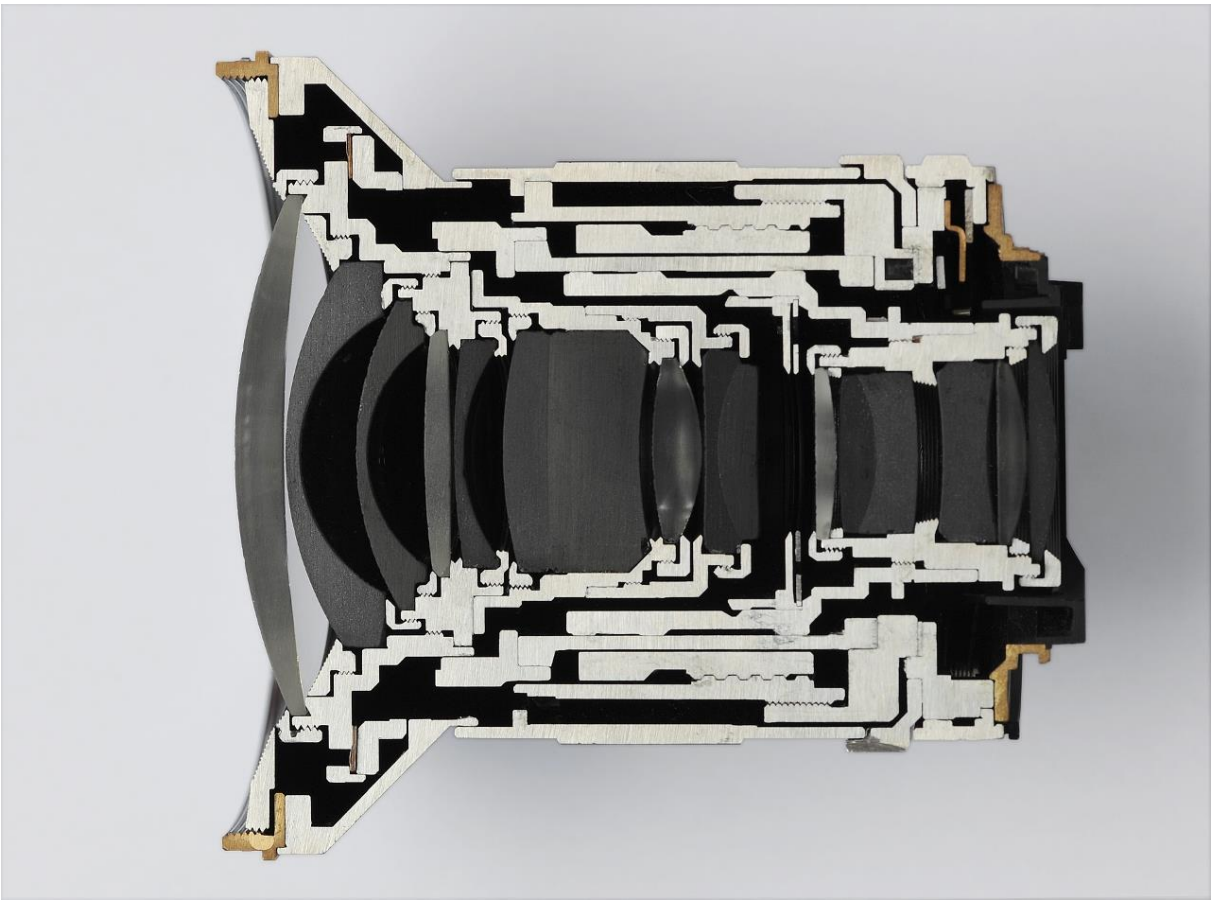


Lens kwaliteit

Kwaliteit van een objectief

Door Rico Coolen

Inhoud

Inleiding: 3
Werking van een objectief. 3
Breking en reflectie 3
Een prisma als basis voor een lens 4
Brandpuntsafstand 4
Veel voorkomende objectief fouten 6
Lens voor full frame sensor of niet 6
Focus fouten 7
Abberatie ..... **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
Sferische aberratie 8
Chromatische aberratie 8
Vertekening / distortie 9
Vignetering 10
Diffractie 11
Flare = reflectie 12
Nawoord 14
Bronvermelding 15

Inleiding:

Lenskwaliteit en lens fouten. Eigenlijk moeten we het niet hebben over lens kwaliteit maar over de kwaliteit van het objectief.

Figuur 1 Holga 80mm lens

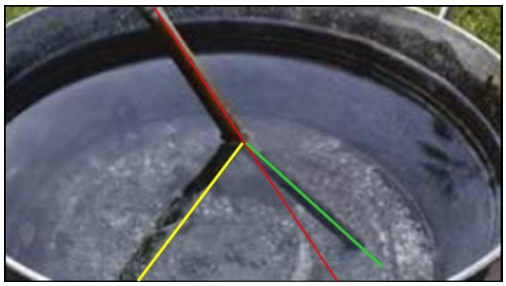
De foto in figuur 1 is gemaakt met een Holga lens van 9 euro. Goedkoper zijn ze niet te koop. Dit objectief bestaat in werkelijkheid uit een enkele lens met een vast diafragma. Je kunt manual focus scherpstellen maar dat is alles. De lens in dit objectief is gemaakt van geperst kunststof en is van een slechte kwaliteit.

Het leuke van deze lens is dat er zoveel fouten inzitten dat het leuk is. Elke lens is uniek.

Deze types lens, zijn niet de objectieven die we als fotograaf gebruiken. We willen een goed objectief maar waar moeten we dan op letten? Hoe werkt een objectief en wat zijn veel voorkomende en belangrijke fouten in objectieven. Wat nog belangrijker is, hoe kunnen we de grootste afwijkingen corrigeren.

Werking van een objectief.

Breking en reflectie



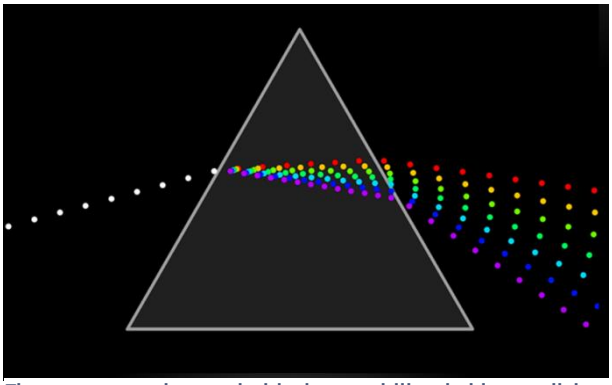
Figuur 2: Licht wordt gebroken in water een deel van het opvallend licht reflecteert.

Om de werking van een objectief uit te leggen wil ik de gebroken stok in een teil met water gebruiken. We kennen het allemaal. Een rietje in een glas water, een stok in de vijver of emmer water. Zodra de stok onder water komt, wordt die krom. Dat komt omdat het water het licht breekt. Een heel belangrijk gegeven. Een ander belangrijk gegeven is, dat we een weerspiegeling zien van de stok. Dit is reflectie.

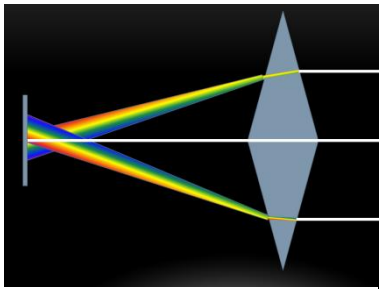
Breking en reflectie vormen de basis van elk objectief en elke fout in een objectief.

Een prisma als basis voor een lens

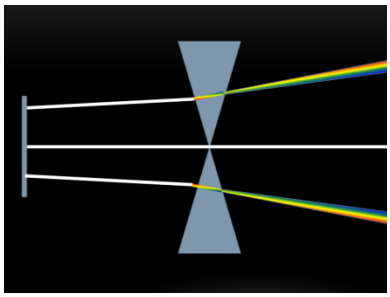
Licht bestaat uit fotonen die via verschillende golflengten de verschillende kleuren vormen. De verschillende kleuren licht hebben ook andere lichtsnelheden. Als een lichtstraal op een doorzichtig materiaal valt, ondervindt het licht een soort van weerstand. Afhankelijk van de dichtheid van het materiaal zal licht met een kortere golflengte (blauw) anders reageren dan licht met een lange golflengte (rood). Het licht zal gesplitst worden zoals in een regenboog. Bij een prisma wordt het splitsen van het licht versterkt. Een gerichte lichtstraal wordt 2 keer gebroken. Door de vorm van de prisma wordt het uitelkaar trekken van het licht versterkt.



Figuur 3. een prisma scheidt de verschillende kleuren licht van elkaar.



Figuur 4: model convexe lens



Figuur 5: model concave lens

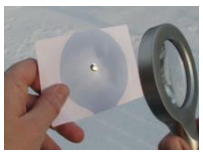
We onderscheiden 2 soorten lenzen. Bolle lenzen en holle lenzen. Een bolle lens vergroot het beeld. Een voorbeeld van zo een lens is een leesbril. Deze vergroot het beeld. Een holle lens is een verkleinende lens. Een bril om veraf beter te kunnen zien, is een lens die overwegend hol en dus verkleinend is. Vlak glas is eigenlijk een lens zonder enige bolling.

Als we naar een bolle lens (convexe lens) kijken kunnen we die beschouwen als een stapeling van prisma's. Dat betekend dat het licht wat door een lens gaat, uit elkaar getrokken wordt. In het midden van de lens, is de hoek minder scherp en dus zal het licht minder scheiden dan aan de uiterste kanten.

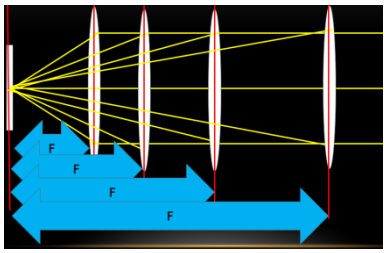
Een holle lens (concave lens) zijn eigenlijk 2 omgekeerde prisma's. doordat het een verkleinende lens is, zal ook de verstrooiing minder worden. Dit betekent dat een holle lens ingezet kan worden om verstrooiing van licht te verminderen.

Brandpuntsafstand

Als een evenwijdige lichtstraal op een bolle lens schijnt, wordt dat licht afgebogen en komt samen in 1 punt. Als we dat met scherp zonlicht doen kan er op dat punt een brand ontstaan. Daarom heet het een brandpunt. De afstand van de lens tot het brandpunt wordt de brandpuntsafstand (F)genoemd.



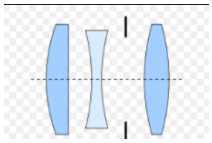
Figuur 6: Brandpunt.



Figuur 7: Brandpuntsafstand.

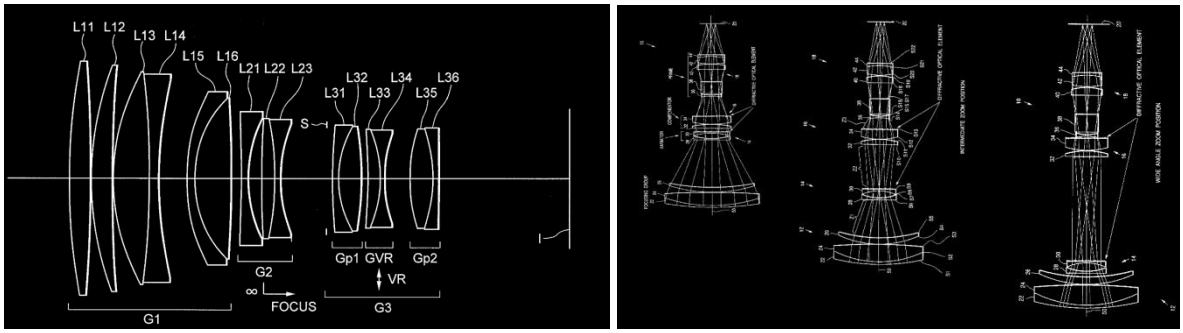
Hoe groter de brandpuntsafstand, hoe groter de fout is. Immers de weg die door het licht in het objectief wordt afgelegd, is groter naarmate de brandpuntsafstand groter wordt, zal ook de kans en de mate van een fout groter worden.

Dat geldt zeker voor zoomlenzen. Een variabele brandpuntsafstand zal voor meer fouten zorgen.


Figuur 8: Triplet

Een objectief kan uit een groot aantal lenzen bestaan. Het eenvoudigste gecorrigeerde objectief bestaat uit 3 lenzen of lensgroepen, de zogenaamde triplets. De 2 zwarte streepjes presenteren het diafragma.

Kijken we naar wat modernere lenzen, zien we dat deze veel gecompliceerder zijn.



Figuur 9: Links Nikon lens vast brandpunt. Rechts Canon zoomlens

Ook bij de Nikon lens is de triplet herkenbaar. Groep 1 zorgt voor de brandpuntsafstand. Groep 2 zorgt voor de focus en kan in de lengterichting van de lens bewegen. Groep 3 is in deze lens beweegbaar gemaakt en wordt naast de optische eigenschappen ook ingezet als beeldstabilisator.

Bij de Canon zoomlens is het iets anders. Daar zijn meer lensgroepen te zien.

De 2 tekeningen van de lenzen komen uit relatief recente patenten (2012) die allebei gericht zijn op de reductie van de reflectie van licht in het objectief.

Veel voorkomende objectief fouten

De meest voorkomende fouten in objectieven hebben betrekking op de juistheid van het scherpstelpunt, verstrooiing van licht in de lens en beeldvervorming. De mate van vervorming is afhankelijk van de gebruikte materialen maar ook van de nauwkeurigheid waarmee de lenzen en de objectieven geproduceerd zijn. Op youtube zijn wel filmpjes te zien hoe een objectief gemaakt wordt. In de referentielijst staat een link naar een film voor de Canon 500mm f4 L.

Figuur 10: Lensproductie voor 500mm objectief

De lenzen zijn meestal gemaakt van glas. Door verschillende soorten glas te combineren kunnen correcties zover gaan dat er bijna geen afwijkingen meer zijn. Sommige glassoorten absorberen meer van een bepaald deel van het licht waardoor er een minder sprankelend beeld ontstaat. Zo heeft Canon een zoomlens waarin fluoriet is verwerkt. Deze lenzen worden gemaakt van kunstmatig geproduceerde fluoriet kristallen. Deze fluoriet lenzen zorgen voor een sprankelend beeld.

Bij objectieven met een vast brandpuntsafstand is de mate waarin afwijkingen gecorrigeerd kunnen worden veel groter dan bij een zoomlens. Duidelijk is dat bij een objectief met veel correcties doorgaans veel lenzen gebruikt worden. Deze zijn moeilijker te produceren, zijn doorgaans zwaar en duur.

Lens voor full frame sensor of niet.

Er zijn verschillende soorten objectieven voor verschillende soorten sensoren. Full frame of APS-C. Om een Full frame sensor correct te belichten moet het beeld wat uit een objectief komt een groter oppervlak vullen ten opzichte van een APS-C sensor. De cropfactor is ca. 1,5 (Nikon) of 1,6 (Canon) en is dus camera merk en type afhankelijk.

Vaak is de lensvatting van een camera voor een full frame of een APS-C sensor gelijk. Dat betekent dat een Full Frame Objectief op een APS-C vatting past en omgekeerd.

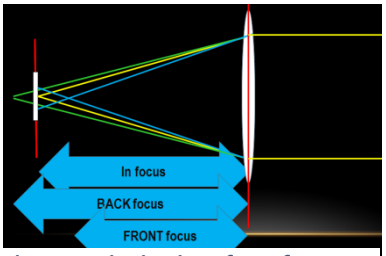
LET OP. Het past wel maar werkt niet altijd. Bij een APS-C objectief kan de achterste lens in het camera huis schuiven. Dit kan het opklappen van de grote spiegel van een full frame camera tegenhouden en mogelijk schade veroorzaken.

Bij alle objectieven kan gesteld worden dat de minste afwijkingen te vinden zijn in het midden van het geproduceerde beeld. Als een Full Frame objectief dus op een APS-C body wordt gezet, zal doorgaans het geproduceerde beeld beter zijn.

Dit is een overweging bij de aankoop van een goede lens. Nadeel is dat full frame objectieven meestal meer glas hebben en dus zwaarder zijn. Meer glas betekent ook meer werk en materiaal en dat geeft weer een hogere prijs.

Focus fouten

Om een scherpe foto te krijgen moet een lens in focus zijn. Dat betekent dat bij een inval van een evenwijdige lichtstraal, het brandpunt precies op de sensor valt. Door fouten in het objectief of in het fototoestel is het mogelijk dat het brandpunt achter (back focus) of voor (front focus) de sensor ligt. Alle informatie inclusief wat je ziet in de zoeker wijst er op dat de foto scherp is op het punt waarop je scherp gesteld hebt Bij controle blijkt dat de werkelijke afbeelding op een ander punt scherp is. Of je lens in focus is of niet kan gecontroleerd worden op verschillende manieren. Gewoon goed kijken bij het maken van een foto is een mogelijkheid. Wil je het precies weten gebruik je de (gratis) Focus Test Chart van Tim Jackson of Jeffrey Friedl (zie figuur 12). Een alternatief is de Spyder Lens Cal. Deze kost ca. € 65,00 en is veel professioneler.



Figuur 12: in, back en front focus

Figuur 13: Fragment van focus test chart

Figuur 11: Spyder Lens Cal

Een focus fout in een objectief kan op verschillende manieren gecorrigeerd worden. Vaak is het mogelijk om het objectief te laten corrigeren door de maker. Dit duurt doorgaans een week. Bij nieuwe lenzen is dit meestal gratis maar bij een ouder objectief moet er voor betaald worden.

Als je voor een tweedehands lens gaat kijken, moet je dit in elk geval goed controleren. Als je al meteen ziet dat de lens niet in focus is, kun je misschien afdingen op de prijs.

Een andere mogelijkheid om te corrigeren voor lensfouten moet gezocht worden in de camera. Dit is niet altijd mogelijk.

Als de focus fout lens onafhankelijk lijkt te zijn, zit de afwijking in de camera. In dat geval kun je in het correctie menu opnemen dat alle objectieven een gelijke correctie moeten krijgen.

Figuur 14: Focus correctie in Canon

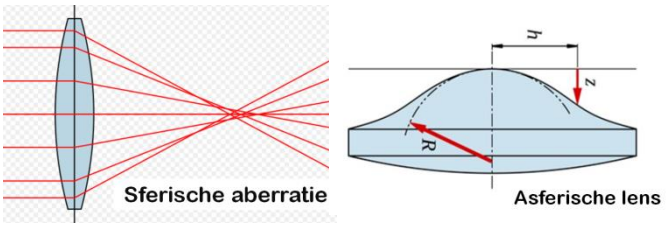
Bij een objectief afhankelijke correctie, is die specifieke keuze natuurlijk het beste. Contoleer altijd of de gemaakte correctie het juiste resultaat geeft. Doorgaans is deze correctie een eenmalige actie (per body).

Aberratie

Bij de inleiding is de werking van een prisma gebruikt om te laten zien dat er verstrooiing van ligt op treedt. Dit heet aberratie. In een lens zijn 2 soorten van aberratie te onderscheiden namelijk sferische aberratie en chromatische aberratie.

Sferische aberratie

Sferische aberratie ontstaat door het gebruikte materiaal, homogeniteit van kristallen in het gebruikte glas en de afwerking van de lens. Het gevolg van kleine foutjes en oneffenheden kan optisch enorm zijn. Het licht buigt anders af dan wat bedoeld was.

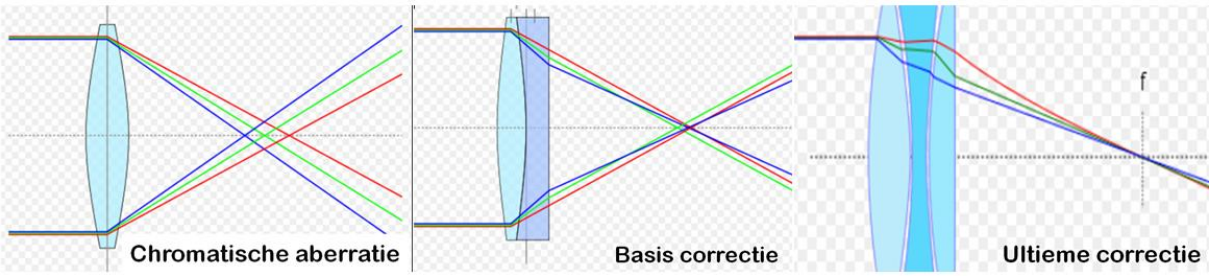


Figuur 15:

Een oplossing hiervoor is het gebruik van een zogenaamde asferische lens. Dit brengt natuurlijk ook wel weer andere problemen met zich mee. Deze lenzen zijn complexer en dus ook moeilijker te corrigeren voor andere fouten.

Chromatische aberratie

Chroma is het Latijnse woord voor kleur. Chromatische aberratie is dus de verstrooiing van kleuren. Als we de lens weer beschouwen als een opstapeling van prisma's, is de chromatische aberratie gemakkelijk uit te leggen. Ook hier zal aan de randen van een lens de aberratie groter zijn dan in het midden. Immers in het midden van een bolle lens benadert vlak glas en bij recht opvallend licht, vindt er dan geen breking en dus geen verstrooiing plaats.



Figuur 16

Correcties voor chromatische aberratie worden doorgaans gedaan door het toepassen van meerdere lenzen van verschillende materialen. In een aantal gevallen wordt er ruimte gecreëerd tussen 2 lenzen om een effect te vergroten.

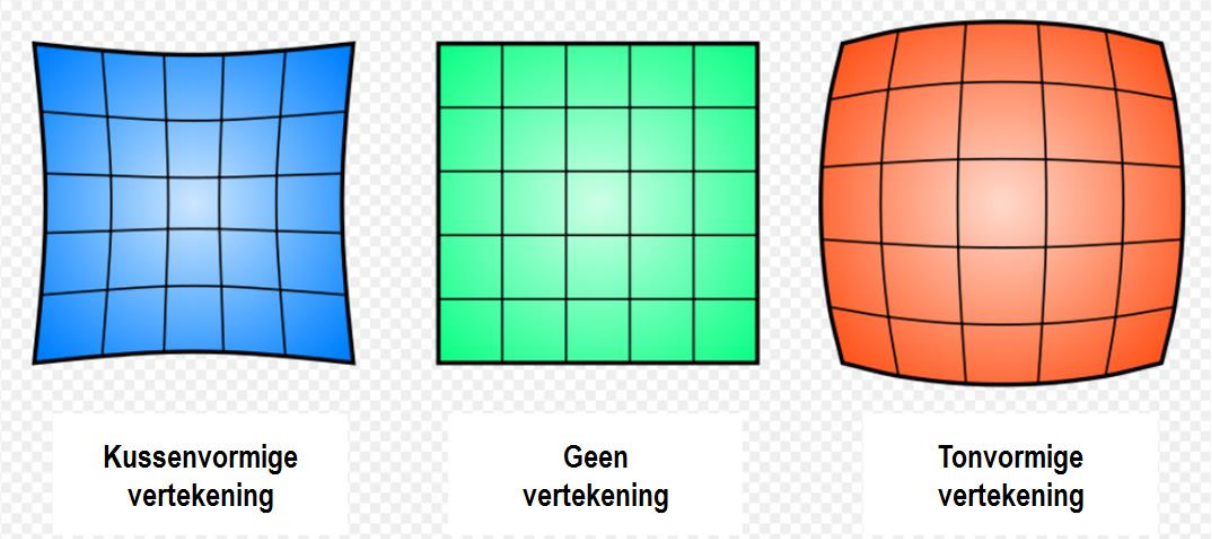
Niet alle chromatische afwijkingen in een foto zijn te danken aan chromatische aberratie.

Figuur 17

De 2 afbeeldingen in figuur 17 tonen 2 verschillende vormen van kleuruitvloeiing. Het linker deel van de afbeelding is chromatische aberratie. Het is duidelijk te zien dat rechts een paarse uitvloeiing te zien is en links de rode uitvloeiing. Bij de rechterafbeelding is alleen een paarse uitvloeiing te zien bij de lichte delen. Deze uitvloeiing heet blooming of purple fringe en is meestal geen gevolg van een fout in het objectief. De sensor krijgt op die punten zoveel licht te verwerken dat de pixels als het ware overlopen. Het licht vult ook naastgelegen pixels. Het is dus het gevolg van plaatselijke overbelichting.

Vertekening / distortie

Een lens projecteert een beeld op de sensor. Omdat een lens groter is dan de sensor, is de afstand van de rand van de lens tot aan de sensor tot de sensor ook groter. Bij meerdere lenzen in een objectief wordt het alleen maar lastiger om dat goed te doen zeker als de brandpuntsafstand (zoomlens) ook nog variabel is.
Het gevolg van onder andere deze afwijking is een vertekening van het beeld. Dit is distortie.

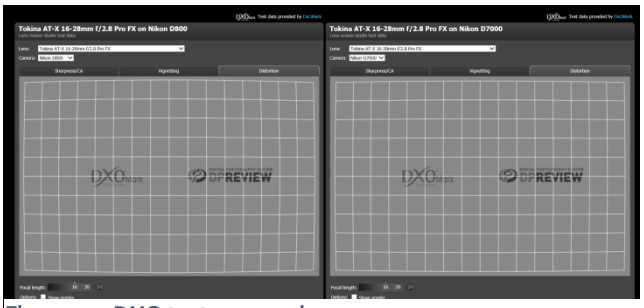


Figuur 18

Vertekening is niet altijd even goed te zien op een foto. Vooral aan de randen is distortie goed te zien. Er zijn objectieven waar distortie onvermijdelijk is. De fish eye lenzen zijn daar een voorbeeld van.
De mate van distortie is relatief gemakkelijk zelf vast te stellen. Maak een foto van ruitjes papier en kijk of de lijnen nog recht zijn of dat deze krommen.
De mate waarin een objectief afwijkt, kan worden vastgesteld. De organisatie DXO Mark beoordeelt objectieven en geeft ratings aan de kwaliteit daarvan. Via een gestandaardiseerd meetprogramma wordt door DXO vastgesteld en vastgelegd hoeveel een objectief afwijkt. Diverse review sites maken gebruik van de DXO gegevens. Wil je een nieuw objectief kopen, dan is het zeer de moeite waard om zeker eens te kijken op www.dpreview.com .
Figuur 19 geeft een voorbeeld van de vervorming bij gebruik van een zoomlens.

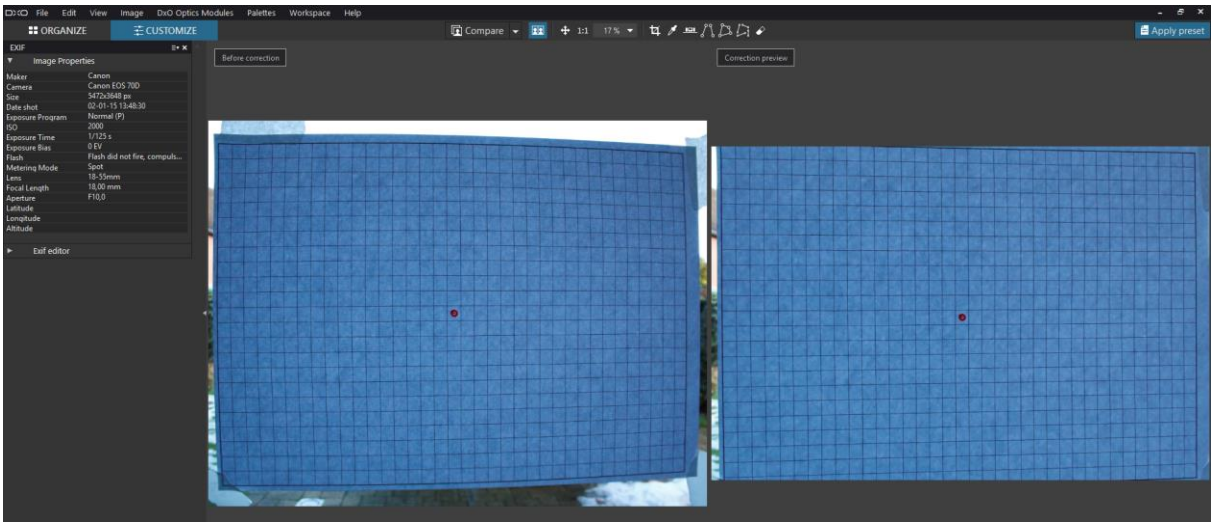
Via bijvoorbeeld de DXO gegevens is het mogelijk om foto's in diverse programma's te corrigeren voor die afwijkingen. Dat kan ook met de software van DXO die zelfstandig of als plug-in in photoshop elements of photoshop CS6.

Figuur 20 is een voorbeeld van een praktijktoets. Via een eenvoudig zelfgemaakt rasterpapier geplakt op een raam is een foto gemaakt met een standaard kitlens van Canon. Aangezien de informatie van het gebruikte objectief in de EXIF data staat, kan de DXO software zelf de juiste correcties doorvoeren. Is de data van het gebruikte objectief niet voorhanden, dan wordt dat door de software automatisch opgehaald (mits beschikbaar). Figuur 20 geeft als voorbeeld de zelfgemaakte foto weer. Links voor en rechts na de correctie door DXO.



Figuur 19: DXO test vervorming

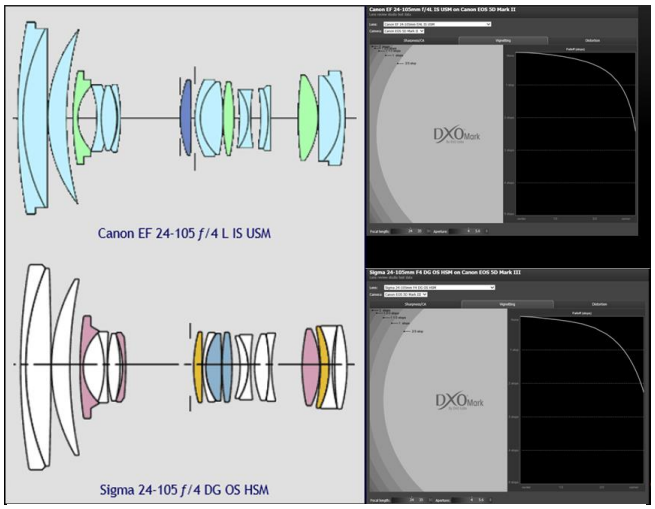
Duidelijk is dat een groot deel van de bolvormige vertekening is gecorrigeerd. Wel wil ik opmerken dat er een behoorlijk deel van de foto afvalt. Wil je ernstige vertekening corrigeren, dan moet er rekening worden gehouden met een redelijk groot verlies door crop.



Figuur 20: Voorbeeld resultaat correctie voor lensfout in DXO

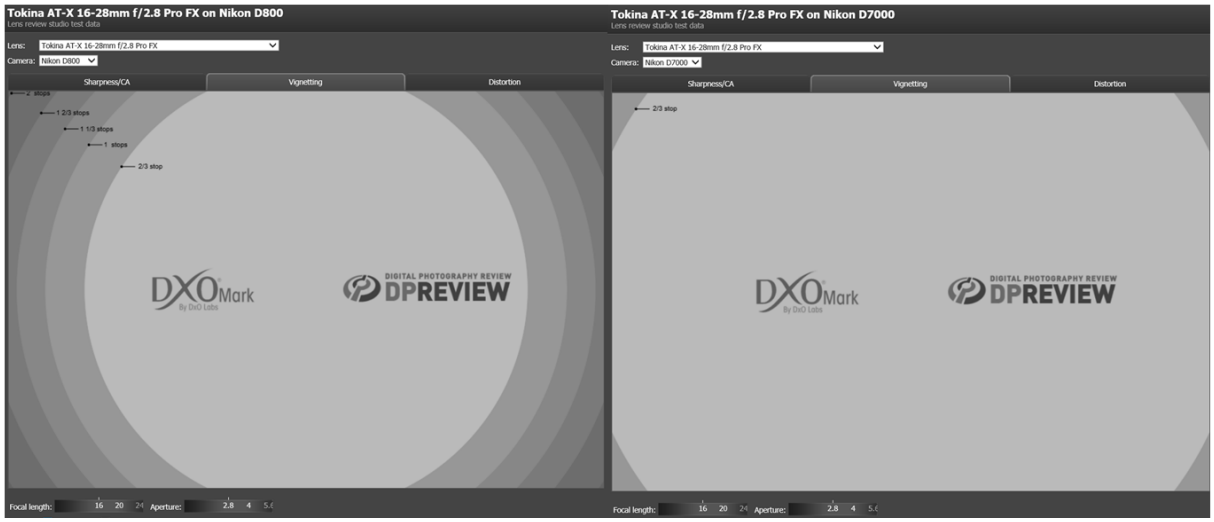
Vignetering

Vignetering ontstaat door het verlies aan licht vooral in de hoeken van een foto. Ook hier geldt weer dat het verlies aan licht aan de randen van de lenze groter is dan in het midden. Vignetering zal dus meer in de hoeken voorkomen dan in het midden.
Een oplichtende vignetering is ook mogelijk maar niet bij de moderne lens. Vignetering is gemakkelijk te zien. De voorbeeldfoto gemaakt met de Holga



Figuur 21: Vignetering. vergelijking 2 gelijksoortige zoomlenzen

lens (zie figuur 1) geeft nadrukkelijk vignetering te zien.
Die lens heeft die fout met opzet en elke Holga lens heeft een andere mate van afwijking.
Vignetering is ook weer afhankelijk van het objectief. Bij een zoomobjectief is de mate van vignetering bij de kleinere brandpuntsafstanden meestal het grootst. De vignetering wordt uitgedrukt in stops. Ook hier heeft DXO Mark een goede meet en registratie methode.
Figuur 21 geeft een vergelijking weer tussen 2 gelijksoortige zoomlenzen.
Omdat vignetering gemakkelijker te herkennen zal het bij een ernstige vignetering eerder opvallen. Onderstaand figuur 22 toont de vignetering van een Tokina objectief op een full frame resp. een APS-C body. Bij een gelijke brandpuntsafstand is het verschil erg groot.

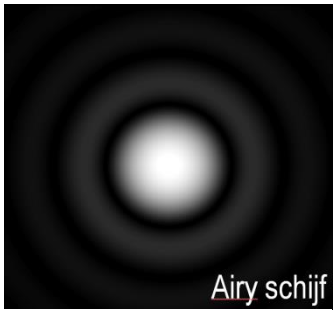


Figuur 22: Vignetering. Vergelijk Full frame met APS-C camera

We lijken dus objectieven te zoeken die bijna geen fouten hebben. Vervolgens gaan we de digitale afbeeldingen bewerken in software om fouten zoals vertekeningen of vignetering toe te voegen.
Nick software of andere toepassingen verzorgen een creatieve en zelf in te stellen vignetering.

Figuur 23: Opzettelijk aangebrachte vignetering

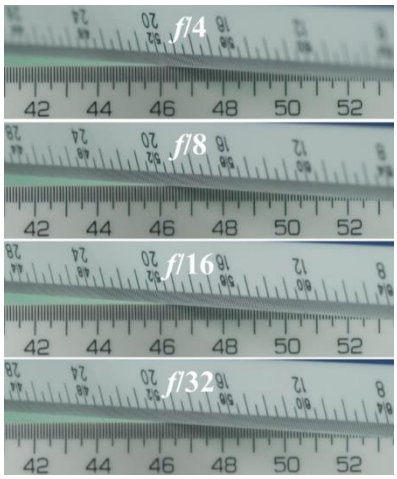
Diffractie



Figuur 24: Diffractie

Diffractie is geen feitelijke fout in een objectief. Het is meer een natuurkundig verschijnsel wat zich onder bepaalde omstandigheden openbaard.
We kennen licht als iets wat niet uit een materie bestaat. Gewichtloos, onvoelbaar het ruikt niet. Licht gaat altijd rechtdoor. Dat zien we aan een laserstraal.
Licht kun je afbuigen in bijvoorbeeld een lens of een prisma als gevolg van de brekingsindex. Licht is echter niet ongevoelig voor vaste materie. Licht kan een beetje afbuigen als het langs een ondoordringbaar object moet. Hoe kleiner de spleet des te groter het effect van die afbuiging. Een voorbeeld van dit effect kan gezien worden via de link https://www.edumedia-sciences.com/nl/a855-diffractie.

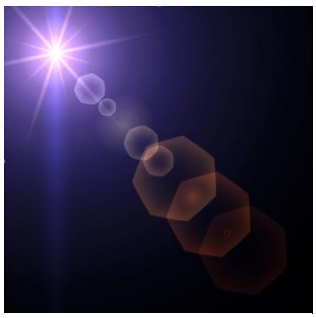
Denk bij een objectief aan het diafragma. Bij een grote lensopening (klein diafragma bijv. *f:2.8*) zal er weinig diffractie zijn. Wordt de lensopening kleiner, zal er meer diffractie optreden.
Zoals te zien in de Airy schijf ontstaat als gevolg van diffractie een soort golfbeweging in de geprojecteerde lichtbundel. Bij een groot diafragma (dus kleine lensopening) is dat effect veel sterker dan bij een klein diafragma (grote lensopening).



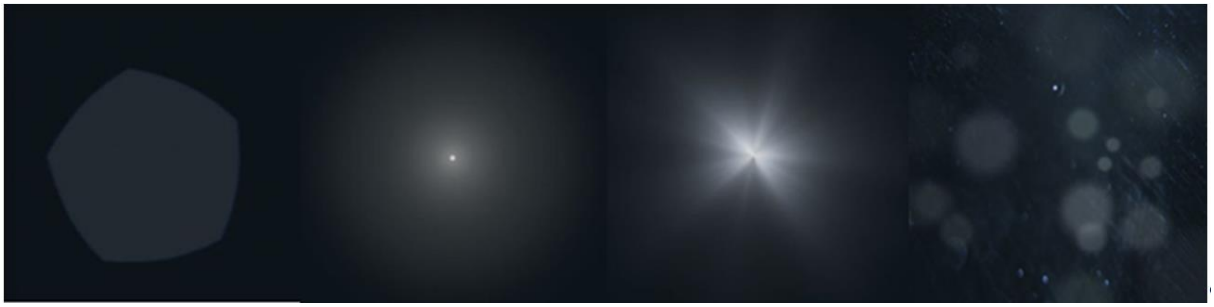
Figuur 25: Onscherpte door diffractie.

Aan de andere kant geen een groot diafragma (kleine opening) een grotere scherptediepte. Een grote scherptediepte willen we graag om een groter gebied scherp te krijgen bij bijvoorbeeld macrofotografie.
Op een gegeven moment zal als gevolg van de diffractie de scherptediepte nog wel toenemen maar de totale scherpte afnemen.
In figuur 25 is dat te zien. Deze foto is gemaakt door 2 linialen te fotograferen. De onderste liniaal (cm schaal) staat parallel aan de camera. De bovenste liniaal (inch schaal) staat onder een hoek van ongeveer 45graden op de onderste liniaal.
We zien dat bij een toenemend diafragma getal de scherpte diepte toeneemt. Dat is telkens de bovenste liniaal. Echter, bij een diafragma getal van 16 zien we in dit voorbeeld dat de scherpte bij de onderste liniaal afneemt. Dit terwijl alle andere omstandigheden gelijk zijn. in de bovenste liniaal zien we dat er meer onscherpte ontstaat.
Met dit effect is zeker rekening te houden bij alle vormen van fotografie. Bij macro en close-up zal dit echter wel beter zichtbaar zijn.
Een stelregel is dat diffractie op gaat treden bij 0,25x de brandpuntsafstand waarbij de opname wordt gemaakt. Dus bij een 50mm objectief zal diffractie bij een diafragma van ca. *f:12* op gaan treden. Het is dus zeer goed mogelijk dat figuur 25 met een 50mm lens gemaakt is.
Diffractie is te zien op een foto doordat de onscherpte onafhankelijk is van het scherpstelpunt en eventuele bewegingsonscherpte (meestal in 1 richting onscherp).
Om de gevolgen van diffractie te voorkomen, verdient het aanbeveling om als maximaal diafragmagetal de brandpuntsafstand (F) gedeeld door 4 aan te houden. $f_{max}=F/4$.
Ga je daar overheen, werk dan met kortere sluitertijden, lagere ISO waarden of het gebruik van een ND-filter.
Heb je meer scherptediepte nodig dan haalbaar is, gebruik dan focus stacking (zie presentatie macrofotografie).

Flare = reflectie
Zoals we in figuur 2 gezien hebben, treedt er reflectie op. In een objectief zien we reflecties meestal als een flare. Een “afdruk” van het diafragma of een vervorming daarvan. Soms is dat een enkele reflectie, soms is het een hele ris.
Er zijn ook andere vormen van reflecties in lenzen die zichtbaar kunnen zijn in een foto. Dat worden vaak ghosts genoemd.


Figuur 26: Flare

In alle gevallen veroorzaakt de interne reflectie en weerkaatsing van licht in een objectief voor de afwijking in het uiteindelijke beeld.



Figuur 27: Verschillende ghosts. Van links naar rechts: diafragma, verstrooiing veroorzaakt door reflectie, reflectie door punt lichtbron, reflecties door een vieze lens (stof, druppels).

In figuur 27 is een aantal ghosts te zien. De meeste zullen redelijk bekend voorkomen. Reflecties in lenzen kunnen ook andere effecten geven zoals halo's rond hoofden
Figuur 28 toont zo een halo. Deze ghost kan een extra dramatisch effect geven of zoals in dit voorbeeld een beeldelement versterken.

Figuur 28: Reflectie uit zich in een halo.

De objectieven uit figuur 9 zijn gevonden in patenten die te maken hebben met reductie van reflectie in die objectieven. Dat is deels gekoppeld aan de soort coating op de lenzen. De anti reflectie coating werkt meestal het beste op een bepaald golflengte gebied.

Figuur 29: Verminderen van kans op flare door zonnekap.

Aan flare kun je achteraf niet veel meer repareren. Je kunt proberen om het te voorkomen. Daarbij is de keuze van je positie ten opzichte van een sterke lichtbron erg bepalend.
Immers als er geen fel licht in je lens valt. Zal er ook geen sterke reflectie ontstaan. Een andere methode om flare te voorkomen is het gebruik van een zonnekap. De kans dat er dan strooilicht ontstaat door invallend licht, wordt op die manier verkleind. Over de vorm, de lengte van de zonnekap zijn veel theorieën en meningen. Over de kleur is iedereen het wel eens: zwart!
Een zonnekap kan niet zomaar elke lengte hebben. Te kort en het effect is nihil maar te lang en de zonnekap is te zien op de foto.

Nawoord

Als lid van de fotoclub streven we vooral mooie foto's na. Wat zijn mooie foto's en wat zijn perfecte foto's? Zijn dat foto's zonder enige fout of heeft een afwijking juist iets toe te voegen?

Als beginnend fotograaf ben je blij met elke mooie plaat. Vertekening, chromatische aberratie of blooming zul je misschien niet opmerken. Pas als je het gaat zien, ga je je er aan ergeren. Je wordt steeds kritischer op je eigen werk.

Ergens komt het moment dat je vind dat je kitlens niet meer aan je eisen voldoet. Je gaat op zoek naar objectieven die beter aansluiten bij jouw wensen. Deze uitleg helpt daar misschien bij.

Ga steeds na wat jouw eigen doel is in de fotografie. Ga op zoek naar het objectief wat je zou willen hebben. Ga pas daarna kijken wat je uit wil geven.

Goede objectieven zijn duur. Erg duur. Als je een goed objectief hebt, heb je die in principe voor het leven. Een goed objectief verslijt niet tenzij je het mishandelt. Pas altijd op met nattigheid, stof, zand enz. Pas ook op voor beschadiging van de voorste lens en ook van de coating daarop.

Vaak kun je objectieven ook tweedehands kopen. Dat is vaak een stuk goedkoper. Onthoud dat goede lenzen lang meegaan. Bij de koop van een tweedehands lens zijn een aantal van de hiervoor opgenoemde punten gemakkelijk te controleren.

Natuurlijk is je zelf inlezen belangrijk. Reviews, testen, referenties en gewoon eens rondvragen zijn belangrijk. Ga in elk geval niet over 1 nacht ijs. Wil je echt een top of the bill objectief kopen en je twijfelt, ga dan eens experimenteren met een gehuurd of een geleend objectief.

Veel succes

Rico

Bronvermelding

http://www.zeiss.com/camera-lenses/en_de/industrial_lenses/large_image_format_lenses.html

http://www.finepix-x100.com/en/x100/prime-fujinon-lens

http://s152.photobucket.com/user/July_bucket_photo/media/Prisma.gif.html

Patent van Nikon US20120050872

Patent van Canon US5268790

www.patexia.com

https://www.google.nl/?tbm=pts&gws_rd=ssl#q=canon+zoomlens&tbm=pts&start=10

https://www.youtube.com/watch?v=ovxtgj4SsiI

http://www.efoto.lt/files/focus21.pdf

http://regex.info/blog/photo-tech/focus-chart

http://spyder.datacolor.com/portfolio-view/spyderlenscal/

https://www.edumedia-sciences.com/nl/a855-diffractie

http://www.rags-int-inc.com/PhotoTechStuff/DoF/

http://resources.mpi-inf.mpg.de/lensflareRendering/

en nog veel meer.

Alles wat op internet is waar.

Tot het tegendeel is bewezen.

.