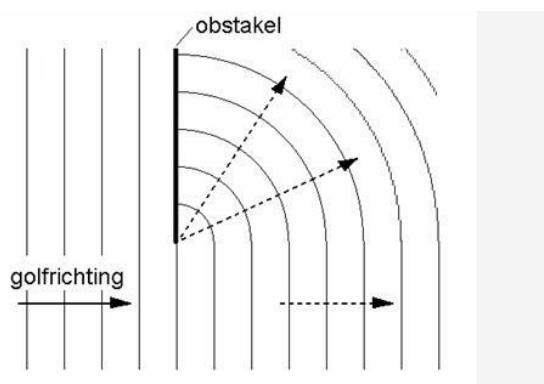
1.2.3 Deeltje of golf?

De discussie of licht nu een deeltje of een golf is, is er één van enkele honderden jaren. In de 17^{de} eeuw beweerde Christiaan Huygens als eerste dat licht een golfverschijnsel is. Het bewijs dat hiervoor werd geleverd was het interferentiepatroon en buiging (diffractie).



Figuur 7 Interferentiepatroon

Bovenstaande figuur is de voorstelling van constructieve interferentie; interferentie die elkaar versterkt, en van destructieve interferentie, die elkaar teniet doet.



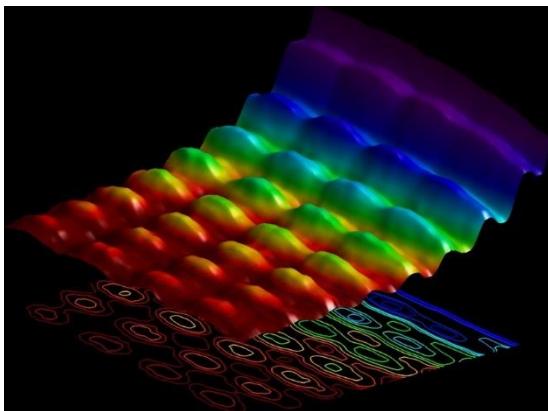
Figuur 8 Diffractie

Bovenstaande figuur is een voorstelling van diffractie (buiging) van lichtgolven.

Deze theorie van lichtgolven werd teniet gedaan door Isaac Newton die stelde dat licht eigenlijk bestaat uit deeltjes. Voor een geruime tijd werd dit de gangbare theorie van licht tot wanneer in de 17^{de} eeuw, door diverse experimenten door Thomas Young en August Jean Fresnel, de theorie kwam dat licht eigenlijk een elektromagnetisch verschijnsel was. Dit werd ondersteund door de Maxwell-vergelijkingen die de volledige elektromagnetische stralingen, onder meer röntgenstralen, zichtbaar licht of radiogolven beschreven.

Uiteindelijk met de komst van kwantumelektrodynamica werd de discussie beslecht door te stellen dat eigenlijk beide een kern van waarheid bevatten. Het was Albert Einstein die in 1905 het idee stelde dat licht zowel uit golven als uit deeltjes bestond en De Broglie toonde de dualiteit van golf/deeltjes effectief aan. Het is nog maar recent dat wetenschappers er in geslaagd zijn hier concreet visueel bewijs van te leveren.

Zwitserse onderzoekers van École Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL, ontwikkelden een experiment waarmee ze de beide modaliteiten van licht tegelijkertijd konden vastleggen. Deze publiceerden hun bevindingen in het tijdschrift Nature Communications.



Figuur 9 3D weergave van licht als deeltje en golf

1.3 Golflengtes

1.3.1 Ontstaan van elektromagnetische golven

Om te begrijpen wat elektromagnetische golven effectief betekenen moet er eerst begrepen worden hoe een elektromagnetische golf ontstaat. Ik kan gewoon een definitie neerpennen, maar om werkelijk begrip te krijgen van elektromagnetische golven heb ik gezocht naar een duidelijke uitleg in verband met dit onderwerp.

Om het snel te moeten verwoorden zou ik de wet van Faraday kunnen gebruiken en stellen dat: “een veranderende magnetische flux een inductiespanning veroorzaakt.”

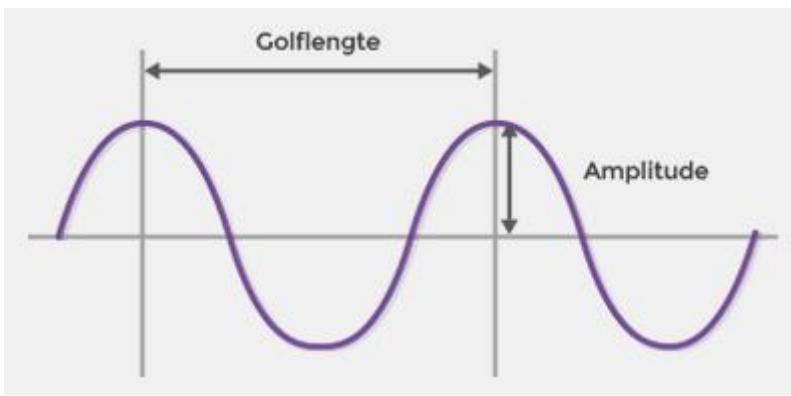
Met andere woorden: daar waar een elektrisch veld is, ontstaat een magnetisch veld. James Maxwell stelde bijgevolg dat het omgekeerde ook moest waar zijn: waar een veranderend elektrisch veld is moet ook een magnetisch veld ontstaan.

Ook hierover heb ik een duidelijk praktisch voorbeeld gevonden:

Stel dat we een geladen staafje heen en weer schudden. De bewegende lading zal, net als een wisselstroom door een spoel, een veranderend magnetisch veld opwekken. Door dit veranderend magnetisch veld zal nu volgens Faraday een elektrisch veld ontstaan. Een veranderend elektrisch veld, in dit geval. Dit veld veroorzaakt weer een (veranderend) magnetisch veld. Zo blijven magnetische en elektrische velden elkaar opwekken en samen vormen ze een elektromagnetische golf die vanuit het geladen staafje de ruimte in gezonden wordt.

Een mooi voorbeeld hiervan zijn zendmasten die elektronen op en neer laten bewegen in de mast om zo radiogolven de ruimte in te sturen.

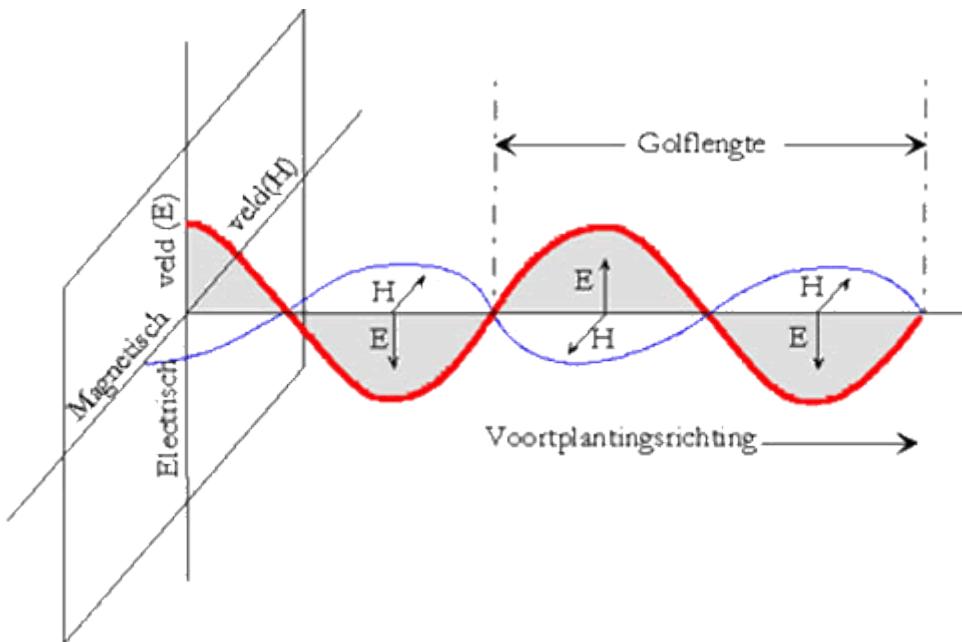
1.3.2 golflengtes uitgelegd



Figuur 10 Golflengte

Een golflengte bestaat uit verschillende toppen (hoogtes) en dalen (laagtes). De afstand van 2 toppen, of van 2 dalen, noemen we een golflengte. De amplitude is de maximumwaarde van de golflengte.

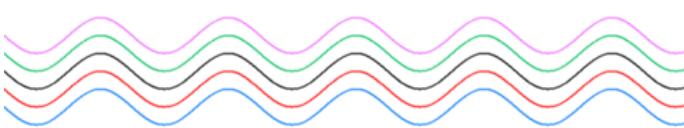
Een elektromagnetische golf bestaat uit 2 soorten golven, een elektrische golf en een magnetische golf die loodrecht op de elektrische golf staat.



Figuur 11 elektromagnetische golf

1.3.3 Fase van een golf

De fase van een golf is een natuurkundige eigenschap die de positie van een punt in een golfbeweging aangeeft.



Figuur 12 Golven met dezelfde fase



Figuur 13 Golven met verschillende fase

Zoals eerder besproken zullen de golven met dezelfde fase een constructief interferentiepatroon creëren (fig. 7)

De golven die uit fase zijn kunnen destructieve interferentiepatronen creëren. (fig. 7)

Wanneer golven lopen met verschillende fase dan treed er een faseverschil op. Dit faseverschil geeft aan hoeveel de ene golf vertraagd is ten opzichte van de andere golf. Wanneer het faseverschil de helft is van gehele golflengte dan spreekt men van een tegenfase.

1.3.4 Transversale golf

We kunnen dus stellen, rekening houdend met bovenstaande beweringen, dat licht een transversale trilling is die de richting van de trillingen niet beperkt tot één richting maar waar meerdere trillingen optreden in alle mogelijke richtingen loodrecht op de richting waarin de lichtstraal zich voortplant.

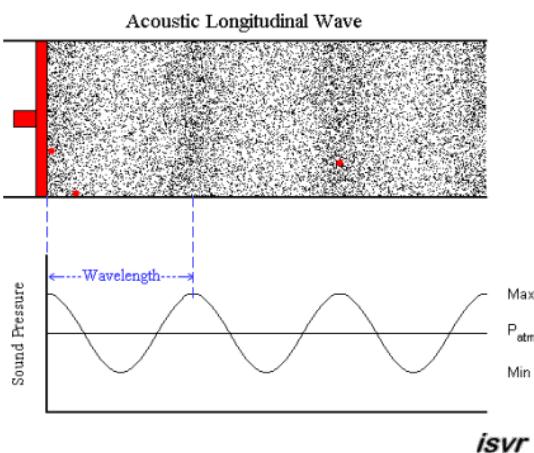


Figuur 14 transversale golf in één richting

1.3.5 Longitudinale golf

Golven van vloeistoffen en gassen zijn steeds longitudinale golven. Deze is waarbij de golf zich in dezelfde richting op en neer gaat als waarin hij zich beweegt.

Geluidsgolven doen hetzelfde in lucht, het "duwt" luchtdeeltjes verder en dichter bij elkaar en dat kan je "horen". Een longitudinale golf kan niet gepolariseerd worden.



Figuur 15 Longitudinale golf

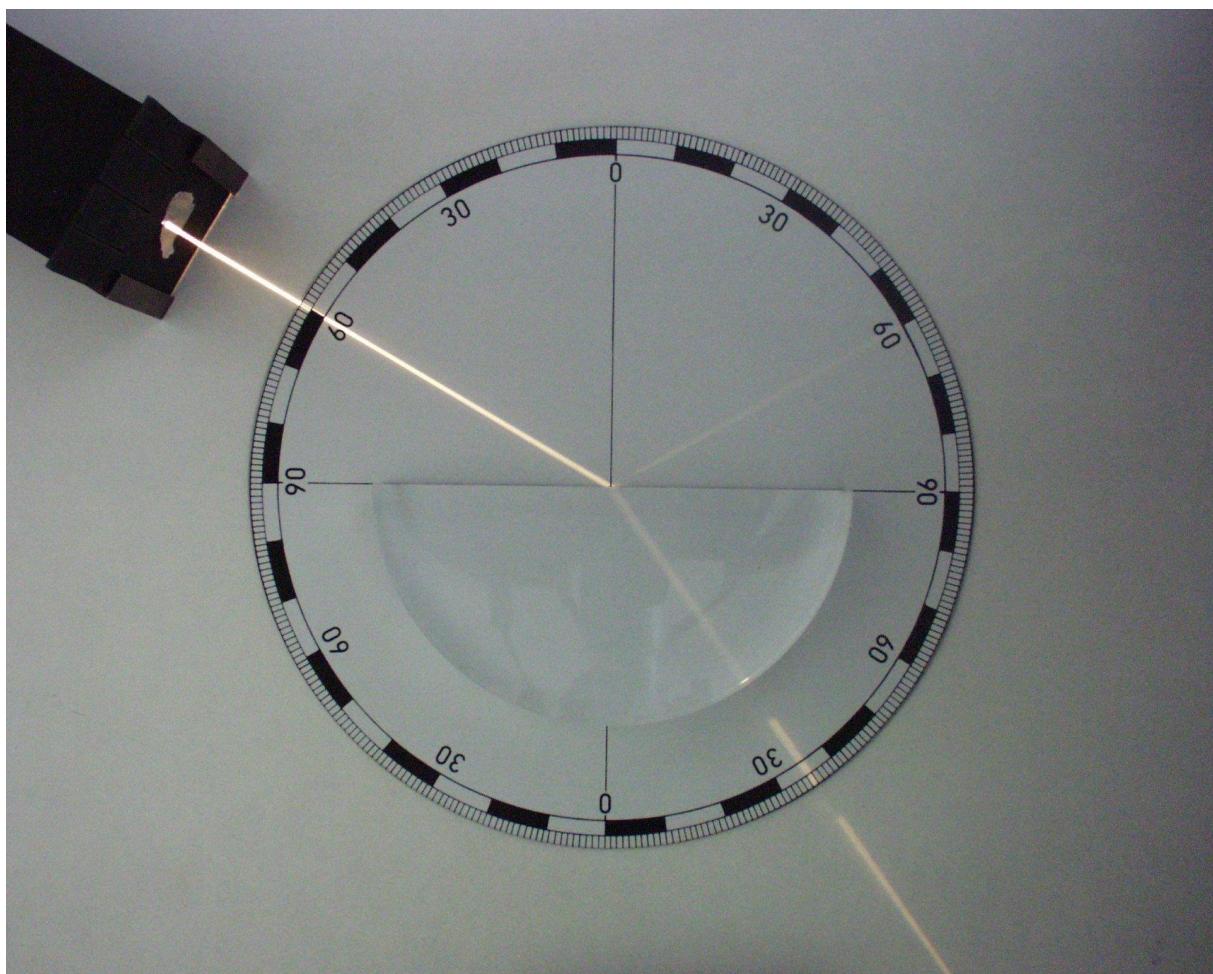
Hoofdstuk 2: Polarisatie in de spotlight

2.1 Inleiding naar polarisatie

2.1.1 Lichtbreking

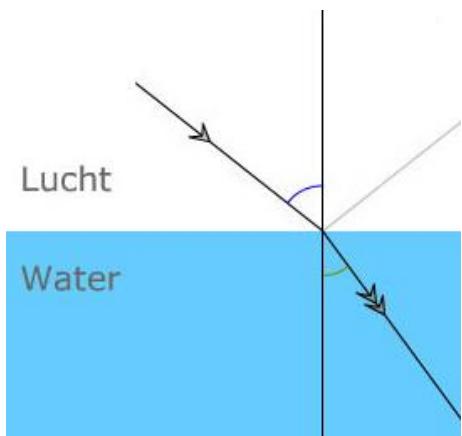
Wanneer het licht invalt op een grensvlak tussen lucht en water dan zal de lichtstraal van richting veranderen, dit heet lichtbreking.

Het is door deze breking van het licht dat wanneer we een stok in het water plaatsen, deze lijkt te verschijnen op een andere plaats.



Figuur 16 Breking van licht door Zatony Sandor

Wanneer het licht echter loodrecht op het grensvlak valt dan zal de lichtstraal nooit van richting veranderen. Bij een loodrechte inval van licht vindt er dus geen breking plaats.

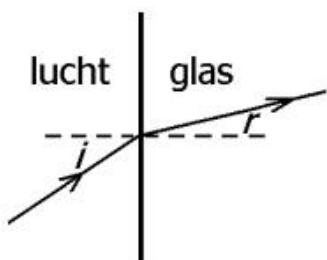


Figuur 17 Breking van licht in water

De bovenstaande figuur is een voorstelling van een lichtstraal die invalt op het grensvlak, in dit geval water.

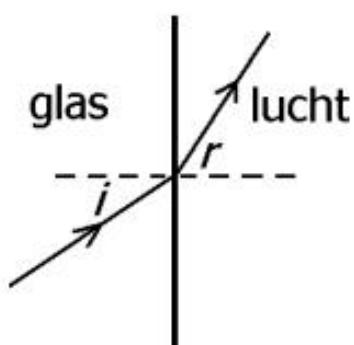
De pijl stelt de lichtstraal voor, zoals voorgesteld veranderd de lichtstraal van richting wanneer deze in het water terecht komt. De hoek waar dit in gebeurd wordt berekend met de normaal. Dit wordt weergegeven als een theoretische lijn die de hoek van inval en de hoek van breking weergeeft.

We stellen vast dat wanneer een lichtstraal overgaat van vacuüm of lucht naar een vloeistof of vaste stof dan zal de hoek van breking kleiner zijn dan de hoek van inval. Hierbij breekt de lichtstraal naar de normaal toe.



Figuur 18 Van lucht naar vast

We kunnen dan ook het omgekeerde stellen, dat wanneer een lichtstraal van een vloeistof of vaste stof naar vacuüm of lucht breekt, de brekingshoek groter zal zijn dan de invalshoek. Hierbij breekt de lichtstraal weg van de normaal.



Figuur 19 Van vast naar lucht

i stelt de invalshoek voor
r stelt de brekingshoek voor

Lichtstralen zijn omkeerbaar, de richting van de lichtstralen kunnen omkeren zonder dat de weg waarlangs het loopt verandert.
Bij deze eigenschap kan men het volgende stellen:

- De hoek van breking wordt de hoek van inval
- De hoek van inval wordt de hoek van breking

Wanneer er bijvoorbeeld een lichtstraal in een bak met water valt en vervolgens op de bodem een spiegel ligt die de lichtstraal laat terugkaatsten, dan zal de hoek van breking bij het verlaten van de bak met water dezelfde zijn als de invalshoek bij het invallen van de lichtstraal.

2.1.2 Wet van Snellius

De Nederlandse wiskundige Willebord Snel van Royen (1581-1626) ontdekte dat als je de sinus van de invalshoek en brekingshoek tegen elkaar zet, in geval van breking van lucht of vacuüm naar vloeistof of vaste stof, dan krijg je als uitkomst de brekingsindex. Deze wordt aangegeven met de letter n .

$$\frac{\sin(i)}{\sin(r)} = n$$

Wanneer het omgekeerde het geval is en de lichtstraal breekt van een vloeistof of vaste stof naar lucht of vacuüm dan verwisselen de teller en noemer van plaats, omdat lichtstralen omkeerbaar zijn. Zoals eerder besproken.

$$\frac{\sin(r)}{\sin(i)} = n$$

Zo heeft elke doorzichtige stof zijn eigen brekingsindex. De meest frequente brekingsindex is die van water, namelijk 1.3
Hoe groter de brekingsindex, hoe sterker het licht wordt gebroken.

2.1.3 Terugkaatsing van licht

Wanneer licht invalt op een grensvlak dan zal een deel worden doorgelaten en een deel worden teruggekaatst.

Het doorgelaten deel zal breken zoals hierboven beschreven, het teruggekaatste deel wordt de teruggekaatste lichtstraal genoemd.

We kunnen dus stellen dat we met 2 verschillende wetten te maken hebben. Namelijk de wet van de breking, die door Snellius is bepaald en de wet van de spiegeling.

De wet van de spiegeling stelt dat de hoek van inval dezelfde is dan de hoek van terugkaatsing.

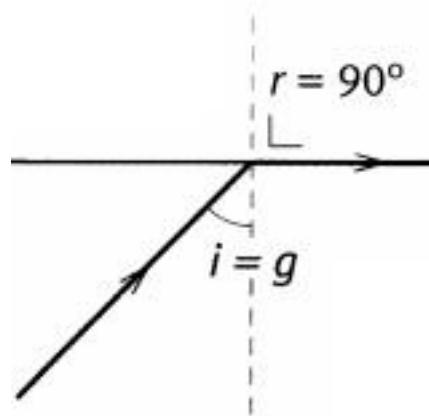
In bepaalde situaties zal de invallende lichtstraal geheel worden teruggekaatst tegen het grensvlak, er zijn in deze gevallen geen doorgelaten lichtstralen.

Hiervoor moeten er aan 2 voorwaarden worden voldaan:

- De lichtstraal moet komen van de kant van de vloeistof of vaste stof
- De hoek van inval is groter dan de grenshoek

De grenshoek is wanneer de invalshoek een waarde heeft van 90° , de gebroken lichtstraal loopt dan langs het grensvlak.

De invalshoek (i) wordt dan de grenshoek (g).

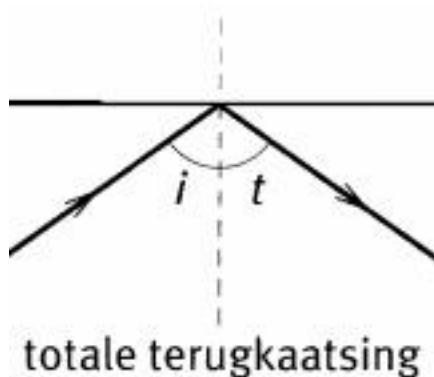


Figuur 20 Grenshoek

De berekening voor de grenshoek (g) geldt:

$$\sin(g) = \frac{1}{n}$$

Bij een nog grotere waarde van de hoek van inval zal er geen gebroken lichtstraal meer zijn. Hier is dan sprake van totale terugkaatsing



Figuur 21 Totale terugkaatsing

2.1.3 Hoek van Brewster

Zoals eerder besproken zal er, wanneer een lichtstraal op een grensvlak invalt, breking ontstaan tussen de lichtstraal en het grensvlak.

Er wordt dus een deel gebroken en een deel weerkaatst, we zitten dus met 3 verschillende stralen. De inkomende lichtstraal, de gebroken lichtstraal en de teruggekaatste lichtstraal.

Wanneer de invalshoek in één bepaalde hoek valt dan is de teruggekaatste lichtstraal gepolariseerd in de richting van het invalsvlak.

De berekening voor de Brewsterhoek (θ):

$$\tan\theta = n$$

Elke doorzichtige stof heeft dus zijn eigen Brewsterhoek.

Als voorbeeld zal ik water nemen, met $n = 1.33$

Dan zal $\theta = 53^\circ$ zijn.

2.1.4 Wet van Malus

De wet van Malus weerspiegelt de directe correlatie tussen de intensiteit van het natuurlijke licht en de intensiteit van het lineair gepolariseerd licht.

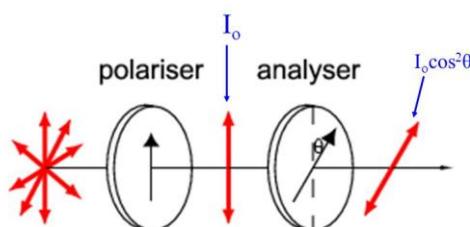
$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

Dit is de wiskundige berekening van de wet van Malus.

Als we dit in detail willen bekijken moeten we eerst weten waar alles voor staat.

Malus' law

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$



Figuur 22 Malus' law

Wanneer niet gepolariseerd licht passeert door een filter en lineair gepolariseerd wordt dan wordt deze gekenmerkt door I_0 .

Een analysator die in een bepaalde hoek gedraaid wordt (θ) laat dan een deel van het lineair gepolariseerd licht door.

De intensiteit van dit doorgelaten licht kan berekend worden door bovenstaande formule.

2.2 Kenmerken van polarisatie

2.2.1 Wat is wel en niet gepolariseerd

Zoals besproken in het vorige hoofdstuk bestaat licht uit elektrische golven alsook magnetische velden en het is de richting van het elektrische veld dat de richting bepaald van polarisatie.

Wanneer licht van de zon komt dan gaan de elektrische golven in willekeurige richting, dit licht is niet gepolariseerd. Hallogeen verlichting, LED verlichting en gloeilampen produceren elk licht dat niet gepolariseerd is.

Het is wanneer het licht in één bepaalde richting het elektrische veld golven doorlaat, dat we spreken van gepolariseerd licht.

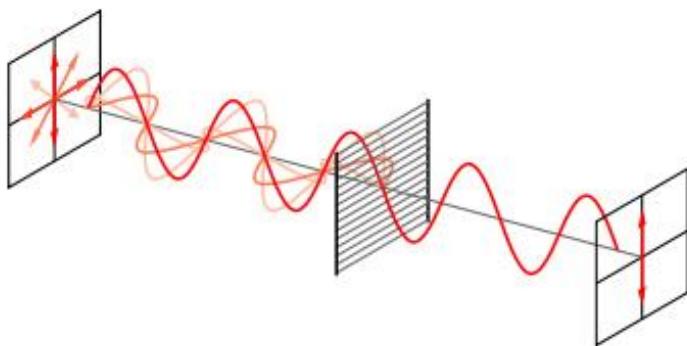
Het voornaamste voorbeeld van gepolariseerd licht is een laserstraal.

2.2.2 Soorten van polarisatie

We kunnen spreken van 3 soorten polarisatie:

- Lineaire polarisatie

Wanneer het elektrisch veld van de lichtbron beperkt is tot een enkel vlak in de voortplantingsrichting

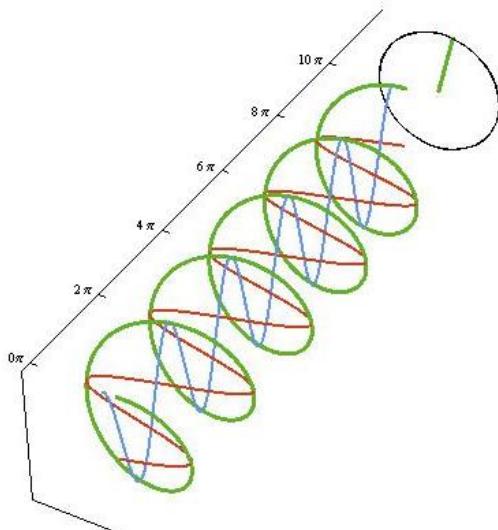


Figuur 23 Lineaire polarisatie

- Cirkelvormige polarisatie

Wanneer het elektrische veld van de lichtbron 2 lineaire componenten bevat die loodrecht op elkaar staan, een gelijke amplitude hebben, maar met een verschil in fase van $\pi/2$. Het resultaat is een cirkelvormige richting van het elektrische veld. Hier kan er een onderscheid gemaakt worden tussen links- of rechtshandige cirkelvormige polarisatie, naargelang de richting waarin het

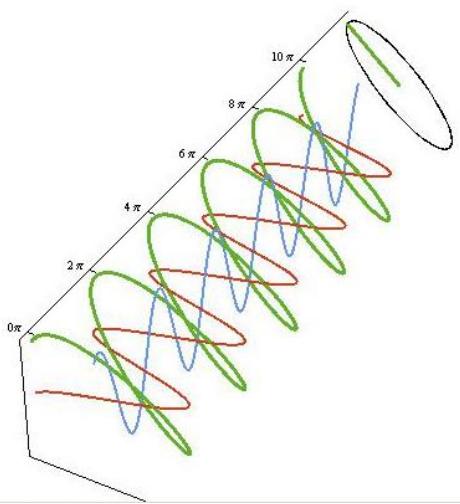
elektrisch veld draait.



Figuur 24 Cirkelvormige polarisatie

- Elliptische polarisatie

Wanneer het elektrische veld van een lichtbron 2 lineaire componenten bevat die loodrecht op elkaar staan, geen gelijke amplitude hebben en ook een willekeurig verschil in fase hebben.



Figuur 25 Elliptische polarisatie

2.3 Bekomen van polarisatie

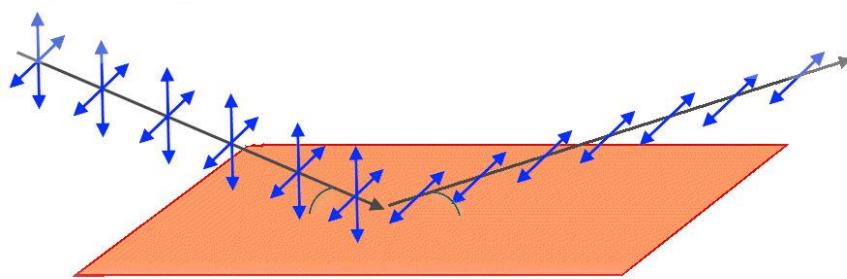
2.3.1 Natuurlijke manieren van polarisatie

We kunnen in de natuur verschillende manieren bespreken waarbij het licht dat invalt op een grensvlak gepolariseerd wordt.

- Polarisatie door middel van reflectie:

Zoals besproken in het vorige hoofdstuk, ontstaat er gepolariseerd licht wanneer een lichtstraal in een bepaalde hoek invalt op een grensvlak. Deze hoek wordt de Brewsterhoek genoemd. Deze Brewsterhoek wordt aangeduid door het symbool θ

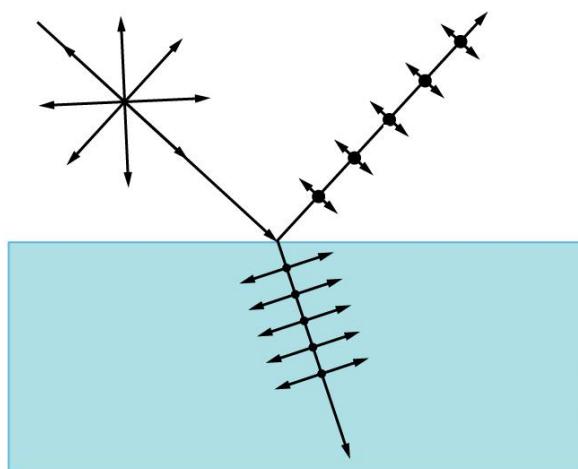
en kan worden berekend.



Figuur 26 Polarisatie door reflectie

- Polarisatie door middel van breking:

Wanneer een lichtstraal invalt op een grensvlak dan ontstaat er naast reflectie ook refractie, of breking. Als deze lichtstraal invalt onder de Brewsterhoek dan ontstaat er naast polarisatie van de reflecterende straal, ook polarisatie van de brekingsstraal. Deze is niet geheel gepolariseerd maar bij het uittreden van de lichtstraal, zal ook deze brekingsstraal geheel gepolariseerd worden.



Figuur 27 Polarisatie door refractie

- Polarisatie door dubbelbreking:

Dubbele breking is een fenomeen die ontstaat doordat het licht in 2 lichtbundels splitst die een verschillend pad volgen en een verschillende polarisatie hebben. Dit is het geval in kristallen van een lagere symmetrie.

Calciet is een voorbeeld van een dubbelbrekend mineraal. Calciet is het meest gebruikte materiaal om lineaire polarisatoren te maken, specifiek wanneer men werkt met lasers. Maar hierover meer in volgende hoofdstukken.



Figuur 28 Dubbelbreking in Calciet

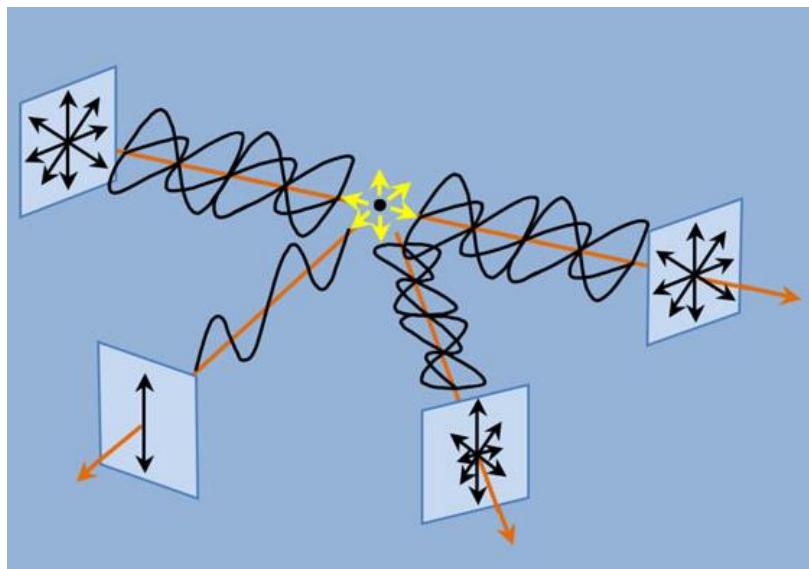
- Polarisatie door verstrooiing:

Wanneer zonlicht door de atmosfeer komt vanuit een richting dan is deze verspreid in alle richtingen door de moleculen in de lucht. Zonder onze atmosfeer zou de lucht overdag pikzwart zijn, als de leegte van de ruimte.

Met onze atmosfeer die het licht verspreid in de lucht is het licht in het zichtbare spectrum dat bijna volledig valt binnen het rode gedeelte van golflengtes. Het blauwe gedeelte echter is aanzienlijk verstrooid in de lucht, het is dit licht dat de observator ontvangt vanuit meerdere richtingen, hierdoor lijkt de lucht lichtblauw.

Verstrooiing gebeurd wanneer een niet gepolariseerde lichtstraal op een molecuule valt, deze molecuile “verstrooid” de lichtstraal in verschillende richtingen. Dit fenomeen gebeurd ook direct en zonder tijdsspanne.

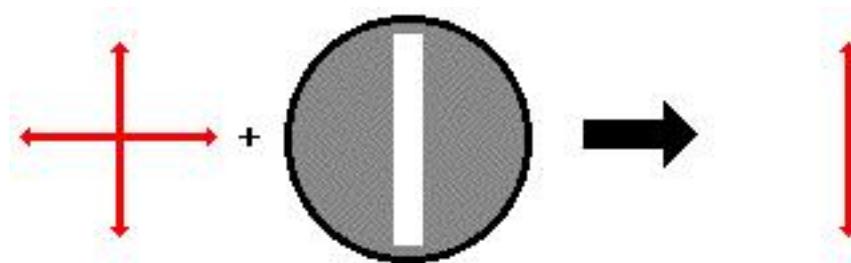
Het licht dat verstrooid wordt door de molecuile zendt gepolariseerd licht uit in de richting loodrecht op de richting van de originele lichtbron.



Figuur 29 Polarisatie door verstrooiing

2.3.2 Artificiële manieren van polarisatie

- Polarisatie door middel van polaroidfilter



Figuur 30 Polarisatie door filter

Bovenstaande figuur stelt niet gepolariseerd licht voor dat door een polaroidfilter heen gaat zodat het licht na de filter, enkel elektromagnetische straling doorlaat in één bepaalde richting.

Een polaroidfilter bestaat uit een materiaal dat de filter in staat stelt om de elektromagnetische stralingen van een bepaalde richting te blokkeren. Het materiaal bestaat uit chemische componenten, men kan de filter het best omschrijven als een verzameling van polymeermoleculen aaneengeregen als een ketting. Deze kettingen zijn ingedeeld in één bepaalde richting, naast elkaar zodat wanneer niet gepolariseerd licht in de filter valt, de lichtstralen die in de richting van de moleculen geabsorbeerd worden.

Kort kan men dus stellen dat de elektromagnetische vibraties die in de parallelle richting van de richting van de moleculen staan, geabsorbeerd worden.

Toepassingen van deze filter zullen later besproken worden.

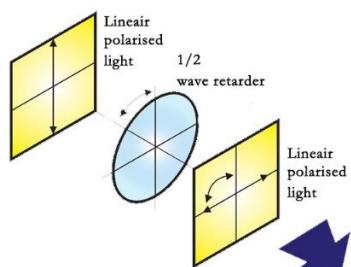
- Polarisatie door middel van Golfplaten

Een golfplaat, ook wel retarder genoemd, is een optisch hulpmiddel die de richting van polarisatie van een lichtstraal veranderd door middel van faseverschil te creëren tussen de opgesplitste lichtbundels. Dit is natuurlijk heel simplistisch uitgelegd.

Dit heeft zeer precieze eigenschappen en is dus zeer moeilijk om te maken. Er is weinig marge voor fouten in het proces. Er bestaan verschillende soorten golfplaten:

- Halve golfplaat:

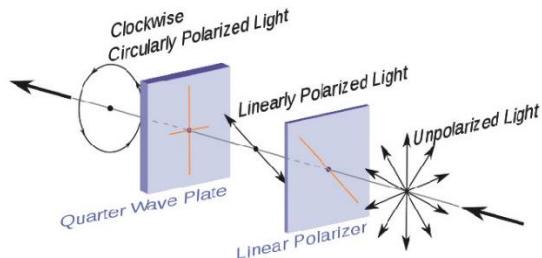
Een halve golfplaat verandert de richting van lineair gepolariseerd licht naar lineair gepolariseerd licht in een andere richting.



Figuur 31 Half wave plate

- Kwart golfplaat:

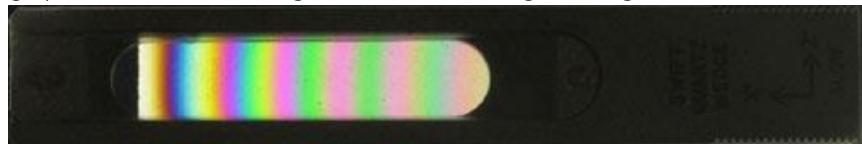
Een kwart golfplaat verandert de richting van cirkelvormig gepolariseerd licht naar lineair gepolariseerd licht alsook omgekeerd.



Figuur 32 Quarter wave plate

- Sensitive-tint plaat:

Dit wordt gebruikt in de tak van optische mineralogie. Door deze retarder passeert wit lineair gepolariseerd licht en wordt elliptisch gepolariseerd licht. Een uitzondering is de golflengte van 540 nm. Dit blijft lineair gepolariseerd en is groen (wat een golflengte heeft 540 nm.)



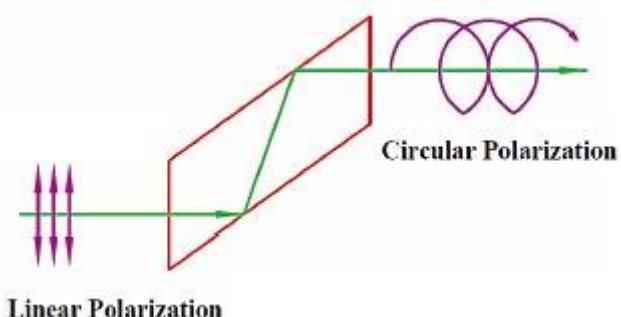
Figuur 33 Full wave plate

- Polarisatie door middel van Fresnel 's Rhomb

Fresnel 's Rhomb creëert hetzelfde effect zoals een kwart golfplaat, zonder het dubbelbrekend effect nodig te hebben, zodat er lineair gepolariseerd licht in gaat en door prisma's en volledige interne reflecties als cirkelvormig gepolariseerd licht eruit komt.



Figuur 34 Volledige interne reflecties



Figuur 35 Fresnel 's Rhomb

- Polarisatie door middel van Mooney's Rhomb

Mooney's Rhomb heeft grotendeels dezelfde specificaties van Fresnel 's Rhomb maar met andere wiskundige berekeningen

- Polarisatie door polymeer retarders

Polymeer retarders zijn relatief nieuw en bestaan uit een duurzaam en dubbelbrekend (zoals eerder omschreven) "blad" dat gemaakt is om polarisatie om te draaien. Het is zeer transparant en achromatisch dat gemaakt is van polycarbonaat.



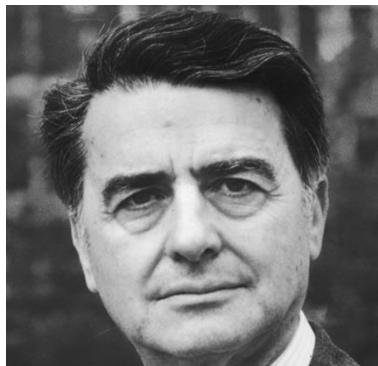
Figuur 36 Polymeer retarder

Verdere uitdieping van polarisatoren zal besproken worden in het volgende hoofdstuk.

Hoofdstuk 3: Toegepaste polarisatie

3.1 Gepolariseerde film

3.1.1 Met kristallen



Figuur 37 Edward Herbert Land

De eerste gepolariseerde film werd uitgevonden in 1928 door een Amerikaanse student. Edward Herbert Land was een 19 jarige student op Harvard University, hij ontdekte als eerste de "dichroïsche sheet polarizer". Dit werd de "J-sheet" genoemd.

Het bestond uit een synthetisch dichroïsche stof genaamd herapathite. Deze stof had een kleuren splitsende eigenschap. Vergelijkbaar met calciet, zoals eerder besproken, die ook dubbelbrekende eigenschappen bevat.

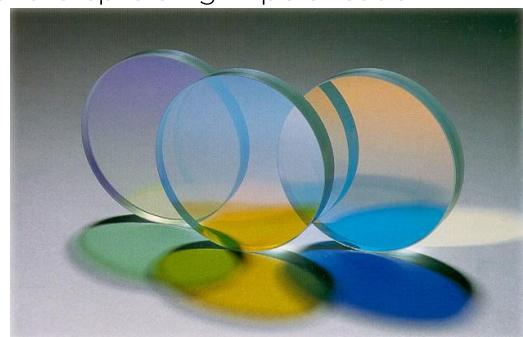
Land wilde een nieuwe manier van lineaire polarisatie creëren door herapathite fijn te malen tot microscopisch kleine kristallen die de vorm hadden van naalden. Door deze kleine vorm had Land het probleem van lichtverspreiding in polarisatie verkleind.

Deze microscopisch kleine kristallen werden parallel naast elkaar gehouden door magnetische of elektrische velden. Het was pas later dat deze kristallen door middel van een mechanische uitstoting van de colloïdale suspensie van de herapathite naalden door een lange smalle spleet, samengehouden werden. Doordat deze geleachtige stof door een lange smalle spleet geduwd werd, werd het een lang plat diochroïsch kristal. Omdat de microscopisch kleine kristallen toch nog steeds een beetje licht verspreidden was het resultaat van deze J-sheet lichtjes vaag.

3.1.2 Dichromophoren



Figuur 39 Diachroïsch kristal



Figuur 38 Dichroïsche filters

10 jaar later, in 1938, werd het probleem van deze vaagheid opgelost door de uitvinding van de H-sheet. Ook uitgevonden door Edward Herbert Land, is deze verbetering tot vandaag nog de meest gebruikte lineaire polaroid filter. De H-sheet bevat geen dichroïsche kristallen, die in de eerste plaats de vaagheid veroorzaakten.

De H-sheet is opgebouwd uit het moleculaire equivalent van een kippengas. Een blad van zuiver polyvinyl alcohol, een stof die veelvuldig

gebruikt wordt als kleefstof, wordt opgewarmd en uitgerekt in één richting, hierdoor worden moleculen binnenin in één bepaalde richting uitgelijnd.

Elke aparte dichroïsche entiteit staat bekend als een "dichromophore". In de H-sheet zijn deze dichromophoren van moleculaire afmetingen, waardoor lichtverspreidingen geen probleem vormt. De H-sheet is een zeer effectieve polarisator over het gehele zichtbare spectrum, enkel de blauwe kant van het spectrum is ietwat minder effectief. Dit is zichtbaar wanneer men 2 H-sheet Polaroids kruisen en het verduisterende kleur een diepblauwe kleur geeft. Het is dus om deze reden dat een polaroid sheet nooit volledig transparant kan zijn.

3.1.3 Afgeleide "sheets"

Doorheen de tijd zijn er andere vormen van Polaroid ontwikkeld. De K-sheet onder andere, deze is vocht- en warmte afwerend. Een combinatie van de H-sheet en de K-sheet resulterde in de HR-sheet, een bijna infrarode polarisator. Er zijn ook commercieel beschikbare dichroïsche sheets beschikbaar die lineair gepolariseerd zijn die functioneren in het ultraviolette spectrum van licht, tussen ongeveer 300 nm en 400 nm.

Vandaag gebruikt men een variatie aan gepolariseerde filters, er is ook geen universeel geaccepteerd design inzake polarisatoren. Sheet polarisatoren zijn gespecificeerd door hun lichtdoorlaatbaarheid van niet-gepolariseerd licht, wat tot 46% kan zijn in sommige gevallen.

Polaroid vectograph is een commercieel materiaal die gemaakt werd om driedimensionale foto's te maken. Dit materiaal werd nooit als succesvol beschouwd in wat de makers dachten ermee te bereiken, maar desalniettemin kan het gebruikt worden om mystieke, waldoordachte demonstraties te geven.

Vectograph film is een glashelder laminaat van plastic bestaande uit 2 bladeren polyvinyl alcohol, gearrangeerd dusdanig dat hun richting waar ze uitrekken, een rechte hoek vormen tegenover elkaar. In deze vorm zijn er geen geleidende elektronen en is de film geen polarisator. Door gebruik te maken van een oplossing van iodine kunnen we, vooropgesteld dat we een X tekenen op één zijde van de film en een Y op dezelfde overlappende plaats, op de andere film. Bij natuurlijk licht zullen de X en de Y die getekend zijn op de film, kruis-polarisatoren vormen.

Wanneer men dan naar de vectograph kijkt door een lineaire polarisator dat kan gedraaid worden, dan zal ofwel de X, Y of beide gezien worden. In de praktijk gebruikt men uiteraard meer fantasierijke afbeeldingen, die tevoorschijn kunnen komen en terug verdwijnen.

3.1.4 Succes van Polaroid

Het was ook Edward Herbert Land die aan de grond lag van het succes van het bedrijf Polaroid, met zijn polaroid camera. Door in Disneyland te lopen met zijn 3-jarige dochter had Land een foto genomen van haar en Mickey Mouse, de dochter wilde de foto direct zien en deed hier zeer lastig over. Het was hierdoor dat Land begon na te denken over een camera die meteen een foto kon drukken. Het idee van de instant fotocamera was geboren. In 1946 was het eerste prototype klaar en 2 jaar later lagen de eerste polaroidcamera's in de winkel.

Vanaf 1963 werd het polacolor-systeem op de markt gebracht, een fotocamera waarmee een kleurenafdruk van een foto gemaakt worden. Een jaar later waren al reeds 5 miljoen polaroidcamera's verkocht. Het was in 1972 dat Land nog succes boekte met zijn SX-70 polaroidcamera, de eerste volautomatische instant fotocamera.

3.2 Polarisatoren

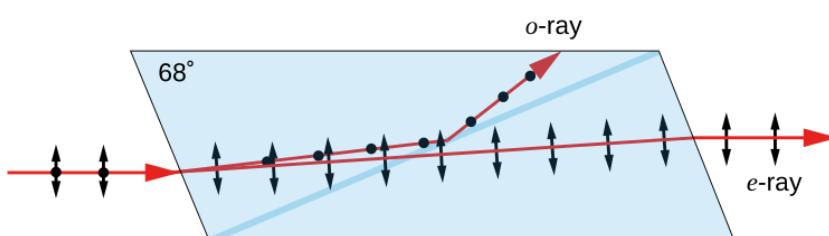
3.2.1 Calciet

Hoewel vele mineralen, specifiek diegene met een kubusvormige kristalstructuur, dubbelbrekend zijn. Zijn bijna alle prisma polarisatoren die gebruikt worden in het zichtbare spectrum van het licht, alsook in de regio tussen zichtbaar spectrum en UV licht, alsook in de regio tussen zichtbaar spectrum en infrarood licht, gemaakt uit calciet. Deze stof heeft een zeer sterke dubbelbrekende eigenschappen en dit over een breed gebied van golflengtes.

Andere dubbelbrekende kristallen worden bijna uitsluitend gebruikt in de golflengtes van UV licht en infrarood licht. Hiervoor is calciet ontoereikend. Naast kwarts wordt calciet wereldwijd hierdoor het meest gebruikte mineraal. Origineel komt calciet van de oostkust van IJsland, hier werd het voor het eerst ontgonnen. Naast IJsland komt het ook voor in Mexico, Afrika en Siberië, maar het wordt ook artificieel gemaakt door een gel-component methode.

3.2.2 Nicol en Glan type prisma's

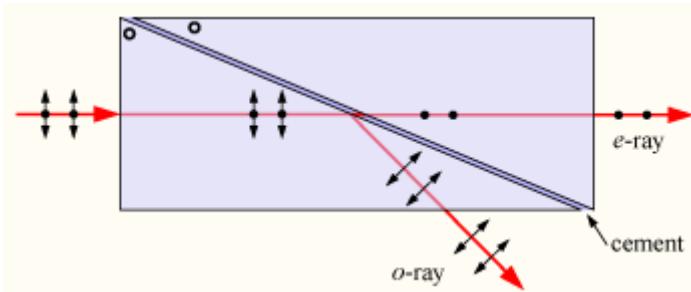
Nicol type prisma's worden vandaag de dag niet meer gebruikt. Nicol type prisma's waren de eerste type prisma's die werden gemaakt in 1828 en werden zo vaak gebruikt dat ze een synoniem werden wanneer men een polarisator gebruikte. Oudere instrumenten zijn nog steeds met Nicol prisma's uitgerust, aangezien een Nicol prisma veel minder calciet nodig heeft dan de modernere prisma's. Het is ook hierdoor dat Nicol prisma's zo lang gebruikt geweest zijn. Door het artificieel creëren van calciet vormt dit geen probleem meer.



Figuur 40 Nicol Prisma

De meeste prisma's die hedendaags worden gebruikt zijn die van het Glan type. Glan type prisma's hebben meer calciet nodig dan de Nicol types, ze zijn echter optisch superieur op verschillende gebieden. Een van de belangrijkste voordelen is dat het licht bijna uniform wordt gepolariseerd, dit is niet het geval bij Nicol prisma's. Nog een voordeel van de Glan type prisma's is dat door de opbouw van het prisma het mogelijk is om elliptische polarisatie op te wekken.

Van dit Glan type prisma zijn er meerdere applicaties op verder gebouwd, met name de Glan-Thompson type prisma. Een Glan-Thompson prisma is een prisma die gecementeerd is en met luchtzakken is opgebouwd. De gecementeerde prisma's zijn optisch beter in design en zijn dan ook de meest gebruikte hedendaagse prisma's. Het is echter wel zo dat Glan-Thompson prisma's een hogere transmissiegraad hebben wanneer men dichterbij het ultraviolette spectrum van licht gaat, de reden hiervoor is dat het cement absorbeert.



Figuur 41 Glan-Thompson prisma

In figuur 40 en 41 zijn de principes van de Nicol en Glan-Thomson prisma's geïllustreerd. Men heeft steeds 2 stralen die het prisma verlaten:

- Een o-ray, of "ordinary ray". Deze straal verlaat het prisma met polariserende eigenschappen en vibreert in een richting die loodrecht staat op de sectie van het prisma waar de lichtstraal binnenvalt.
- Een e-ray, of "extra-ordinary ray". Deze straal verlaat het prisma met polariserende eigenschappen en vibreert in een richting die parallel is met de sectie van het prisma waar de lichtstraal binnenvalt.

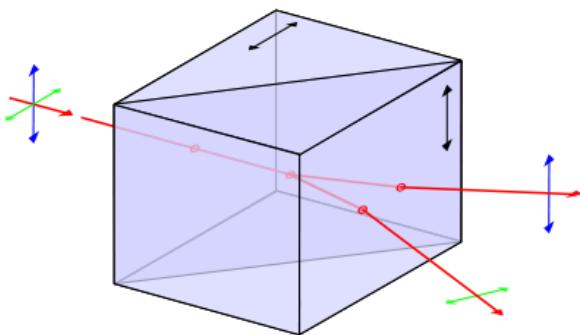
Naast deze types zijn er nog vele andere prisma's die kleine verschillen hebben, meestal in hun opbouw. Maar deze zijn de voornaamste.

3.2.3 Gepolariseerde beam-splitter prisma's

Beam-splitter prisma's worden gebruikt om van 1 lichtstraal, 2 stralen van dezelfde intensiteit te maken. Ze worden gebruikt in de lasertechniek om nauwkeurige verdelingsverhoudingen te stellen. Omgekeerd kunnen ook 2 gepolariseerde lichtstralen worden verenigd.

De 3 typische beam-splitter prisma's die gebruikt worden zijn de Rochon, Sénaumont en de Wollaston prisma's. Het moet ook nog vermeld worden dat elk polariserend prisma gebruikt kan worden als een beam-splitter. Dit door 1 zijde van het prisma aan te passen en door de absorberende coating die erop ligt te verwijderen.

In standaard polariserende prisma's staan de optische assen parallel ten opzichte van elkaar in beide helften van het prisma. In de Rochon, Sénaumont en Wollaston prisma's zijn de optische assen in beide helften van de beam-splitter prisma's op 90° ten opzichte van elkaar geplaatst. Kristal kwarts is de meest gebruikte stof om deze prisma's te maken, aangezien ze zelfs kunnen gebruikt worden voor UV licht.



Figuur 42 Wollaston Beam Splitter prisma

3.2.4 Dichroïsche polarisatoren

In het vorige hoofdstuk zijn de “dichroïsche sheets” even aan bod geweest, maar wat zijn dichroïsche polarisatoren nu?

Dichroïsche materialen hebben de eigenschap om zichtbaar licht op te splitsen in verschillende lichtstralen van verschillende golflengtes, wat dus betekent dat ze wit licht opsplitsen in verschillende kleuren.



Figuur 43 Dichroïsche parels

Het kan ook zijn dat men spreekt over dichroïsche eigenschappen van een component waarin één of meerde lichtstralen met verschillende polariserende eigenschappen geabsorbeerd worden in verschillende hoeveelheden.

Dichroïsche materialen worden anders gebruikt dan andere dubbelbrekende materialen. Een dichroïsche polarisator is van zichtzelf anisotropisch. Verschillende materialen hebben dichroïsche eigenschappen, ofwel in hun natuurlijke staat of in een opgerekte positie.

De meest voorkomende materialen die gebruikt worden als dichroïsche polarisatoren zijn opgerekte polyvinyl alcohol sheets. Dit is echter beter bekend onder de naam “Polaroid”.

Naast deze manier van dichroïsche polarisatoren is er nog een andere manier, namelijk “dichroic polarising coating”. Dit is een ander type van dichroïsche polarisator die eerst wordt ingewreven met een glas of plastic oppervlak in één richting en wordt dan met een verfstof een coating aangebracht. Dit type van

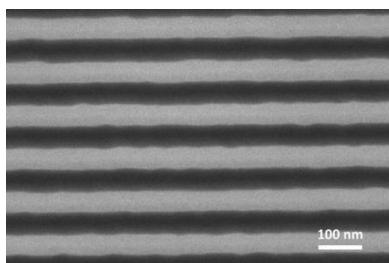
polarisators staan bekend onder de naam “Polacoat”. Het voordeel van Polacoat ten opzichte van Polaroid is dat bij een sheet van Polacoat het materiaal niet verbleekt wanneer het blootgesteld wordt aan intense ultraviolette stralen.

Dichroïsche polarisatoren komen het meeste voor in “sheet” vorm, soms in grote volumes, makkelijk te vervormen en creëren weinig vervormingen wanneer de lichtstraal passeert. Nog andere voordelen zijn dat ze licht zijn, dun en stevig, ze kunnen ook gemaakt worden in elke vorm en zijn ook minder duur dan polariserende prisma's.

3.2.5 Wire-grid polarisatoren

Een wire-grid polarisator is een meervoud aan dunne metalen lijnen die zeer dicht bij elkaar geplaatst zijn en die bovenop een transparant materiaal zitten. Het licht gaat enkel door in de richting van de dunne metalen lijnen. Hierover hebben we reeds een uiteenzetting gedaan.

Nadelig bij deze wire-grid polarisatoren is dat wanneer een anti-reflecterende laag over de dunne metalen lijnen geplaatst wordt, dat het polariserend effect verminderd wordt. Het zicht door deze filter kan ook nooit volledig transparant zijn, door de metalen lijnen die de polariserende filter opmaken.



Figuur 44 Wire-grid polarisator

3.2.6 Diverse polarisatoren voor licht in het niet zichtbare spectrum

De meeste polarisatoren die gebruikt worden in het infrarode en ultraviolette spectrum zijn de “pile-of-plate” polarisatoren. Het is in dit spectrum dat dichroïsche polarisatoren, sheet polarisatoren en calciet prisma's tekort komen en niet kunnen worden gebruikt. Aangezien deze pile-of-plate polarisatoren dicht bij de hoek van Brewster opereren worden ze dan ook vaak “Brewster' s hoek polarisatoren” genoemd.

3.2.7 Retarders

Retarders zijn gemaakt om de richting van polarisatie te veranderen. Het idee erachter is als volgt; Wanneer het licht breekt binnen een retarder door middel van een verandering in fase veranderd de richting van de polarisatie. Dit is reeds uitgelegd in het vorige hoofdstuk.

3.3 Toepassingen in communicatie

3.3.1 Antennes en satellieten

Voor we duiken in de meer bekende toepassingen van polarisatie, heb ik het graag eerst even over de toepassing ervan in communicatie. Polarisatie wordt ook gebruikt binnen de wereld van communicatie, deze verhandeling gaat over toepassingen in de optiek, maar ik wil toch even licht werpen over dit onderwerp, aangezien polarisatie ook in de communicatie een factor speelt.

Polarisatie is een belangrijke factor voor RF antennes en radio communicatie. Zowel RF antennes en elektromagnetische golven hebben beide polariserende eigenschappen. Ze ontvangen en versturen signalen met specifieke polariserende eigenschappen.

Het is belangrijk dat de polariserende eigenschappen van de RF antenne hetzelfde zijn als die van het binnengesloten signaal. Op die manier is een maximum aan signaalsterkte te verkrijgen. Indien dit niet het geval is zal de sterkte van het signaal verminderen. Deze factor is de cosinus van de hoek van polarisatie van de RF antenne en het signaal.

Een open gebied is zeer belangrijk zodat er zo min mogelijk storende elementen aanwezig zijn die het signaal kunnen verstören.

De basisvorm van polarisatie binnen de communicatie is lineaire polarisatie. Het is de meest simpele vorm van polarisatie. Cirkelvormige polarisatie komt ook voor, deze vorm wordt het meest gebruikt bij satellieten. De reden hiervoor is dat het voordelig is bij reflecties van het aardoppervlak en ook door de draaiing van de satelliet zelf. Zoals eerder besproken kan cirkelvormige polarisatie ook in de communicatie links draaien of rechts draaien, afhankelijk van de richting en rotatie van de transmitter.

Het is mogelijk voor lineair gepolariseerde antennes om cirkelvormige polariserende signalen te ontvangen, zolang de antenne in de richting gepositioneerd is van het te ontvangen signaal. Er zal wel een klein verlies op het signaal zitten, maar bijna niet merkbaar, indien goed gepositioneerd.

3.3.2 Lasers

In de meeste gevallen is de output van een laser gepolariseerd. Meestal is dit ook nog eens lineair gepolariseerd. Het elektrische veld trilt dan loodrecht op de richting waar de laserstraal naartoe gaat.

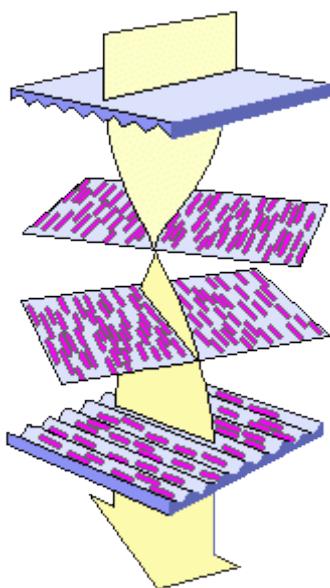
Er zijn gevallen (vezellasers) waar een verschillende soort van polarisatie gebruikt wordt. Dit is dan meestal elliptische polarisatie. Deze polarisatie is in deze gevallen echter minder stabiel. Dit op zijn beurt wordt opgelost door de laserstraal een andere polariserende eigenschap te geven, door middel van golfplaten maakt men de elliptische polarisatie in een lineaire polarisatie.

3.4 Toepassingen in LCD

3.4.1 Principes van LCD

Liquid Crystal Display technologie of kortweg LCD wordt beschreven als een lichtdoorlaatbare technologie omdat deze werkt door verschillende hoeveelheden aan exact berekende intensiteit aan wit licht door een actieve filter te laten gaan. De rode, groene en blauwe elementen van een pixel worden gecreëerd door deze filtering van wit licht.

De meest vloeibare kristallen zijn organische componenten die uit moleculen bestaan in de vorm van staafjes. Deze positioneren zich geheel autonoom parallel aan elkaar door middel van hun natuurlijke staat. Het is ook nog mogelijk om deze moleculen van positie te manipuleren door deze vloeibare kristallen langs een zeer fijn gegroefd oppervlak te positioneren.



Figuur 45 LCD kristallen in hun groeven

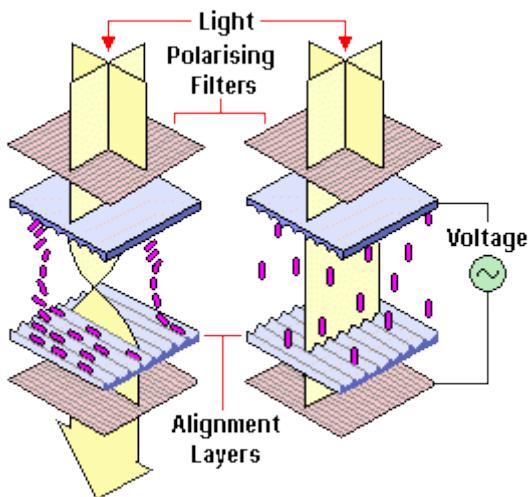
Het eerste principe van een LCD bestaat eruit om de vloeibare kristallen te "sandwichen" tussen 2 oppervlakken met fijne groeven waar de groeven op één oppervlak loodrecht staan ten opzichte van de groeven van het andere oppervlak. Wanneer de moleculen op één oppervlak van Noord naar Zuid gepositioneerd zijn en de moleculen op het andere oppervlak van Oost naar West, dan zijn de moleculen daartussen geforceerd in een staat van 90 graden. Het licht volgt de positie van de moleculen en wordt hierdoor ook 90 graden verdraaid wanneer het door de vloeibare kristallen gaat. Het is wanneer door deze constructie elektriciteit passeert, dat de moleculen zichzelf herschikken en licht doorlaten zonder verdraaiing.

Het tweede principe van een LCD bestaat uit de eigenschappen van polariserende filters. Een polariserende filter in een LCD is een simpele filter van zeer fijne parallelle lijnen. Deze lijnen fungeren als een net, die al de lichtgolven blokkeren, behalve de golven die parallel met de lijnen van de filter lopen. Een tweede polarisatiefilter blokkeert het gepolariseerd licht, behalve wanneer ze parallel lopen

met de eerste filter of wanneer het licht zelf verdraaid is om de tweede polarisatiefilter te volgen.

3.4.2 Licht aan of uit in LCD

Een typische LCD bestaat uit 2 polarisatiefilters die loodrecht tegenover elkaar gepositioneerd staan. Hierdoor, zoals hierboven omschreven, blokkeert men het licht volledig. Maar tussen deze polarisatiefilters zitten de verdraaide vloeibare kristallen, zoals eerder omschreven, waardoor het licht 90° verdraaid en licht door de tweede polarisatiefilter kan gaan. Behalve wanneer er elektriciteit doorgaat, dan verdraaid het licht niet en kan geen licht door.



Figuur 46 principe van LCD

Het is toch mogelijk om de kristallen in een LCD te herschikken zodat het bovengenoemde proces omgedraaid wordt, zodat licht passeert wanneer er elektriciteit doorgaat en licht niet passeert wanneer er geen elektriciteit doorgaat. Dit proces wordt niet veel gebruikt omdat computerschermen vandaag de dag grafische interfaces hebben die bijna altijd licht geven. Er wordt dus energie bespaard door het eerste proces te gebruiken.

3.5 Toepassingen in de microscopie

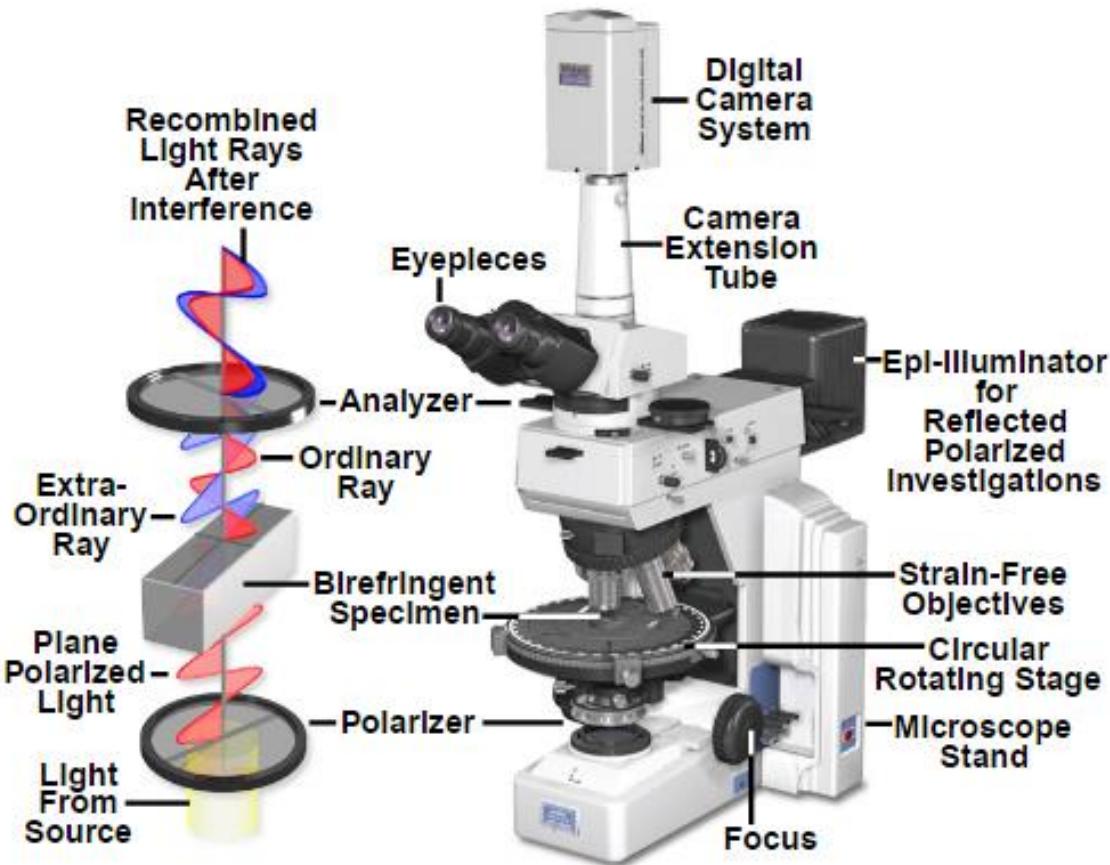
3.5.1 Door de microscoop heen

Polarisatie in de microscopie houdt in dat gepolariseerd licht gebruikt wordt om de optische eigenschappen van verschillende specimenen te onderzoeken. Polarisatie wordt meestal gebruikt in het studiegebied van de geologie, maar wordt meer en meer ook gebruikt op gebied van biologie en onderzoek voor medicatie.

Gepolariseerd licht zorgt voor een verhoging in contrast zodat men makkelijk de compositie en driedimensionale structuur van verschillende specimenen kan evalueren. Zoals altijd het geval is bij polarisatie, maakt ook op het gebied van microscopie een polariserende filter een belangrijk onderdeel uit. Het zorgt ervoor dat licht vibreert in één enkele richting.

Het is hierdoor dat de kwaliteit van het verkregen beeld door de microscoop verhoogt. Dit is het geval bij dubbel brekende materialen (zoals calciet) en anisotropische materialen. Anisotropische materialen zijn materialen die afhankelijk

van richting zijn, ze gedragen zich niet hetzelfde in alle richtingen. Een voorbeeld hiervan is hout, hout breekt makkelijker in de richting van zijn nerven dan in de tegengestelde richting ervan. Staal is het tegenovergestelde, dit is een isotropisch materiaal, het gedraagt zich hetzelfde in elke richting.



Figuur 47 Microscoop met polarisatoren

3.5.2 Wat heb je nodig op je microscoop

Hoewel je microscopen kan kopen met reeds polariserende eigenschappen er in, gebruiken veel wetenschappers hun traditionele microscoop en modifieren ze deze voor het gebruik met gekruiste polarisatoren. Gekruiste polarisatoren zijn opgebouwd zodat de polarisator en de analysator loodrecht tegenover elkaar staan zodat ze geen licht doorlaten en het werkveld zo donker mogelijk maken.



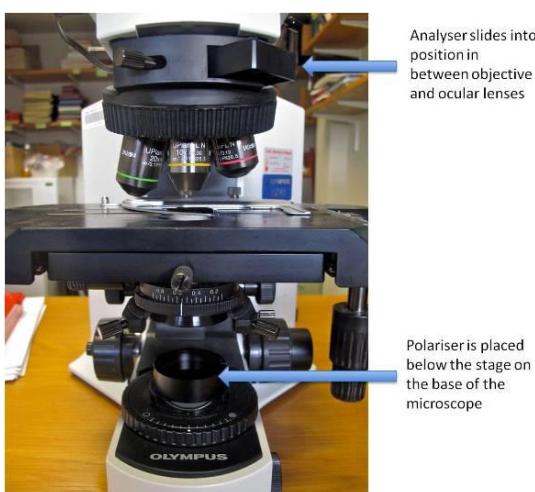
Figuur 48 polarisator en analysator

Polarisator:

Deze filter kan manueel verdraaid worden en wordt geplaatst in het pad van het licht onder het te onderzoeken specimen. De polarisator wordt horizontaal uitgelijnd (in een Oost – West positie) en wordt gemaakt van componenten die gearrangeerd worden in één richting. Het laat licht door dat in één bepaalde richting vibreert en absorbeert lichtgolven die in een andere richting bewegen.

Analysator:

Dit is een tweede polarisator die verticaal uitgelijnd word (in een Noord – Zuid positie) tussen het objectief, de lenzen en het oculair van de microscoop. De meeste microscopen hebben een analysator die gefixeerd staat boven het te onderzoeken specimen. Hierdoor is gekruiste polarisatie makkelijk te bekomen. Afhankelijk van microscoop is het in sommige gevallen mogelijk om de polarisatoren te draaien, of zelfs in of uit de lichtstraal te plaatsten.



Figuur 49 Polarisator en Analysator gemonteerd

3.5.3 Werking van gepolariseerd licht door een microscoop

Het gebruik van polariserend licht in microscopie kan verschillende kenmerken van verscheidene substanties helpen identificeren. Enkele substanties zijn, kristallen, vezels en mineralen. Wanneer beide gepolariseerde filters juist uitgelijnd zijn, staan ze loodrecht ten opzichte van elkaar. Wanneer men de filters aanpast kan men een exacte hoeveelheid licht doorlaten waardoor het mogelijk wordt om verschillende aspecten van het te onderzoeken specimen te examineren.

Het licht zal ofwel door een isotropisch specimen gaan, zodat het donker zal blijken, of het zal gereflecteerd worden door een anisotropisch specimen, zodat het in fel contrast zal zijn.

Aangezien dat de componenten van een dubbelbrekend, anisotropische substantie uitgelijnd zijn met verschillende hoeken ten opzichte van elkaar door middel van de polarisator te draaien, zullen verschillende delen van de substantie donker worden en sommige delen lichter worden.

3.5.4 Praktisch opstellen van een gepolariseerde microscoop

Vooraleer men de met de microscoop begint te werken is het belangrijk om enkele dingen te begrijpen. De microscoop is wellicht het meest gebruikte instrument in de biologie, het is echter vaak zo dat het niet goed gebruikt wordt. Wanneer men een specimen onder de microscoop onderzoekt, dan moet de lichtintensiteit en de distributie van licht klaar en gelijk zijn zodat men alle aspecten naar behoren kan evalueren.

Wanneer men start met de microscoop is het steeds aangeraden om een methode van iijken te gebruiken dat de Köhler methode noemt, de voordelen hiervan zijn:

- Een gelijke verlichting van het specimen
- Hoger contrast en resolutie
- Verminderde opwarming van het specimen
- Vermindering van reflecties en schitteringen.

Wanneer gebruikt men deze methode het best?

- Bij eerste gebruik van de microscoop
- Bij gebruik van een openbare microscoop die anderen gebruiken

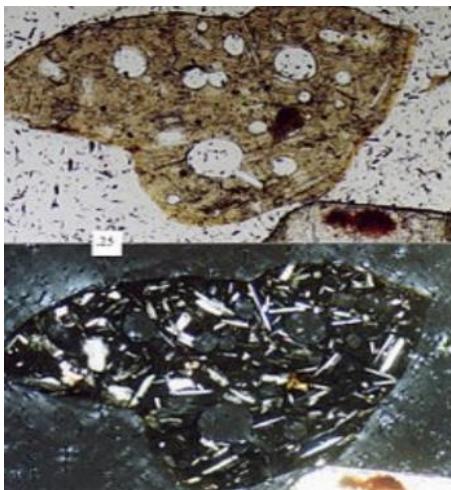
Details van deze methode zorgen er voor dat we te ver afwijken van het te behandelen onderwerp.

- Dus een goede start is het opstellen van de Köhler methode
- Draai het objectief (10x) zodat het in positie staat.
- Indien nodig, duw de analysator in positie zodat deze in het pad van de lichtstraal staat.
- Voordat u het specimen plaatst, draait u de polarisator tot wanneer het gezichtsveld helemaal donker wordt (volledige polarisatie)
- Draai de polarisator, hierdoor zal het veld terug zichtbaar worden wanneer de richting van de polarisator en de richting van de analysator parallel staan.
- Plaats nu het specimen en herhaal de bovenstaande stap. Wanneer het specimen uit dubbelbrekend materiaal bestaat dan zal je niets, of hoog contrast zien wanneer u de polarisator draait.

Door deze stappen te volgen kan men makkelijk de karakteristieken en verschillende componenten van het specimen identificeren, door gebruik te maken van polarisatoren.

3.5.5 Verdere studies met de microscoop

Vaak wordt polarisatie in de geologie gebruikt om mineralen te identificeren



Figuur 50 Foto van een vulkanische zandkorrel

De bovenstaande foto is een voorbeeld van polarisatie in de praktijk in de geologie. De bovenste foto is lineair gepolariseerd, de onderste is met gekruiste polariserende filters. Door verschillende manieren te gebruiken van polarisatie zijn verschillende componenten zichtbaar van hetzelfde specimen.

De materialen die het beste kunnen bestudeerd worden met een gepolariseerde microscoop zijn:

- Mineralen
- Polymeren
- Keramiek
- Hout
- Visschubben
- Insecten
- Natuurlijke en synthetische vezels met dubbelbrekende eigenschappen
- ...

Het is mogelijk met een polariserende microscoop om de absorptie van kleur en de breking van licht in isotrope en anisotrope substanties te bestuderen.

Geïnduceerde polarisatie is een geofysisch imaging systeem dat gebruikt wordt om elektrische ladingen van materialen te meten. Dit wordt gebruikt in de geologie. Ook hier is het verder uitdiepen van dit onderwerp een zijweg die te ver zal leiden van de leidraad.

Pleochroïsme wordt gegenereerd door verschillende maten van absorptie van gepolariseerd licht in verschillende richtingen in mineralen. Dit is meestal als gevolg van de aanwezigheid van metaal ionen die in transitie zijn in de kristalstructuren van het materiaal. Pleochroïsme is goed te zien onder een gepolariseerde microscoop, sommige silicaten zijn echter enkel te zien met spectrometers in combinatie met polarisatoren.

3.6 Toepassingen in de spectroscopie

Om de reden te achterhalen van de kleuren van mineralen en belangrijke aspecten zoals de distributie van elementen in verschillende sites in een mineraal of een groep van samenhangende mineralen, om de thermodynamische kenmerken te evalueren, enz.... daarvoor is kennis van spectroscopie nodig. Deze techniek wordt gebruikt in mineralogische onderzoeken samen met gepolariseerd licht en x-ray stralen.

Door het analyseren van de gepolariseerde eigenschappen van licht door middel van spectroscopie kunnen we eigenschappen te weten komen over het medium dat het licht uitstraalt, of over het medium waar het licht door passeert. Elke soort van anisotropie in het medium resulteert in een verandering in polarisatie, zo kan een anisotropie ofwel geërfd zijn van het medium, ofwel verkregen van een externe bron (een magnetisch veld). Zoals eerder besproken is een anisotropische eigenschap dat licht zich niet in elke richting hetzelfde gedraagt op een oppervlak, zoals hout.

Spectrometers zijn niet alleen in geologie van toepassing, ze worden ook gebruikt in de astronomie. Hier worden ze gebruikt om de straling te analyseren van astronomische objecten en zo hun chemische compositie te bepalen.

Het is mede dankzij de spectroscopie dat men grote stappen voorwaarts heeft kunnen zetten in de uiteenzetting van kwantum fysica. Door de spectrografie was het mogelijk om complexe atomen te bestuderen. Het domein van spectrografie was vroeger uitsluitend voor chemici en natuurkundigen, het wordt echter nu ook vaak gebruikt door bio-ingenieurs, moleculaire biologie, de medische en farmaceutische wereld alsook in applicaties inzake proteïnen, membranen, gesteenten, DNA sequenties en het bestuderen van de natuurlijke omgeving.



Figuur 51 Spectroscoop

3.7 Toepassingen in de fotografie

3.7.1 Een korte samenvatting

Polarisatie in de fotografie is wellicht één van de grootste toepassingen van polarisatie. Daarom zal dit hoofdstuk een uitgebreide kijk geven in de toepassingen van polarisatiefilters die gebruikt worden binnen de fotografie.

Polarisatiefilters kunnen de saturatie van kleuren verhogen in een foto en reflecties verminderen. Deze filters zijn ook één van de weinige filters die niet kunnen nagebootst worden via computerprogramma's zoals photoshop, enz,....

Een polarisatiefilter is één van de meest onmisbare dingen die elke, zichzelf serieus nemende, fotograaf bij de hand zou moeten hebben. Het is echter de kennis voor wanneer het best zulke filter te gebruiken, waar de echte moeilijkheid ligt voor de fotograaf. Hiervoor is experimenteren de boodschap.

Een polarisatiefilter wordt voor de cameralens geplaatst, de werking hiervan is reeds uitvoerig besproken in deze verhandeling. Het komt er dus op neer dat zonlicht die direct gereflecteerd wordt in de richting van de camera, wordt gefilterd in een specifieke hoek. Deze hoek kan worden geregeld door de polarisatiefilter te draaien, de intensiteit van het effect kan geregeld worden door het gezichtsveld wanneer men door de camera kijkt in betrekking tot de zon, te veranderen.

3.7.2 De hoek van de zon en verdraaiing van de polarisatiefilter

Een goede manier om te zien wat het maximale effect is wanneer men een polarisatiefilter gebruikt is door gebruik te maken van een simpele, maar effectieve manier van visualisatie. Men wijst een vinger in de richting van de zon en houdt de duim recht omhoog ondertussen. Overal waar de duim naartoe wijst wanneer je je hand draait, terwijl je nog steeds naar de zon wijst, daar is waar het effect van de polarisatiefilter het sterkste is.

Maar het is echter niet zo dat, ondanks het effect maximaal is in de richtingen die gevonden zijn, dat de foto die genomen word het maximale effect verkrijgt. Het verdraaien van de filter zal de hoek ten opzichte van de zon aanpassen, dit zal ervoor zorgen dat deze hoek het maximale effect van polarisatie krijgt. Hier is terug oefening en experimenteren de beste leerschool.

Wanneer men een gebruik maakt van een groothoeklens, dan kan het effect van de polarisator variëren van de hoek die gebruikt wordt. De resulterende foto's kunnen ongelijk ogen zoals in figuur 52 hieronder afgebeeld.

Sommige delen van de scène waar men de foto in neemt kan bij een groothoeklens in de richting zijn van de zon, terwijl andere delen misschien in een andere richting staan. In zo een geval zal de resulterende foto een deel hebben met een sterk polariserende zijde en een minder polariserende zijde, zoals hieronder afgebeeld.

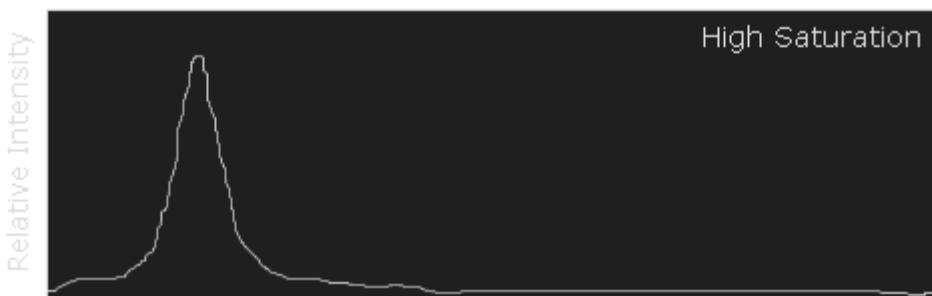


Figuur 52 Polariserend effect met groothoeklens

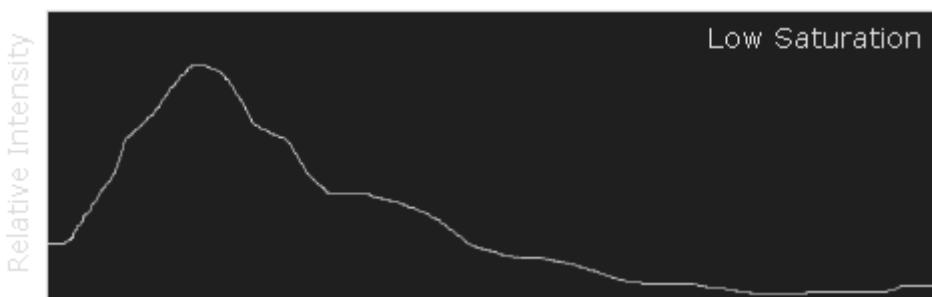
In het voorbeeld hierboven zal de zon dicht aan de horizon gestaan hebben zodat de lucht boven het gebouw het meest beïnvloed was door de polarisator. Hierdoor de donkere streep in de lucht, de lichtere stroken die dichter naar de horizon toe lopen hebben dus minder het effect.

3.7.3 Verzadiging van kleur

Verzadiging van kleur is een manier van meten van puurheid van kleuren. Een hoge verzadiging van een kleur zal een dicht bijeen gehoopte set van golflengtes hebben en zullen een meer vollere en diepere kleur geven dan andere, minder verzadigde kleuren. De illustraties hieronder geven hiervan een duidelijk beeld.



Figuur 53 Hoge verzadiging



Figuur 54 Weinig verzadiging

Het is dit effect van verzadiging dat met een polariserende filter op een cameralens duidelijk wordt. De lucht zal in foto's meer blauw worden, bladeren van bomen zullen groener zijn, er zal over het algemeen meer leven in de foto komen. Hieronder een voorbeeld van een foto van een waterval, met en zonder polariserende filter. Let op de foto met de polariserende filter waar de kleuren intenser lijken.



Figuur 55 Zonder polaroidfilter



Figuur 56 Met polaroidfilter

Objecten die meer reflecterende eigenschappen hebben zullen met een polarisatiefilter meer verzadigde kleuren krijgen.

3.7.4 Reflecties en lichtdoorlaatbaarheid

Nog een zeer belangrijke toepassing van een polarisatiefilter binnen de fotografie is de vermindering van reflecties. Andere eigenschappen zijn ook het isoleren van natte objecten, objecten onderwater of objecten achter een raam. Ook hier heb ik een uitstekend voorbeeld gevonden om aan te tonen wat bedoeld wordt.



Figuur 57 Zonder polaroidfilter



Figuur 58 Met polaroidfilter

Hoewel in figuur 53 de polarisatiefilter niet volledig de reflecties kon wegdoen, is het effect wel zeer goed gelukt. Volledig verwijderen van reflecties door middel van polarisatiefilters is onmogelijk, maar het effect is wel nagenoeg volledig weg. Een uitzondering ligt in metalen oppervlakken, deze worden niet verwijderd, deze reflecties zijn dan ook de meest felle en minst gewenste reflecties bij het nemen van foto's.

Een polarisatiefilter kan ook ongewenste reflecties wegnemen wanneer men een foto neemt van een raam of enig ander transparant object. Ook hier zit een maar

bij, namelijk bij het nemen van foto's door ramen die van ongelijke dikte zijn, getint zijn of met coatings behandeld zijn. Hierdoor creëert men een regenboogeffect, of een golvend effect. Een praktisch voorbeeld hiervan kan hieronder gezien worden, dit is een foto met een polariserende filter, door het raam van een vliegtuig.



Figuur 59 Foto door vliegtuigraam

3.7.5 Contrast en schitteringen

Nog een effect van polarisatiefilters in de fotografie is het verminderen van het contrast van een foto in sommige gevallen. Het dynamisch bereik (HDR effect) is makkelijker om vast te leggen met een polarisatiefilter. Het dynamisch bereik is kort uitgelegd het ratio tussen de minimale en maximale op te meten intensiteit van meetbaar licht. Dynamisch bereik is vooral belangrijk bij het nemen van natuurfoto's. Hieronder is een voorbeeld van zo een foto, met en zonder filter.



Figuur 60 Zonder polaroidfilter



Figuur 61 Met polaroidfilter

Het licht met polarisatiefilter zal minder hard en minder reflecterend ogen, wat in de meeste gevallen mooier oogt en wenselijker is, tenzij het de bedoeling is om net meer reflecties en contrast te hebben natuurlijk.

In andere gevallen zorgen polarisatiefilters er juist voor om meer contrast te creëren, hieronder zijn terug 2 voorbeelden waar polarisatiefilters gebruikt worden. Hier is duidelijk te zien dat er een verhoging is in contrast en een hogere mate van reflecties van het water.



Figuur 62 Zonder polaroidfilter



Figuur 63 Met polaroidfilter

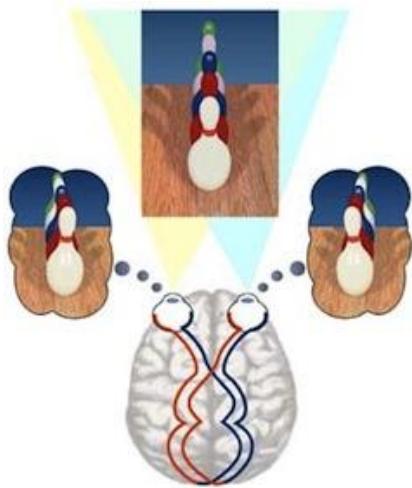
3.7.6 Nadelen van polarisatiefilters in de fotografie

Hoewel we in dit deel uitvoerig alle voordelen hebben besproken, zijn er uiteraard ook nadelen aan deze filters. Deze zijn reeds kort besproken in hun respectievelijke onderdelen, maar hiernaast zijn er nog enkele praktische nadelen:

- Door gebruik van deze filters is er meer blootstelling van licht nodig.
- Deze filters zijn duur in aankoop.
- De camera dient in de juiste hoek ten opzichte van de zon te staan voor maximaal effect te verkrijgen.
- Het nemen van de foto kan langer duren, aangezien de polarisator moet afgesteld worden.
- Wanneer men door de zoeker van de camera kijkt kan het moeilijker zijn om het gewenste effect te creëren.
- Wanneer de filter zelf niet proper en onderhouden is zal de kwaliteit van de foto's dermate minder zijn.
- Bij panoramische foto's of bij gebruik van een groothoeklens kan men ongewenste effecten krijgen.
- Soms zijn reflecties essentieel bij het nemen van een foto, een praktisch voorbeeld hiervan is een foto van de zonsondergang.

3.8 Toepassingen in 3D

Mensen zien enkel in 2 dimensies, het is door onze hersenen dat we er een dimensie bij krijgen. De hersenen kunnen bepalen hoe ver een object staat door middel van de beelden te analyseren die elk oog apart binnen krijgt. Dit effect staat bekend als stereopsis, de perceptie van diepte en 3 dimensionale structuren verkregen door informatie doorgestuurd door de ogen en verwerkt in de hersenen in geval van normaal binoculair zicht.



Figuur 64 Stereopsis

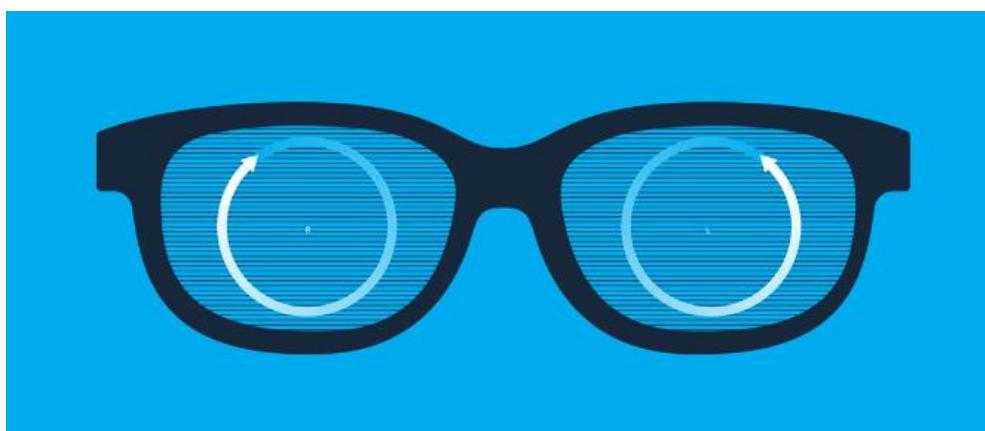
Doordat de ogen ongeveer 5 cm van elkaar staan krijgen de hersenen 2 beelden die lichtjes anders zijn ten opzichte van elkaar. Het is hierdoor dat we in 3 dimensies kunnen kijken. Zonder het gebruik van onze 2 ogen is diepteziicht onmogelijk. De hersenen zoeken hiervoor echter manieren om hier mee om te gaan, zodat er toch een kleine mate is van gesimuleerd diepteziicht.

3D in de filmwereld tracht dus juist hetzelfde te doen, door middel van een speciale 3D bril. In de jaren '50 werd dit effect gecreëerd door 2 projectors tegelijkertijd te draaien met lineair gepolariseerde lenzen over elke projectorlens. Deze projectors stonden meestal op 45° en 135° ten opzichte van elkaar. Het publiek in de zaal droeg dan een bril die in dezelfde richting was georiënteerd zodat elk oog het juiste beeld kreeg. Het grote probleem met deze methode was dat wanneer iemand zijn hoofd lichtjes anders draaide, beide beelden in elkaar vloeiden, wat voor menig hoofdpijn zorgde in cinemazalen. Deze methode werd gedurende lange tijd gebruikt.



Figuur 65 3D toen

De huidige generatie van 3D technologie maakt gebruik van cirkelvormige polarisatie in plaats van lineaire polarisatie. Hierdoor valt het probleem van de gevoeligheid in oriëntatie van het hoofd weg en geeft meer comfort ten opzichte van de kijker. Het maakt niet uit in welke richting je je hoofd nu draait, de beide beelden vloeien niet meer samen. Ook gebruikt men geen 2 projectors meer, maar 1 digitale projector die beide beelden steeds wisselt aan 144 frames per seconde. Het ene beeld in een andere richting gepolariseerd dan de andere, hierdoor wordt het juiste beeld naar het juiste oog gestuurd. Zoals afgebeeld in figuur 66 zal het ene oog cirkelvormige polarisatie met de klok mee krijgen en het andere oog zal cirkelvormige polarisatie tegen de klok krijgen. Er wordt ook gebruik gemaakt van een speciaal scherm die de helderheid verhoogt en de polarisatie vasthoudt.



Figuur 66 3D nu

Deze technologie wordt grotendeels geproduceerd door RealD™, 90% van de markt. Het is ook door RealD dat de 2^{de} projector niet meer nodig werd.

3.9 Toepassingen in optische modulators

Verschillende fysieke effecten inzake gepolariseerd licht hebben allemaal 1 gemeenschappelijke noemer: ze zijn allen geactiveerd van buitenaf. Hier in deze sectie bespreken we deze externe invloeden van het optisch medium waardoor het de manier van lichtgeven zelf veranderd.

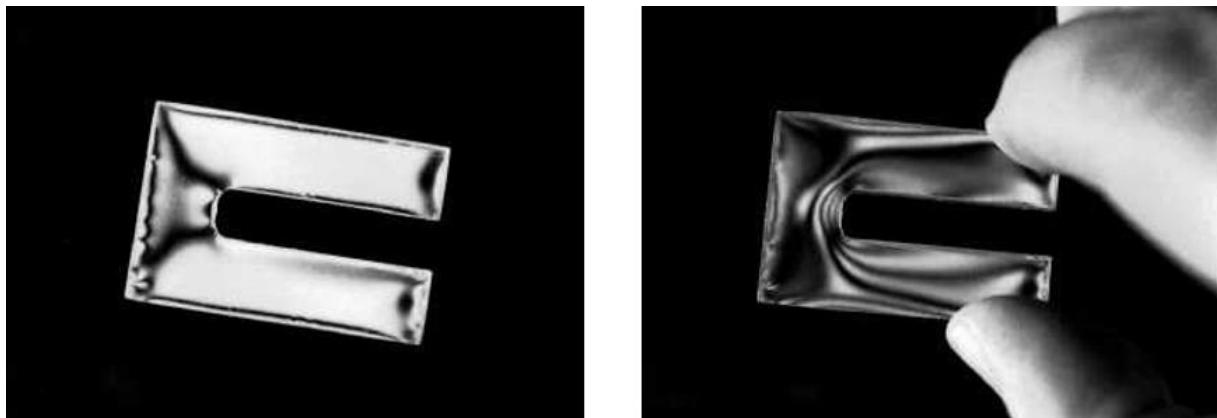
3.9.1 Photoelasticity

In 1816 ontdekte Sir David Brewster dat gewone transparante isotropische substanties anisotroop konden worden door middel van mechanische stress. Dit fenomeen staat ook bekend als mechanische dubbelbreking of stress-dubbelbreking.

Wanneer materiaal onder stress of druk staat dan neemt het materiaal de eigenschappen over van een negatieve of positieve kristal zonder optische as. In beide gevallen staat de optische as in de richting van de stress en de opgewekte dubbelbreking is in proportie met die factor van stress. Dit is dan te zien tussen 2 polarisatoren.

Photoelasticity vormt de basis van de techniek om stress te bestuderen in zowel transparante als doorzichtige mechanische structuren. Een praktisch voorbeeld

hiervan is het foutief gemonteerd glas in een bril of het kijken door een polarisator naar een achterrauit van een auto.

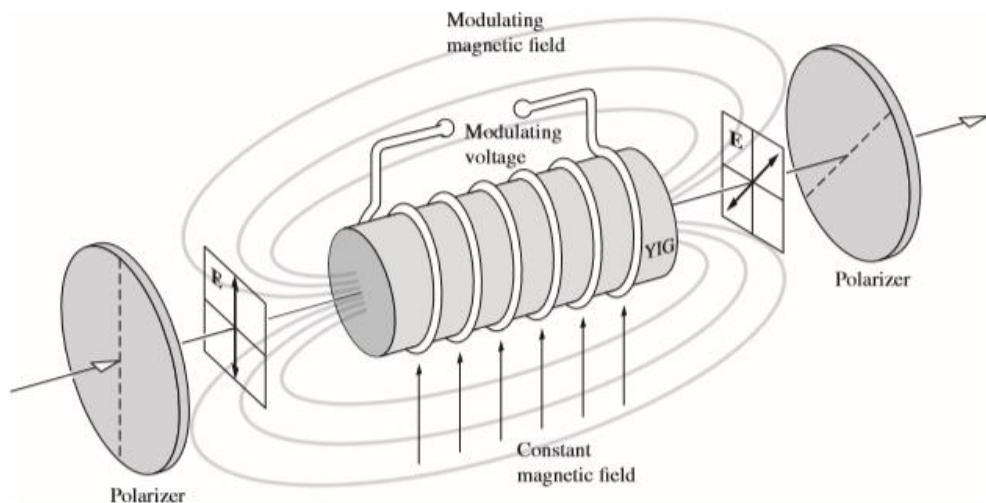


Figuur 67 Dubbelbrekende stress

3.9.2 Het Faraday effect

Michael Faraday ontdekte in 1845 dat de manier waarop licht door een bepaald medium gaat kan beïnvloed worden door de applicatie van een extern magnetisch veld. Hij ontdekte dat de richting van vibratie van het lineair licht loodrecht draaide op een stuk glas wanneer een sterk magnetisch veld gebruikt werd in een bepaalde richting.

Het Faraday effect was één van de vroegste indicaties van de onderlinge relatie tussen elektromagnetisme en licht. Vandaag wordt het vaak gebruikt in het maken van optische modulators, voornamelijk lasers.

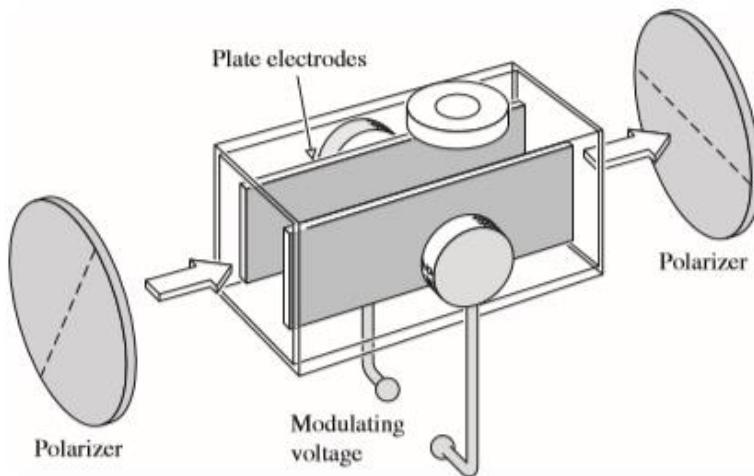


Figuur 68 Faraday Effect

3.9.3 Het Kerr en Pockels effect

In 1875 ontdekte fysicus John Kerr het eerste elektro-optisch effect. Hij ontdekte dat isotropische transparante substanties dubbelbrekend worden wanneer ze in een elektrisch veld geplaatst worden. Het medium neemt dan de eigenschappen over van een kristal waarvan de optische as overeenkomt met de richting waarvan het elektrische veld komt. Kerr cellen worden het meeste gebruikt als shutters in de high-speed fotografie, alsook als meetinstrument om de snelheid van het licht te bepalen en ook in lasersystemen.

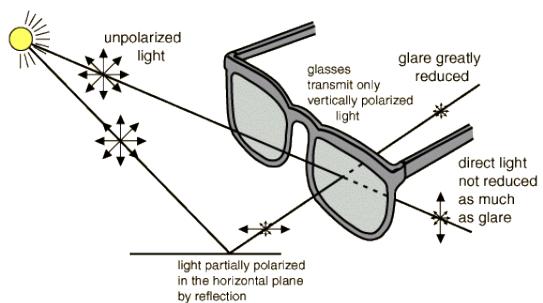
De eerste praktische cel, die gebruikt werd als shutter of modulator, werd echter maar in gebruik genomen vanaf de jaren 1940. De reden hiervoor is dat er pas vanaf dan bruikbare kristallen werden vervaardigd die gebruikt konden worden.



Figuur 69 Een Kerr cel

3.10 Toepassingen in zonnebrillen

Zoals reeds besproken is ook bij zonnebrillen het principe van wire-grid polarisatoren van toepassing. Licht kan door in 1 richting en wordt geblokkeerd in de andere waardoor men lineaire polarisatie krijgt. Het licht dat wordt doorgelaten is dat wat vibreert in de tegengestelde richting van het gereflecteerde licht dat van het oppervlak komt. Kort gezegd dus dat licht invalt op het aardoppervlak en dat een gepolariseerde zonnebril het licht tegenhoudt dat loodrecht op deze as staat.



Figuur 70 Gepolariseerde zonnebril

Gepolariseerde zonneglazen zijn ideaal bij:

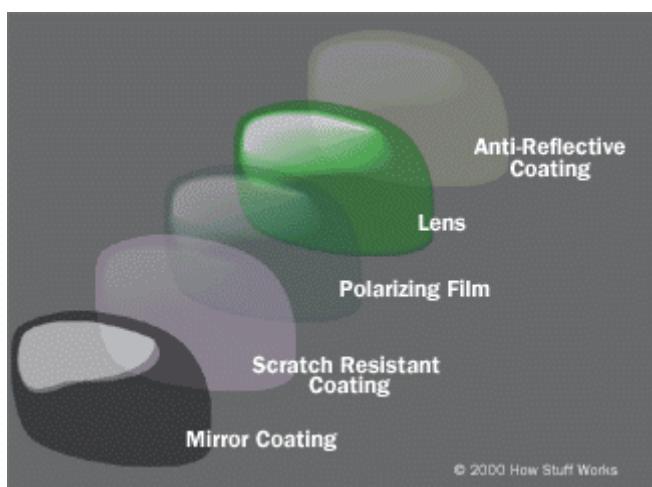
- Vissen, vissers kunnen “door” het wateroppervlak kijken.
- Skiën, Skiërs kunnen hiermee kleine oneffenheden in de sneeuw zien.
- Auto rijden, laaghangende zon of hinderlijke reflecties worden weggewerkt.

Hoewel gepolariseerde zonneglazen doorgaans het meest wenselijk zijn als zonnebrillen zijn er ook nog enkele nadelen aan verbonden.

- Wanneer men in een bepaalde hoek kijkt naar het digitale dashboard van een wagen dan zullen de kleuren doven.
- Wanneer men een smartphone in landschapsmodus plaatst, kan het zijn dat de intensiteit en zichtbaarheid van het scherm verminderd.
- Pilooten mogen niet vliegen met gepolariseerde zonnebrillen aangezien de instrumenten in de cockpit minder zichtbaar kunnen worden. Ook is het de bedoeling om eventuele schitteringen van buitenaf te zien, dit wordt ook gefilterd door een gepolariseerde zonnebril.

Doorgaans worden er nog andere coatings op zonneglazen gelegd. Hieronder op figuur 71 staat de volgorde hoe deze worden geïmplementeerd op de glazen.

Langs de binnenkant van de lens wordt een anti-reflecterende coating aangebracht, deze kan nog vergezeld worden door een UV beschermde laag. Bovenop het glas komt de polarisatiefilter, zoals in het hoofdstuk van wire-grid polarisatoren beschreven is het belangrijk dat de anti-reflecterende laag niet bovenop de polarisatiefilter geplaatst wordt, anders verminderd het effect van polarisatie aanzienlijk. De spiegelcoating komt als laatste optie op het glas.



Figuur 71 Indeling van een zonneglas

Hoofdstuk 4: De enquête

4.1 Inleiding tot de enquête

Ikzelf heb, zoals in het begin van deze verhandeling reeds vermeld, zelf een gepolariseerde zonnebril. Ik draag al reeds enkele jaren zonnebrillen op sterkte met gepolariseerde glazen erin, maar zonder echt te weten wat dit juist inhoudt.

Het was pas bij het krijgen van optica dat ik echt een begrip kreeg over wat polarisatie feitelijk is en hoe breed het gebied is waar het gebruikt in wordt. Dit vond ik interessant en wanneer ik dan een thema moest zoeken voor een verhandeling te maken, dan kwam ik uit op dit gebied.

Omdat het juist zo een breed gebied is leek het ook interessant om te weten wat anderen wisten over het onderwerp polarisatie. Bij de start van de enquête was ik benieuwd wat de algemene kennis was inzake polarisatie.

Ik heb 100 mensen geïnterviewd, iedereen die over de vloer kwam en die bereid was mee te doen stelde ik mijn vragen. Alsook collega's om hun kennis te testen van het onderwerp.

Ik heb een enquête opgesteld die bestaat uit 7 korte vragen, aangezien de meeste mensen het niet leuk vinden om langere tijd "ondervraagd" te worden, vond ik het goed om de essentie te vragen. Ik had volgende vragen opgesteld:

1. Kent u polarisatie?
2. Indien ja:
 - a. Kan u enkele voorbeelden geven van polarisatie?
- Indien nee:
 - b. Kan u zich voorstellen waarvoor het mogelijks gebruikt wordt?
3. Is polariserend licht een natuurlijk fenomeen?
4. Is er ook niet-polariserend licht?
5. Kent u eventuele nadelen van polarisatie?
6. Kent u professionele toepassingen voor polarisatie?
7. Hebt u rees een gepolariseerde zonnebril (op sterkte)?

Naast deze vragen heb ik ook van iedere persoon hun geboortedatum en hun naam gevraagd. Ook vroeg ik of ze een bril droegen of contactlenzen, in sommige gevallen was het beide het geval.

Hierdoor heb ik een beeld gekregen over welke groepen wat weten over polarisatie, doordat ik 100 personen heb geïnterviewd kan ik een duidelijk beeld scheppen en de resultaten makkelijk in procenten uitdrukken.

4.2 Resultaten van de enquête

De resultaten lagen in de lijn der verwachtingen die ik had. Niet iedereen was even enthousiast om alle vragen naar behoren te beantwoorden. Desondanks heb ik toch een duidelijk resultaat verkregen.

Van alle personen die geïnterviewd waren waren 39% mannelijk en 61% vrouwelijk. Hiervan droegen 82% een bril, wat een logische redenering is aangezien het meeste van de personen die geïnterviewd werden, in de winkel gebeurd zijn.

29% van de personen waren lensdragers en 18% waren zowel lensdragers als frequente brildragers. Hoewel klanten die lenzen dragen normaliter ook nog vaak een bril moeten dragen.

Bij de eerste vraag, **kent u polarisatie?** Kende 53% het idee van polarisatie
Bij de tweede vraag, **kan u enkele voorbeelden geven van polarisatie?** Gaf 52% van de personen voorbeelden die correct waren.

Bij deze tweede vraag was er een tweede deel, indien men op de eerste vraag neen antwoordde, **kan u zich voorstellen waarvoor het gebruikt wordt?** Amper 13% kende hierop een correct antwoord.

Bij de derde vraag, **is polariserend licht een natuurlijk fenomeen?** Antwoordde 26% ja.

Bij de vierde vraag, **is er ook niet-polariserend licht?** Antwoordde 60% ja.
Bij de vijfde vraag, **kent u professionele toepassingen voor polarisatie?** Werd vaak gewoon “zonnenbril” geantwoord maar aangezien dit niet echt een professioneel gebruik is van polarisatie (zoals microscopie, zeilen,...). Amper 27% kende professionele toepassingen voor polarisatie.

Bij de zesde vraag, **hebt u reeds een gepolariseerde zonnebril (op sterkte)?** Antwoordde 29% ja.

4.3 Analyse van de resultaten

4.3.1 Analyse van de doelgroep

Een eerste analyse kan gemaakt worden in verband met de doelgroep. Mannen waren moeilijker om te overtuigen om deel te nemen dan vrouwen. Het is echter gebleken dat mannen meer kennis hadden in verband met polarisatie dan vrouwen.

De reden hierachter is wellicht het feit dat in de praktijk gepolariseerde zonnebrillen meer gebruikt worden bij vissport, zeilsport, alsook bij vrachtwagenbestuurders of andere personen die langdurig in de wagen vertoeven. Dit zijn meestal mannen. Ook is het zo dat gepolariseerde zonnebrillen niet zo “fashionable” zijn dan niet-gepolariseerde zonnebrillen.

Zoals hierboven reeds vermeld is de reden dat 82% van de personen brillen dragen te wijten aan het feit dat de meeste interviews gebeurd zijn in de optiekzaak. Alsook het feit van de lensdragers en de personen die beide frequent dragen.

4.3.2 Analyse van de vragen

Toen ik begon had ik verwacht dat niet zo veel mensen op de hoogte waren van het begrip polarisatie. En diegene die het wel kenden, dan enkel door het feit van een gepolariseerde zonnebril.

Zoals blijkt uit de enquête, zat ik er niet ver naast. Wanneer men kijkt dat 53% polarisatie kent en daarvan bijna iedereen een voorbeeld kan geven van hoe het wordt gebruikt dan lag dit in de lijn van de verwachtingen, bijna iedereen antwoordde “zonnenbril”.

Wanneer ik begon met de enquête en ik de vraag 2b stelde, dacht ik dat men niet wilde antwoorden, of snel er van af wou zijn. Het is gebleken dat dit niet het geval was en dat men dus weinig of geen idee heeft waarvoor het feitelijk zou dienen, indien men het niet weet.

De volgende 2 vragen waren wat aan elkaar verbonden. Het was vaak zo dat wanneer men op vraag 3 “neen” antwoordde, het antwoord van vraag 4 vaak “ja” was. De mensen dachten vaak dat wanneer het ene ja of neen is, dan moet de andere vraag wel het omgekeerde zijn.

De nadelen van polarisatie waren weinig gekend. Personen die wisten wat polarisatie was, ondervonden persoonlijk geen nadelen, dit was dan ook vaak het antwoord dat ik kreeg, zoals wel duidelijk is geworden.

Zoals hierboven vermeld kreeg ik bij de 6^{de} vraag vaak het antwoord “zonnebril”, hoewel dit ergens wel gebruikt kan worden als “professioneel gebruik” doelde ik meer op echt gebruik bij het uitoefenen van activiteiten als zeilen, autorijden, spanning opmeten, vissen,....

Ik vond het wel verassend dat slechts 29% van de personen reeds een gepolariseerde zonnebril hadden. Soms was het dat men dit vroeger heeft gehad, of dat de prijs van zo een bril wat te hoog lag ten opzichte van een gewone zonnebril.

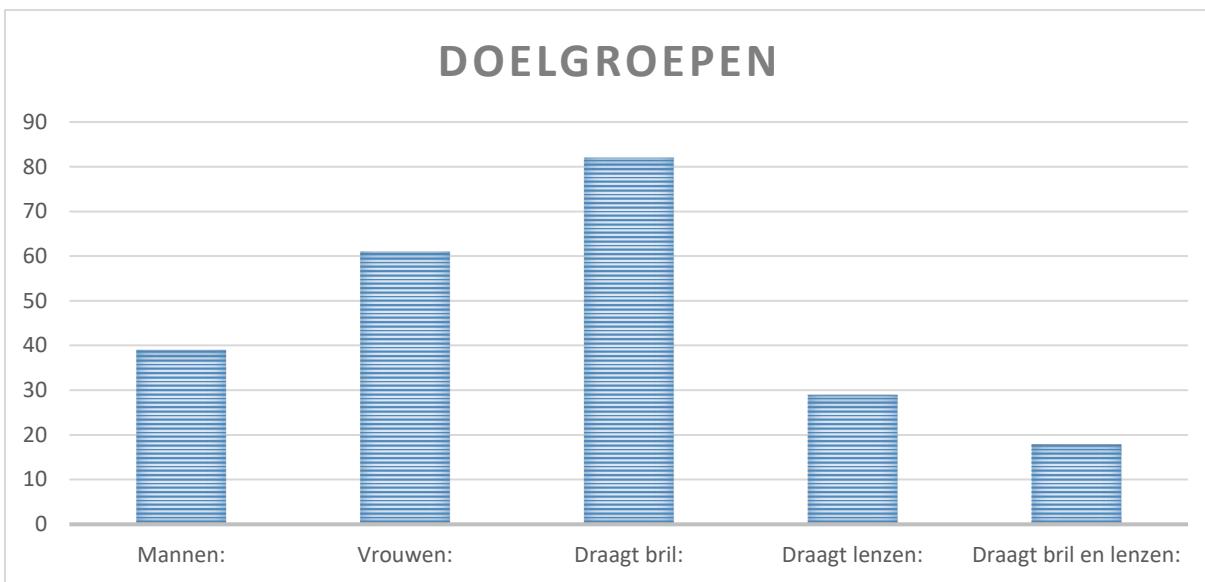
4.4 Eindconclusie van de enquête

Als slotconclusie stel ik vast dat een kleine meerderheid van de personen die geïnterviewd zijn, polarisatie kennen. Dit lag reeds in mijn lijn van verwachtingen. Wat wel verassend was, was het feit dat mensen minder wisten waarvoor het juist diende, maar het begrip polariserende zonnebril wel kende.

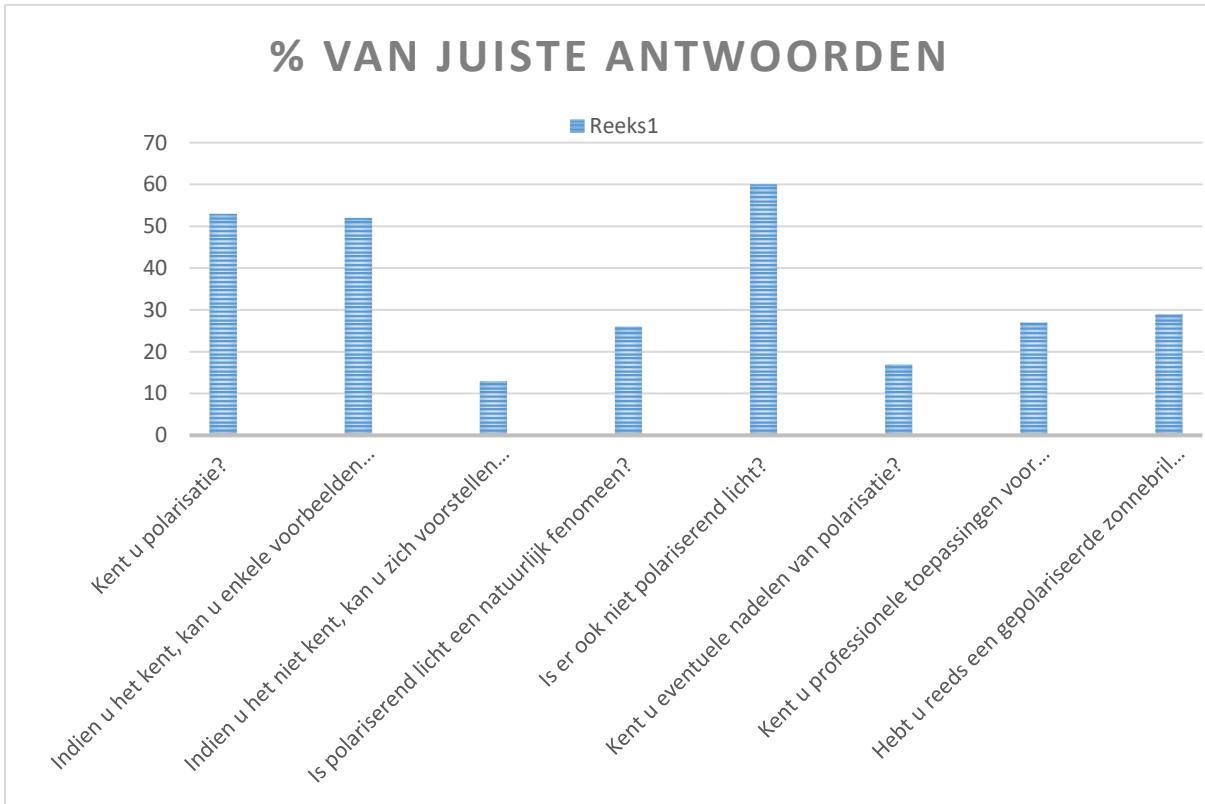
Hier stel ik dus vast dat men wel gebombardeerd word met allerlei termen bij het kopen van gepolariseerde zonneglazen, maar inhoudelijk weinig informatie krijgt over wat men nu feitelijk koopt. Waarom deze glazen nu juist duurder zijn en wat de voordelen zijn bij het dragen van zulke glazen.

Bij het afgaan van de enquête was het weinig het geval dat men sprak over cameralenzen en al zeker zeer weinig over microscopie. Hoewel het laatste niet als een verassing komt, is het toch wel een welbekende filter die op een camera kan geplaatst worden. Er waren enkele personen die aan fotografie deden, die wisten van een gepolariseerde filter voor op de camera.

Er bestond ook veel twijfel over wat wel en wat niet gepolariseerd licht is en of het natuurlijk is of niet. Deze vragen waren misschien wat technisch, maar het schept desalniettemin een beeld over hoe veel men weet over polarisatie.



Figuur 72 Doelgroepen van de enquête



Figuur 73 Antwoorden van de enquête

Bibliografie

- Blair, W. P. (sd). *The basics of light*. Opgehaald van William P. Blair's Home Page: <http://www.blair.pha.jhu.edu/spectroscopy/basics.html>
- Cambridge in Colour. (sd). *Camera polarizing filters*. Opgehaald van Cambridge in Colour: <http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/polarizing-filters.htm>
- Crew, H. (2009). *The Wave Theory of Light - Memoirs by Huygens, Young and Fresnel*. Read Books.
- Edmund Optics Inc. (sd). *Introduction to Polarization*. Opgehaald van Edmund Optics: <http://www.edmundoptics.com/resources/application-notes/optics/introduction-to-polarization>
- Hecht, E. (2017). *Optics Fifth Global Edition*. Essex, England: Pearson Education Limited.
- L., P. (2015). *Simultaneaous observation of the quantization and the interference pattern of a plasmonic near-field*. Opgehaald van Nature.com: <http://www.nature.com/articles/ncomms7407>
- Louis, M. E. (1809). *Sur une propriété de la lumière réfléchie par les corps diaphanes*.
- MegaWetenschap.nl. (sd). *MegaWetenschap*. Opgehaald van Van Newton tot Einstein - De Maxwell-vergelijkingen: http://www.megawetenschap.nl/newton_einstein_3.html
- Parry, N. (2012, februari 8). *What you ought to know about polarising light microscopy*. Opgehaald van bitesizebio: <http://www.bitesizebio.com/13395/everything-you-ought-to-know-about-polarising-light-microscopy/>
- PCtechguide. (sd). *Liquid crystal light polarization in lcd monitors*. Opgehaald van pctechguide: <http://www.pctechguide.com/flat-panel-displays/liquid-crystal-light-polaristion-in-lcd-monitors>
- The Optical Society of America. (2010). *Handbook of Optics Third Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Visser, D. (1996). Van toermalijntang tot polaroid: Over polarisatie en polarisatoren. GEA, 58-63.
- Williamson, R. (2005). *Polarization Optics Tutorial: Polarizers, Waveplates, Rotators, and Lyot Filters*. Opgehaald van ray-optics: http://www.ray-optics.com/Polarization_Tutorial.pdf
- Yacoubian, A. (2015). *Optics Essentials An interdisciplinary Guide*. Boca Raton, Florida: CRC Press Taylor & Francis Group.