

Het collimeren van een Newton telescoop

door: Nils Olof Carlin
vertaling: Jan van Gastel

Wat is collimeren eigenlijk?

Het collimeren van een telescoop is het met elkaar in lijn brengen van de optische componenten (lensen, spiegels, prisma's oculairen) Dit moet zeer accuraat gebeuren anders krijg je een slechter beeld dan mogelijk is met de betreffende telescoop. Alle soorten telescopen: Newtons, Schmidt-Cassegrians, refractors etc. moeten goed gecollimeerd worden. Ze zijn echter (zeer) verschillend van bouw en hebben verschillende (typen) optische componenten. In dit artikel gaat het alleen om de Newton telescoop.

Newton? Mijn telescoop is een Dobson telescoop!

Prima! Een Dobson is een Newton telescoop met een speciaal soort montering. Alleen die montering onderscheidt hem van andere Newton telescopen. Wat het collimeren betreft maakt het geen verschil.

En als de telescoop al in de fabriek is gecollimeerd?

In de meeste gevallen zal hij dan toch (regelmatig) gecollimeerd moeten worden, omdat: - de spiegel door de manier waarop die is geplaatst (in een verstelbare cel) mogelijk iets kan bewegen in zijn cel, of de cel zelf iets van instelling kan wijzigen op den duur.

- de stand van de vangspiegel kan wijzigen als de bevestigingsbout(en) of de collimatiebouten wat los raken.
- de grotere Newton telescopen vaak van het truss-type zijn en steeds voor het waarnemen in elkaar moeten worden gezet. Een kleine afwijking ten opzichte van hoe dat de keer ervoor gebeurde maakt collimatie noodzakelijk.

Als collimeren dan regelmatig nodig is, waarom zou je dan een Newton aanschaffen?

Er kunnen natuurlijk goede redenen zijn om een ander type telescoop aan te schaffen. Maar een Newton telescoop is een zeer goede telescoop als hij goed is gecollimeerd: net zo goed en soms zelf beter dan een ander soort telescoop met dezelfde maat objectief. En vaak een stuk goedkoper. Vergelijk het met een gitaar die je steeds moet stemmen: Of zou je die om die reden omruilen voor een piano?

Newtons hebben vaak een slechte reputatie, juist omdat ze (heel) slecht gecollimeerd zijn. Vaak zien de eigenaars het belang van een echt goede collimatie niet in of collimeren met gebrekkige hulpmiddelen of helemaal zonder enig hulpmiddel. Slechte prestaties door een slechte spiegel zijn niet gemakkelijk en goedkoop te verhelpen. Goed collimeren echter kan iedereen leren, zodat de prestatie van de telescoop daar in elk geval niet onder hoeft te lijden.

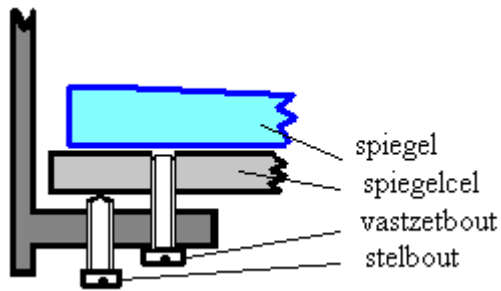
Het vanaf het begin tot het eind collimeren van een (nieuwe) telescoop vergt even tijd, maar als dat eenmaal is gebeurd, is het slechts een of enkele minuten werk om de collimatie aan het begin van elke waarneemavond even te checken en te preciseren.

Theorie: de optische onderdelen

De primaire spiegel of hoofdspiegel

Dit is de grote spiegel die zich onderin de telescoop buis bevindt, of, als het een truss telescoop is: onderin de spiegelbak. De spiegel heeft een zeer nauwkeurig geslepen paraboloïde oppervlakte. Die concentreert het licht dat op de spiegel valt in een scherp beeld, niet echt een punt, maar een zogenaamd "diffractie patroon": een klein verlicht cirkeltje met daaromheen kleine zwakke lichtringetjes. De hoofdspiegel zit in een meer of minder ingewikkeld geconstrueerde "spiegelcel", die gewoonlijk rust op drie bouten waarmee de spiegel enigszins gekanteld kan worden (je hoeft maar aan twee van de drie te draaien, de derde kan met rust worden gelaten). Soms heeft de cel ook nog drie extra bouten om de zaak vast te zetten. Het ziet er dan uit als

hieronder.



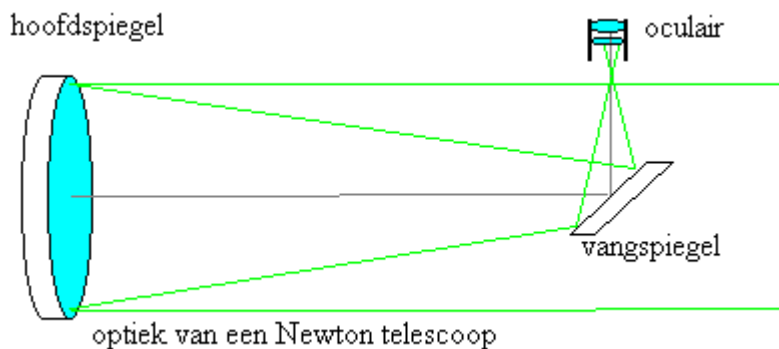
De secundaire spiegel of vangspiegel

Dit is een kleine spiegel met een elliptisch gevormd, vlak oppervlak. De afmeting wordt benoemd met de lengte van de korte as van de ellips (de lengte van de lange as is 1.414 maal de korte as). De vangspiegel is bevestigd op de vangspiegelhouder, die met de "spider" aan de telescoopbuis is bevestigd. De vangspiegel staat onder een hoek van 45 graden ten opzichte van de hoofdspiegel en kaatst het licht van de hoofdspiegel naar het oculair. De vangspiegelhouder is afstelbaar: hij kan worden geroteerd en gekanteld en in de richting van en naar de hoofdspiegel worden verplaatst.

Het oculair

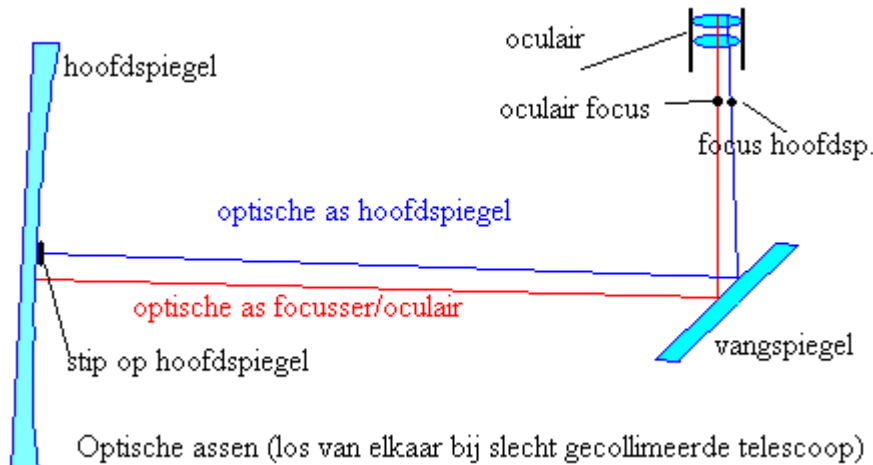
Het oculair is een tamelijk ingewikkeld "vergrootglas", dat wordt gebruikt om naar het object te kijken waarop de telescoop wordt gericht. Het heeft een bepaalde brandpuntsafstand en met oculairs van verschillende brandpuntsafstand kunnen verschillende vergrotingen worden bereikt met dezelfde telescoop. Het oculair wordt in de focusseerinrichting geplaatst. Met die focusseerinrichting kan het beeld worden scherp gesteld.

Deze optische componenten worden door middel van een buis of, in het geval van een truss telescoop door een spiegelbak (voor de hoofdspiegel), een vangspiegelkooi (voor de vangspiegel) en een achthal buizen (voor de juiste afstand tussen spiegelbak en vangspiegelkooi) mechanisch ten opzichte van elkaar uitgelijnd. De buis of de trusscombinatie staat in of op een montering zodat de zaak op het gewenste object kan worden gericht. Schematisch ziet een Newton er zo uit:



Theorie: de optische assen

De Newton telescoop kent twee optische assen die goed op elkaar moeten zijn afgesteld wil de telescoop goed presteren: de optische as van de hoofdspiegel en de optische as van het oculair.



De optische as van de hoofdspiegel

De optische as van de hoofdspiegel staat loodrecht op het oppervlakte van de hoofdspiegel, op het optisch centrum. Gewoonlijk valt dat samen met het fysieke centrum. Daarom stellen we dat uit praktisch oogpunt gelijk. Om goed te kunnen collimeren is dit centrum vaak gemerkt met een stip van verf of tape (later meer hierover). Het licht van een ster in de preciese richting van de spiegel zal worden gereflecteerd en worden samengebundeld tot een scherp beeld in het brandpunt op de optische as. De afstand langs de optische as, gemeten van het centrum van de spiegel tot het brandpunt, heet de brandpuntsafstand. Sterren zullen tot scherpe beelden worden gebundeld in het brandvlak (focal plane), op of vlakbij het brandpunt. Het brandvlak kan worden opgevat als een deel van een bol met een straal gelijk aan de brandpuntsafstand.

De optische as van het oculair

De optische as van het oculair wordt gewoonlijk opgevat als de as van de focusseerinrichting, waar het oculair in gaat. De vangspiegel kaatst het licht dat van de hoofdspiegel komt naar de zijkant van de telescoop, waar het beeld wordt gevormd dat met behulp van het oculair kan worden waargenomen. De vangspiegel buigt de optische as van de hoofdspiegel dus af. De vangspiegel heeft *wel* een optisch centrum, maar *geen* optische as waar we rekening mee hoeven te houden.

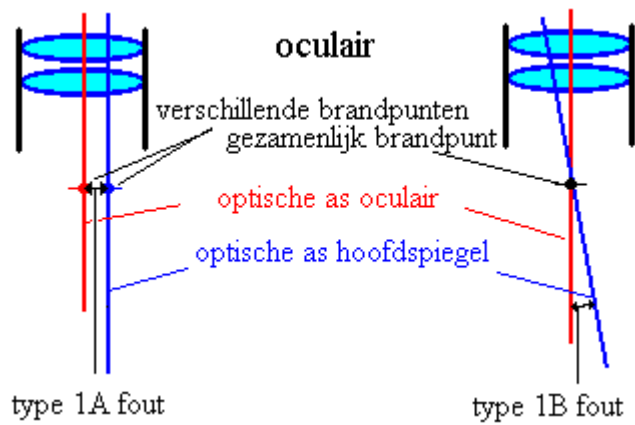
Collimeren vindt plaats door de positie en stand van de vangspiegel en de stand van de hoofdspiegel te regelen. De *belangrijkste eis* die daarbij gerealiseerd moet worden is:

1. De beide optische assen (van hoofdspiegel en oculair) moeten samenvallen zodat ze een en dezelfde as vormen. Om een goede analyse te kunnen maken is het nodig deze eis in twee delen te splitsen, die leiden tot onderscheiden foutsoorten als er niet aan tegemoet wordt gekomen (zie plaatje hieronder):
 - 1A. De optische assen moeten elkaar op gezamenlijke focuspunt snijden.
 - 1B. De optische assen moeten aan elkaar evenwijdig zijn.

Daarnaast moeten ook de volgende eisen worden gerealiseerd:

2. De gezamenlijke optische as moet de vangspiegel raken in diens optisch centrum.
3. De gezamenlijke optische as moet door de vangspiegel onder een hoek van 90 graden worden afgebogen.
4. De gezamenlijke optische as (tussen hoofd- en vangspiegel) moet zich in het centrum van de telescoopbuis bevinden.

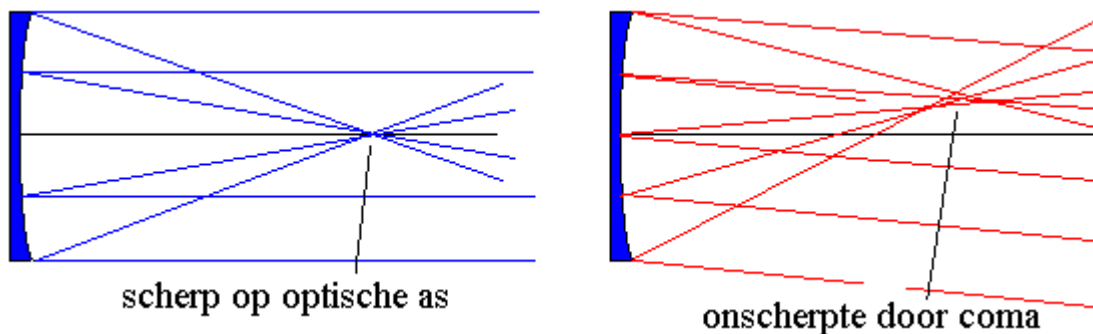
Van deze eisen aan hetgeen collimatie moet bewerkstelligen zijn *foutentypen* afgeleid. Hierover gaan de volgende paragrafen. De belangrijkste fout is die van **type 1A**. Meestal wordt tussen type 1A en 1B geen onderscheid gemaakt, terwijl dat zeer belangrijk is:



Theorie: collimatiefouten

Type 1A fout: de optische assen liggen bij het brandpunt met afstand D van elkaar verwijderd

Het brandpunt van het oculair ligt wel in het brandvlak van de hoofdspiegel, maar op afstand D van het brandpunt van de hoofdspiegel. Dit is **de cruciale fout** voor visueel waarnemen. Het beeld van een paraboloidespiegel kan een perfect beeld benaderen vlakbij het brandpunt, maar lijdt aan toenemend coma naarmate het beeld daar verder van verwijderd wordt gevormd. Coma is een optische afwijking die contrastverlies en verlies van resolutie veroorzaakt. Het is ongeveer evenredig aan de afstand vanaf het brandpunt en omgekeerd evenredig aan de derde macht van de f-ratio (brandpuntsafstand hoofdspiegel gedeeld door diameter hoofdspiegel).



Om het gevolg hiervan te kunnen analyseren, moeten we ook rekening houden met het oculair. Elk goed oculair geeft een heel scherp beeld in focus- in en nabij het centrum van het beeldveld. Naar de rand toe geven alle oculairen meer of minder onscherpte, meest als gevolg van astigmatisme van het oculair. Dit ligt dus niet aan de spiegel, maar is beter zichtbaar bij een spiegel met kleine dan met relatief grote f/waarde. Voor de meeste oculairen draagt de coma van de hoofdspiegel in veel mindere mate bij aan de (off-axis) onscherpte dan het oculair astigmatisme. Als echter het brandpunt van de hoofdspiegel in het brandvlak *naast* het brandpunt staat van het oculair, zal er ook *in het centrum van het beeldveld* coma optreden, waardoor het beeld minder scherp is dan mogelijk zou zijn, speciaal in het geval van hoge vergrotingen die vaak worden gebruikt om subtiele details op planeten waar te nemen.

Onder ideale omstandigheden kan de maximale afstand van het brandpunt waar coma nog net het diffractiepatroon van een ster niet verstoord als volgt worden berekend (Sidgwick): **$0.0036 \cdot f^3$ millimeter** ($f = f$ /waarde) Op een afstand van **$0.0088 \cdot f^3$** bereikt de verstoring een waarde van $1/4$ lambda (wavefront). Dit komt dan bij andere verstoringen (Sinott) die eventueel al aanwezig zijn (bijvoorbeeld sferische abberatie). Het is dus niet goed om in de praktijk van deze $1/4$ lambda uit te gaan, omdat het beeld dan zeker zal tegenvallen. Voor hoge resolutie waarnemingen, bijvoorbeeld planeten, ligt de tolerantie dus ergens tussen deze twee waarden (zie onderstaande tabel) en is het handig er naar te streven de strenge tolerantie zo goed mogelijk te benaderen. Voor wide-field fotografie en het waarnemen met lage vergrotingen is de tolerantie iets groter. De diameter van de spiegel speelt in de berekeningen geen rol: een grote spiegel heeft dus niet meer tolerantie.

Opvallend in de tabel is, dat het collimeren van telescopen met lage f/waarde *veel* kritischer is dan van telescopen met hoge f/waarde. Dat is de prijs die betaald moet worden voor een korte, wide field telescoop. Om de toleranties optimaal te bereiken tijdens het collimatatieproces is het belangrijk om de juiste instrumenten te gebruiken en de juiste volgorde van het collimeren van de verschillende optische componenten aan te houden. Aan die instrumenten en aan de juiste volgorde wordt verderop in dit artikel uitvoerig aandacht besteed.

Focal ratio	Stricte tolerantie	¼ wave tolerantie
f/4	0.22 mm	0.55 mm
f/5	0.45 mm	1.1 mm
f/6.4	0.90 mm	2.2 mm
f/8	1.8 mm	4.4 mm
f/10	3.6 mm	8.8 mm

Als je een stip op de hoofdspiegel hebt die op afstand **D** ligt van het werkelijke optisch centrum en met behulp daarvan goed collimeert, is de type 1A fout de helft van die afstand: **D/2**. De toegestane fout in het juist centreren van de stip op de optische as is dus veel minder dan 2 maal de tolerantie.

Type 1B fout: de optische assen lopen niet parallel, maar vormen een hoek

Deze fout houdt in, dat het beeldveld van het oculair of van het vlak van de film of elektronische detectorm scheef staat ten opzichte van het beeldveld van de telescoop. Laten we er eens van uit gaan, dat de hoofdspiegel perfect is gecollimeerd in het centrum van het beeldveld, maar dat de as van de focuser het centrum van de hoofdspiegel mist met afstand d . Dit levert een scheefstand op van b/F (in radialen, vermenigvuldigd met 57.3 om naar graden om te rekenen), waar F staat voor de brandpuntsafstand. Op een punt a op afstand m vanaf het centrum van het beeldveld is de defocusing afstand d tussen de beide vlakken dm/F . De P-V defocus fout in golflengten is (volgens Suiter): $dm/(8Ff^2 \cdot \lambda)$ waar λ staat voor een golflengte van 550 nm. Voor omrekening naar RMS-error wordt dit gedeeld door wortel 12. Als deze fout niet groter is dan de onvermijdbare comafout, zal hij niet meer dan 10% bijdragen aan de totale fout aan het golffront, zelfs als we andere fouten zoals buiging van het beeldveld van hoofdspiegel en oculair en het oculair astigmatisme buiten beschouwing laten. Coma geeft een RMS-fout van $6.7m/f^3$, hetgeen leidt tot een tolerantie van $d=0.034D$, waar D staat voor de diameter van de hoofdspiegel (heel verrassend verdwijnen de brandpuntsafstand en de f -waarde uit de formule) oftewel ongeveer 1/30 deel van de doorsnee van de hoofdspiegel. Dat is gemakkelijk haalbaar.

Bij gebruik van comacorrectors in snelle telescopen daalt de coma tot 1/6 van de waarde zonder gebruik van zo'n comacorrector. In dat geval is de tolerantie dus maar 1/180 van de spiegeldoorsnee. Ook best te halen, maar er moet toch wat nauwkeuriger gewerkt worden. Met een laser zal dat gemakkelijker gaan dan met een kijkbuis.

Een type 1B-fout kan een type 1A-fout opleveren als het collimatiegereedschap ver van het beeldveld wordt gebruikt, omdat de twee assen elkaar dan buiten het beeldveld snijden in plaats van in het beeldveld samen te komen. Maar als men zich goed aan bovengenoemde toleranties houdt zal dit geen probleem zijn.

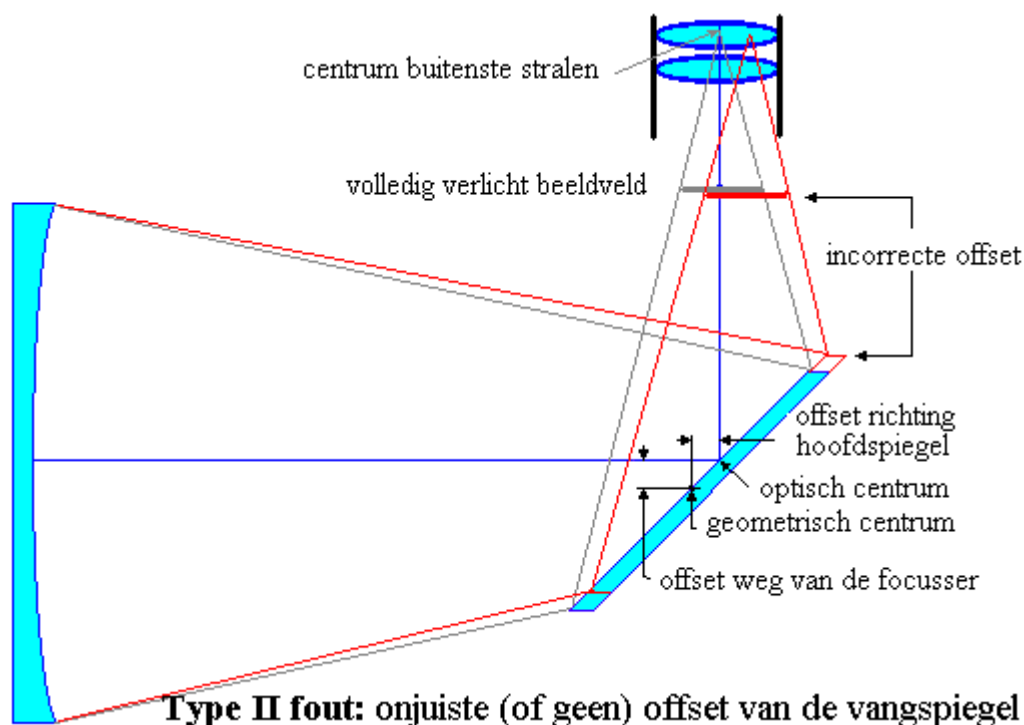
Zie voor het verschil tussen een type 1A en type 1B fout het plaatje in het hoofdstuk over optische assen hierboven.

Type 2 fout: de optische as raakt de vangspiegel op een punt buiten het optische centrum

De vangspiegel heeft een elliptisch gevormd oppervlak met een kleine tot grote as verhouding van 1: wortel 2, voor een afbuiging onder een hoek van 90 graden. Afhankelijk van de diameter zal een groter of kleiner deel van het beeldveld (field of view) voor 100% verlicht zijn. Dat betekent dat elk punt binnen het 100% verlichte beeldveld de gehele hoofdspiegel gereflecteerd zal zien in de vangspiegel. Daarbuiten is van toenemend lichtverlies sprake.

Gegeven de hoek van 45 graden ziet de ellips van de vangspiegel er cirkelvormig uit als je er naar kijkt vanaf een punt op de optische as. Maar: vanwege het perspectief is de cirkel die je ziet verplaatst (offset) ten opzichte van het centrum van de ellips, naar de rand het dichtst bij de focuserinrichting. Om optisch gezien gecentreerd te zijn moet de vangspiegel verplaatst worden in de richting **weg van de focuser** en **in de richting van** de hoofdspiegel. De gewenste verplaatsing kan berekend worden met een ingewikkelde formule, maar de formule **offset= korte as/(4*f/waarde)** is nauwkeurig genoeg voor praktische doeleinden (indien precies toegepast is het centrum volledig verlicht- met een groter volledig verlicht beeldveld dan alleen het centrum is de fout te verwaarlozen en zonder praktische consequenties). De afstand, gemeten langs het oppervlak van de vangspiegel, waarlangs deze verplaatst moet worden, is gelijk aan de verplaatsing "weg van de focuser", vermenigvuldigd met 1.414 (=wortel 2).

Voorbeeld: met een 33 mm vangspiegel (korte as) in een f/6 Newton telescoop is de offset 1.3 mm.



Een type 2 fout zal het volledig verlichte beeldveld verplaatsen ten opzichte van het brandpunt en een ongelijk lichtverlies opleveren naar de rand van het beeldveld toe, bij gebruik van een lage vergroting. De tolerantie zou niet meer moeten bedragen dan de straal van het volledig (100%) verlichte beeldveld om er zeker van te zijn dat het optisch centrum inderdaad volledig verlicht is. Maar, zeker voor telescopen met lage f/waarden is het lichtverlies naar de rand toe zeer geleidelijk en een verplaatsing (offset) van enkele millimeters heeft visueel geen enkel zichtbaar effect. Met geschikte hulpmiddelen is zonder veel moeite voldoende nauwkeurigheid te bereiken.

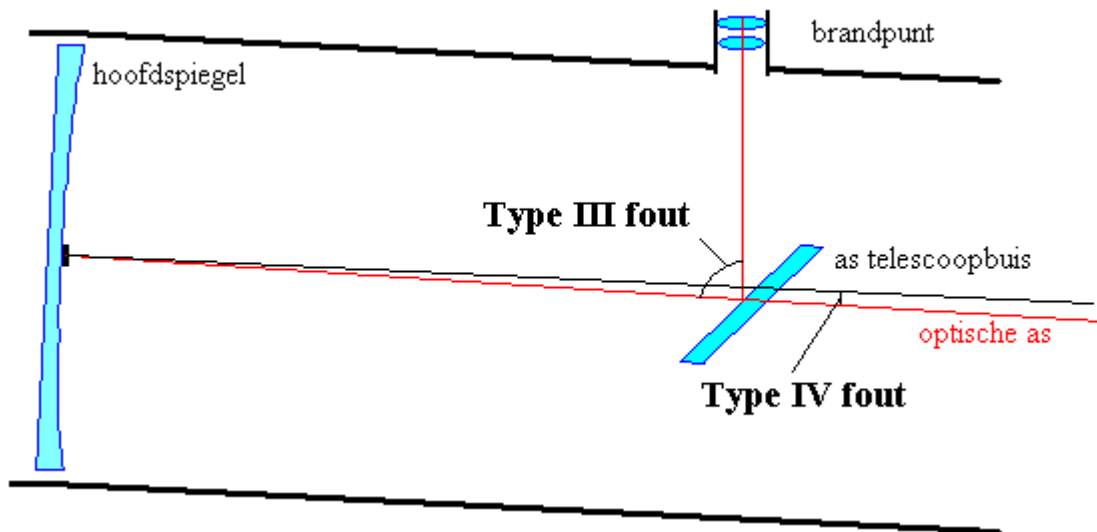
Voor wide-field fotografie moet als het goed is het gehele filmframe volledig verlicht worden. Dit kan

betekenen dat een vangspiegel van 30% (in diameter van de hoofdspiegel) noodzakelijk is. Voor visueel gebruik wordt algemeen uitgegaan van een vangspiegel van maximaal 20-25% van de diameter van de hoofdspiegel om ongewenste diffractie effecten tegen te gaan. Een kleiner volledig verlicht beeldveld (in vergelijking tot fotografisch gebruik) is beslist voldoende voor visueel gebruik, als in elk geval het brandpunt zelf maar volledig verlicht is. Als je je eigen telescoop construeert, ga dan uit van een "low profile focuser", om het oculair en het brandpunt zo dicht mogelijk bij elkaar te brengen. Een extreem kleine vangspiegel echter kan problemen met strooilicht geven (en extra baffeling nodig maken). Het is dus even zoeken naar een optimum.

De korte as van de vangspiegel of de grootte van het volledig verlicht beeldveld zijn als volgt te berekenen: als **D** de diameter van de hoofdspiegel is, **d** de kleine as van de vangspiegel, **F** de brandpuntsafstand, **b** de afstand van het optisch centrum van de vangspiegel naar het brandpunt en **x** de doorsnee van het volledig verlichte beeldveld dan is: $x = (Fd - Db) / (F - b)$ of $d = x + b(D - x) / F$.

Type 3 fout: de gecombineerde optische as wordt niet onder een hoek van 90 graden afgebogen

Standaard vangspiegels en vangspiegelhouders zijn geconstrueerd om de optische as onder 90 graden af te buigen. Gezien vanaf het brandpunt hoort een ellips er **als een cirkel** uit te zien. Een hoek van meer of minder dan 90 graden laat de vangspiegel er in het collimatieproces ellipisch in plaats van cirkelvormig uitzien en kan ook aanleiding geven tot vignettering (blokkeren van licht aan een of meer van de randen) door een gedeelte van de vangspiegelhouder. Als je gecollimeerd hebt en kijkt naar de reflectie van de vangspiegel, moet de vangspiegelhouder "on-axis" verschijnen en moet je de zijkant ervan niet kunnen zien. Als je dat wel kunt en hij lijkt gekanteld, moet je de focusseerinrichting wat bijstellen. Een type 3 fout zal geen andere dan de hier vermelde effecten (dus geen astigmatisme of coma) hebben, in tegenstelling tot hetgeen vaak wordt gedacht.



Type 4 fout: de optische as is niet gecentreerd in de telescoopbuis

Als de optische as ver uit het centrum van de telescoopbuis ligt kan er vignettering optreden bij de bovenkant van de buis (of vangspiegelkooi) en dit moet worden voorkomen. Het heeft echter geen optische effecten in de zin van vertekeningen of degradatie van het beeld op zich. Met bepaalde soorten monteringen kunnen problemen optreden omdat een off-axis fout van deze soort geen mooie cirkel zal beschrijven als de montering in declinatie wordt bewogen. Het kan ook problemen geven met het gebruiken van digital setting circles.

Praktijk: Het collimeren

Inleiding

Het op elkaar afstemmen of uitlijnen van de optische componenten moet worden gedaan in een volgorde die zo eenvoudig en geordend mogelijk is. Ideaal gesproken begin je aan de ene kant van de optische keten en ga je van de ene stap naar de andere, zonder terug te hoeven keren naar een vorige stap om iets opnieuw af te stellen dat je al in een eerdere fase hebt gedaan. Met "real life" telescopen is dat niet (altijd) mogelijk: de afstellingen beïnvloeden elkaar op verschillende manieren, afhankelijk van het preciese design. Zo is het bijvoorbeeld met de gebruikelijke vangspiegelmonteringen niet mogelijk om de stand van de vangspiegel te wijzigen zonder het optisch centrum ervan te verplaatsen.

Een praktische manier om te collimeren is de volgorde die hieronder wordt beschreven. Het kan ook in tegenovergestelde volgorde, maar dat is veel ingewikkelder. Het gaat in onderstaande beschrijving wel om een volledige collimatie, zoals nodig is in het geval de telescoop voor de eerste keer in elkaar wordt gezet. Al deze fasen hoeven in de meeste gevallen niet doorlopen te worden bij een bestaande en reeds eerder gecollimeerde telescoop die gereed moet worden gemaakt voor een nacht observeren. Hiervoor is stap 5 (en misschien stap 8) gewoonlijk voldoende.

Het gereedschap wordt op andere plaatsen in dit artikel beschreven (zie menu). De mogelijke fouten worden ook elders beschreven, namelijk in het theoriegedeelte.

1. Zet de focusser haaks op de buis of vangspiegelkooi

Als de focusseerinrichting op het zicht haaks op de telescoopbuis of de vangspiegelkooi staat, staat hij al redelijk goed. Als je zelf de telescoop bouwt kun je lijnrecht tegenover het centrum van de focusser een stip in de buis of vangspiegelkooi maken. Voordat de vangspiegel(houder) wordt geplaatst kan dan met behulp van een kijkbuis de focusseerinrichting haaks worden gezet. Hiervoor kan bijvoorbeeld een stuk buis gebruikt worden dat vanuit de focusseerinrichting tot (bijna) de andere kant van buis of vangspiegelkooi reikt. Ook een laser of een buisje met kruisdraden kan hiervoor gebruikt worden. Deze stap minimaliseert fout type 3.

2. Offset de vangspiegel

De vangspiegel hoort iets uit het midden van de buis te worden geplaatst, in de richting tegenover de focusser. Bereken de offset met de formule die bij de bespreking van de type 2 fout is gegeven en offset de vangspiegel. Er kan echter ook worden gewacht tot na stap 6. Als door de constructie van de spider en vangspiegelhouder de vangspiegel niet offset kan worden geplaatst is dat niet erg: het heeft geen ernstige gevolgen. Het offsetten van de vangspiegel minimaliseert de type 4 fout.

3. Centreer de vangspiegel in de buis

zoals gezien vanuit het centrum van de buitenste stralen. Dit is het punt waar de hoofdspiegel precies het oppervlak van de vangspiegel lijkt te vullen. Zoals gezegd hoort de vangspiegel hiervoor eigenlijk ge-offset (weg van de focusser) te worden (zie vorige stap) en eenzelfde afstand in de richting van de hoofdspiegel. Vanwege het perspectief gebeurt dit laatste echter automatisch: als de vangspiegel er gecentreerd uitziet is deze offset automatisch tot stand gebracht.

Het is zeer handig om alvorens te beginnen met deze stap een wit vel papier tussen vangspiegel en hoofdspiegel te bevestigen (met een stukje tape of zo). Dan zie je alleen de vangspiegel en niet de (in deze fase verwarrende) reflecties van en in de hoofdspiegel. Heb je een trusstube: laat dan het deksel op de mirrorbox, een vel papier is in dat geval niet nodig. Het centreren kan gedaan worden met behulp van een

eenvoudige of combinatie kijkbuis die verderop (zie menu hiernaast) worden beschreven. Er kan ook een buis met kruisdraad of een holografische laser collimator voor worden gebruikt, nl. als er een stip op de vangspiegel is aangebracht. Mocht de vangspiegel iets zijwaarts van de optische as staan, ga dan terug naar stap 1 en zet de focusser iets schuin, of ga weer naar stap 2 en verdraai de stelschroeven van de spider iets (als dat mogelijk is), zodat de positie van de vangspiegel wordt gecorrigeerd. Stap 3 minimaliseert de type 2 fout.

4. Kantel de vangspiegel zodat de verlengde optische as de hoofdspiegel in het centrum raakt

Neem nu eerst het witte vel papier weer weg (of haal het deksel van de mirrorbox) zodat de hoofdspiegel zichtbaar wordt. Gebruik voor het kantelen de stelbouten van de vangspiegelhouder (dus *niet* de collimatiebouten van de hoofdspiegel!). Ook kan de vangspiegel indien nodig iets geroteerd worden. Verander in deze stap echter niets meer aan de vorige instellingen. In deze stap kan een lasercollimator worden gebruikt. De laserstraal moet dan het centrum van de stip op de hoofdspiegel raken. Ook kan een kruisdraad buis worden gebruikt om de stip te centreren. Als er geen stip op de hoofdspiegel staat kun je de hoofdspiegel in een kijkbuis centreren.

Als je de vangspiegel kunt roteren bestaat het risico dat je hem scheef zet, door hem naar de ene kant schuin te zetten en hem naar de andere kant te roteren. Als je ziet dat de vangspiegel of de reflectie ervan scheef staat zet hem dan recht en draai hem daarna tot de hoofdspiegel er ruwweg mee in lijn staat. Begin dan opnieuw met deze stap zonder de vangspiegel te roteren.

Controleer na deze stap of de in de vorige stappen (2 en 3) bereikte instellingen nog kloppen en stel ze opnieuw af als ze gewijzigd blijken te zijn.

Als de hoofdspiegel slecht is afgesteld kan een deel van de rand onzichtbaar zijn door de opening van de buis die het zicht erop wegneemt. Als dit het centreren moeilijk maakt, ga dan even naar stap 5 om de hoofdspiegelafstelling iets handiger te maken voor stap 4 en werk dan stap 4 verder af. Stap 4 minimaliseert de type 1B fout.

5. Kantel de hoofdspiegel zodat de optische as op zichzelf reflecteert

Als je een spiegelcel hebt waarin de spiegel vrij los zit (bij veel Dobsons het geval) kun je ervoor zorgen dat de spiegel "zich zet" door de buis een keer van horizontaal naar vertikaal te bewegen voor je verder gaat met collimeren. Voor het in de juiste stand zetten van de hoofdspiegel worden de collimatiebouten van de spiegelcel gebruikt. Advies: draai er aan twee en laat de derde met rust. Voor de collimatie van de hoofdspiegel kan een Cheshire gebruikt worden. De stip op de hoofdspiegel moet dan zo exact mogelijk in de verlichte cirkel van de Cheshire gecentreerd worden. Als je een gecallibreerde Cheshire gebruikt kun je precies zien of je binnen de berekende tolerantie zit of niet. Het handigst is om iemand te vragen aan de stelbouten te draaien terwijl je zelf door de Cheshire kijkt, dat bespaart heen en weer lopen. Als je een telescoop hebt waar je bij de stelbouten kunt terwijl je door de Cheshire kijkt is dat uiteraard niet nodig. Het vergt even nadenken of uitproberen welke bout moet worden verdraaid en naar welke kant. Als je het eenmaal weet is het handig dat op een sticker te zetten en die naast je focusser op de telescoopbuis te plakken of iets dergelijks.

Het is ook mogelijk een laser te gebruiken. De stip op de hoofdspiegel moet dan wel een opening hebben in het midden. Om echt te fine-tunen is een Cheshire echter beter. En ook een stertest.

Als je geen stip op je spiegel hebt (en die ook niet wil) kun je ook een kruisdraadbuisje gebruiken (zie menu) met een dubbel kruisdraad. De reflectie van het dubbele kruis moet dan gecentreerd worden in het centrum van de kruisdraden. Dit is echter minder nauwkeurig dan een Cheshire. Stap 5 minimaliseert de *meest kritische fout* van het type 1A.

6. Check de centrering van de optische as in de telescoop en focusser

Voor een ruwe check kun je door de lege focusser kijken en nagaan of de reflectie van de buitenste rand van de buis in de hoofdspiegel van enig punt in de focusser is te zien. Als dat niet het geval is, is het optisch in orde. Voor een wat minder ruwe check kan een centreermasker worden gebruikt.

7. Voer de stertest uit om te fine-tunen

Het doel van collimeren is om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van sterren en andere objecten. De collimatie kan gecheckt worden op een ster, met een vergroting van 1-2 maal per mm aperture. Deze test is alleen zinvol bij goede seeing. Als de seeing slecht is moet de ster erg ver uit focus worden gedraaid om een rustig uitfocus beeld te krijgen. Bijstellingen zijn dan niet nauwkeurig meer en zeer kleine afwijkingen zijn niet te zien, terwijl het daar in deze stap juist om gaat.

Hoe gaat het in zijn werk? Plaats een ster in het centrum van het beeldveld. Het is heel belangrijk dat die echt in het centrum staat! Voor een telescoop die niet kan volgen kan Polaris worden gebruikt, omdat die relatief stilstaat. Draai de ster uit focus. Wat je ziet als de collimatie perfect is (en de seeing ook) is hetgeen op de plaatjes hieronder te zien is (uit Suiter: Startesting astronomical telescopes). Het middelste beeldje is extra vergroot en in werkelijkheid dus kleiner. Deze plaatjes zijn simulaties voor een telescoop met een offset vangspiegel. Als er een zichtbare assymetrie is (meer licht aan de ene dan aan de andere kant van het midden van een beeldje) moet de collimatie van de hoofdspiegel worden bijgesteld.



Het is mogelijk dat het optisch centrum van de hoofdspiegel niet samenvalt met het mechanisch centrum. Als met behulp de stertest een perfecte collimatie is bereikt en het blijkt dat de stip dan niet meer gecentreerd is in de Cheshire, is het handig de stip te verplaatsen (als dat kan) zodat die wel in de Cheshire is gecentreerd. Vervolgens kan dan met de Cheshire zeer goed worden gecollimeerd en is de stertest niet meer noodzakelijk. Overtuig je er wel van dat de Cheshire iedere keer precies op dezelfde manier in de focusser zit en dat het kijkgaatje in de Cheshire exact in het midden zit.

8. Check de finder en stel die af indien nodig

Na het collimeren staat de optische as van de telescoop meestal niet meer parallel aan die van de finder. Die zal in dat geval opnieuw moeten worden afgesteld. Verder is het handig ook te checken of de collimatie in alle posities van de telescoop (van bijna horizontaal tot zenit) stand houdt. Het komt bij Dobsons nogal eens voor dat er zoveel speling in de spiegelcel zit dat dit niet het geval is. Er zal dan aan de spiegelcel gesleuteld moeten worden. Ook komt het soms voor dat de vangspiegelhouder of spider niet rigide genoeg is, hetgeen eveneens de collimatie enigszins gevoelig maakt voor de stand van de telescoop.

Geeft deze procedure nu offset of geen offset collimatie?

Er bestaan nogal wat misverstanden aangaande offset van de vangspiegel, of in elk geval verschillende opvattingen over wat er onder moet worden verstaan. Als je een stip op het geometrische centrum van de vangspiegel zet en deze stip in de focusser centreert (bijvoorbeeld met een kruisdraadbuis of een laser collimator) krijg je een werkelijke *non-offset* vangspiegel. Dit wordt soms geadviseerd, maar geeft een

(meestal acceptabele) type 2 fout. Het geeft geen enkel praktisch voordeel om niet te offsetten.

Als je de vangspiegel optisch centreert zoals in dit artikel wordt beschreven (stap 3) met een kijkbuis (sighting tube) dan wordt de vangspiegel *automatisch* en in de juiste mate ge-offset in de richting van de hoofdspiegel. Hij blijft echter *wel gecentreerd* in de telescoopbuis en dus *niet* ge-offset in de richting "weg van de focuser". Soms wordt dit *non-offset collimatie* genoemd of "*niet gecentreerd maar ook niet offset maar een compromis*" collimatie (Menard/D'Auria: perspectives on collimation).

Als het punt op de vangspiegel waar de as van de focuser de vangspiegel raakt eenmaal is afgesteld (of het nou het optische of geometrische centrum is, of welk punt dan ook): de verdere collimatie van de hoofdspiegel zorgt ervoor dat de gecombineerde optische as precies op ditzelfde punt zal reflecteren. Dus als de optische as het optisch centrum van de vangspiegel raakt terwijl het geometrisch centrum is gecentreerd in de buis, dan zal de optische as *verplaatst zijn* ten opzichte van de de as van de telescoopbuis- een type 4 fout dus (het kan ook leiden tot een kleine type 3 fout). Maar omdat de offset zeer gering is, slechts ongeveer 0.5-1.5% van de doorsnee van de hoofdspiegel is de fout van weinig betekenis. Als de vangspiegel dus niet in de richting *weg van de focuser* ge-offset kan worden, laat hem gerust in het midden. Dit geeft geen problemen.

Gereedschappen (hulpmiddelen) om te collimeren

Welke gereedschappen of hulpmiddelen kunnen worden gebruikt om het collimeren een voudiger en nauwkeurig te maken? Hieronder worden er een aantal beschreven. Ze zijn met niet al teveel moeite zelf te maken, maar ook te koop. In sommige gereedschappen kun je ook toleranties inbouwen, zodat je in een oogopslag kunt zien of de collimatie goed genoeg is.

De stip op de hoofdspiegel

Dit is een kleine (maar ook weer niet te kleine) stip van verf of tape op het optisch centrum van de hoofdspiegel. Die kan rond zijn maar net zo goed vierkant of driehoekig. Zo'n stip is heel belangrijk. Hij zit in de schaduw van de vangspiegel, dus heeft geen enkele invloed op de prestaties van de telescoop. Meestal wordt zo'n stip er door de verkoper niet opgezet en het advies is: zet een stip op je hoofdspiegel. Omdat het optisch centrum niet altijd met het geometrisch centrum samenvalt, verdient een verplaatsbare stip de voorkeur. Hoe maak je zo'n stip? Markeer op twee plastic linealen of strips de rand en het centrum van de spiegel. Maak van de linealen een kruis en bevestig een stip van tape met een heel klein stukje tape exact in het gezamenlijke middelpunt. Leg de randmarkeringen precies op de rand van de spiegel en druk de stip van tape op het centrum van de spiegel.

U vraagt zich wellicht af of zo'n stip per se nodig is en of het wellicht ook zonder kan. Het antwoord: met een stip collimeren is nauwkeuriger, maar het kan ook zonder (zie verder).

En de vangspiegel? Moet daar ook een stip op?

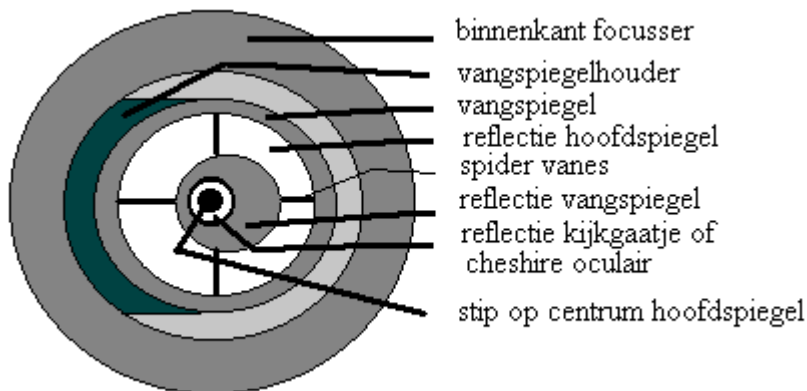
In tegenstelling tot de stip op de hoofdspiegel kan een stip op de vangspiegel *wel* invloed op het beeld hebben en zelfs het zicht op de stip die op de hoofdspiegel is aangebracht belemmeren. Het advies is danook om het *niet* te doen.

Het kijkgaatje

Dit is een kapje met een klein gaatje (1-2 mm) dat over het uiteinde van de focuser past en waardoor je in de telescoop kunt kijken. Hiervoor wordt vaak het doosje gebruikt van een fotorolletje. Je kunt de zaak afstellen tot het onderstaande er concentrisch uitziet (van buiten naar binnen):

- het binnenste uiteinde van de focusserbuis
- de vangspiegel (niet zo goed te zien vanwege reflectie van de buis)
- de hoofdspiegel gereflecteerd in de vangspiegel

- de reflectie van de vangspiegel- deze (en alleen deze) is niet concentrisch met de rest
- de reflectie van de focuseerbuis en kapje (als het doorzichtig is) met kijkgaatje
- de stip op de hoofdspiegel



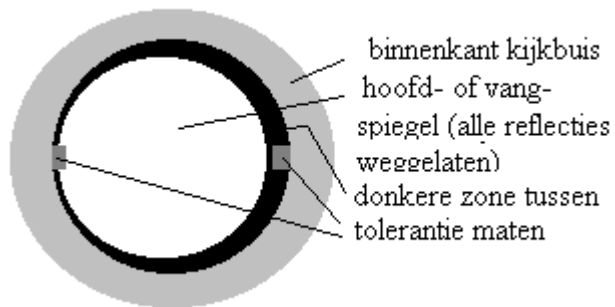
Deze "op het zicht" collimatie is weinig precies en je hebt geen enkele controle op toleranties, die vooral voor telescopen met lage f -waarden nogal kritisch zijn. Met wat zorg en geluk is het in elk geval beter dan helemaal niets doen. Je kunt het ook helemaal zonder kijkgaatje doen en gewoon in de lege focuser kijken. Dit is echter nog onnauwkeuriger. Gebruik dus minstens een kijkgaatje, gevolgd door collimeren met de stertest.

De eenvoudige kijkbuis

Dit is een buis met aan een kant een klein kijkgaatje. Om de vangspiegel te centreren is de lengte niet zo belangrijk. Als de lengte in de buurt komt van de f -waarde van de telescoop maal de inwendige diameter van het buisje, is het ook geschikt om de hoofdspiegel te centreren. Zie het hoofdstuk over zelfbouw hieronder voor een beschrijving van hoe er een te maken.

Je kunt de rand van de opening aan de binnenkant en de rand van de spiegel natuurlijk niet tegelijkertijd perfect scherp zien, maar het kleine gaatje zal de "scherptediepte" wat verbeteren en de onscherpte laag houden.

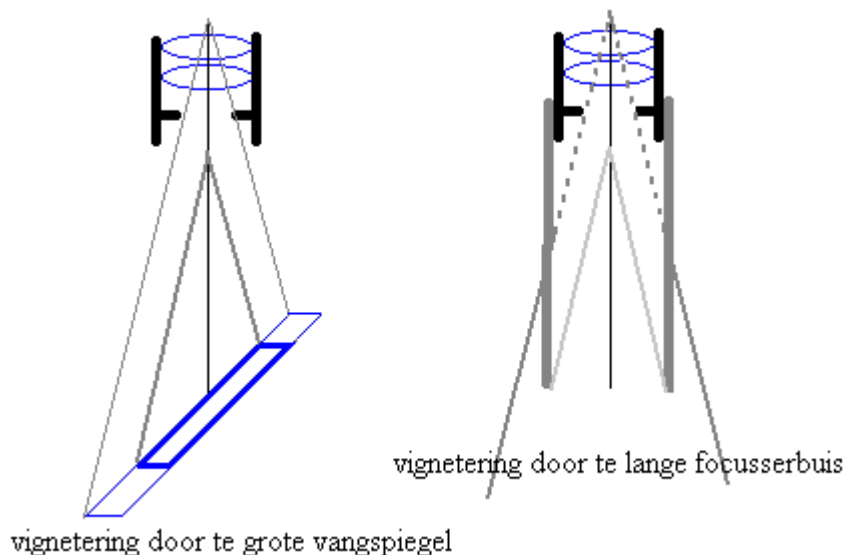
Om de vangspiegel met de kijkbuis te centreren (stap 3) is het aan te bevelen een vel wit papier tussen vangspiegel en hoofdspiegel te plaatsen, omdat je anders de rand van de hoofdspiegel ziet in plaats van de rand van de vangspiegel. Met een vel papier is de vangspiegel en de stand ervan zeer goed waar te nemen. Stop de buis zover in de focuser dat de rand van de vangspiegel net binnen de buis past en zet die dan vast in die stand. Centreer dan de vangspiegel (zonder de schuine stand te veranderen). Om zijwaarts te kunnen centreren moet misschien wat aan de spider versteld worden, als dat tenminste mogelijk is. Als dat niet kan, zet dan de focuser iets schuin.



Om de hoofdspiegel te centreren (stap 4) moet eerst het vel papier worden weggehaald. Duw dan de kijkbuis zover naar binnen dat de reflectie van de hoofdspiegel goed in de vangspiegel te zien is. Kantel dan de vangspiegel (zonder hem in een of andere richting te verstellen, want dat maakt de vorige stap weer ongedaan) om de hoofdspiegel in de vangspiegel te centreren.

Als hulp bij het checken van toleranties kunnen een paar korte uitsteeksels in de kijkbuis worden gemaakt aan de rand die binnen de telescoopbuis zit. Die kunnen van stukjes van dezelfde buis worden gemaakt als de kijkbuis van gemaakt is. Deze doen dan dienst als tolerantie meters. Als je de hoogte van die uitsteeksels deelt door de lengte van de kijkbuis en de uitkomst met 57.3 vermenigvuldigd krijg je de hoek in graden. Voor een f/6 telescoop is de kijkbuis (28 mm binnendiameter) $6 \cdot 28 \text{ mm} = 168 \text{ mm}$ lang. De hoek is dan: $(2/168) \cdot 57.3$ is 0.68 graden. In bovenstaande tekening is de 1B fout de helft van die hoek, oftewel ongeveer $1/3$ graad, hetgeen klein genoeg is voor visueel waarnemen.

Om de centrering van de vangspiegel te beoordelen kun je de hoogte van de uitsteeksels vermenigvuldigen met de ratio (vangspiegel korte as)/(binnendiameter kijkbuis). Als de vangspiegel dus een 84 mm korte as heeft en de binnendiameter van de buis is 28 mm, dan moet de fout vermenigvuldigd worden met $84/28 = 3.0$. In het voorbeeld is de error de helft van de hoogte van een uitsteeksel maal de vermenigvuldigingsfactor $= 1/2 \cdot 2 \cdot 3 = 3 \text{ mm}$.

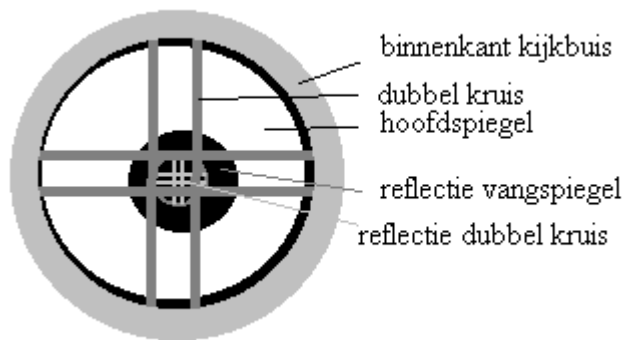


Bij sommige telescopen is het niet mogelijk op deze manier te collimeren (zie boven) omdat de focuser te hoog is en het focus te ver weg van de vangspiegel. Soms is de focusserbuis te lang en/of de vangspiegel te groot, zodat je de rand van de vangspiegel niet kunt zien. Dit soort constructiefouten komt nogal eens voor. Het beste advies is: verbouw de telescoop. Een andere mogelijkheid is het gebruik van een collimatiebuis met een kruisdraad.

De kijkbuis met kruisdraad

Dit is een kijkbuis met aan een kant een klein kijkgaatje en aan de andere kant een kruisdraad, waarvan het kruis (evanals het gaatje natuurlijk) exact in het midden moet staan. Verder in dit artikel staat een beschrijving hoe er een te maken. Een *enkel kruis* is geschikt om af te stellen op de stip op de hoofdspiegel in stap 4. Dit werkt zelfs als je de rand van de hoofdspiegel niet kunt zien. Het is ook te gebruiken in stap 3, bij het centreren van de vangspiegel als die een stip heeft op het optisch centrum. Dit werkt met een focusseerbuis die te lang is om de rand van de vangspiegel te kunnen zien. Ook in stap 1 kan zo'n enkel kruisdraad nuttig zijn.

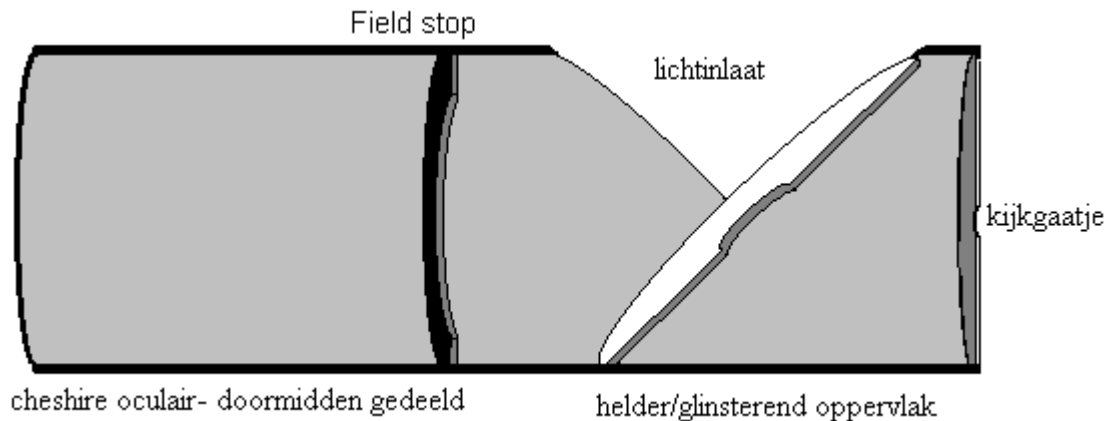
Een kijkbuis van de juiste lengte om de hoofdspiegel te kunnen centreren en met een goed gecentreerd *dubbel kruis* kan in de kritische stap 5 worden gebruikt om een spiegel te collimeren *zonder stip* in het centrum. Centreer daartoe de spiegel in stap 4 zo goed mogelijk in de kijkbuis en stel dan de hoofdspiegel zo af (stap 5), dat de reflectie van het kruisdraad precies middenin het centrum van het kruisdraad staat. Het is handig om van binnenuit het kruisdraad (dat uit niet te dunne draden moet bestaan) te verlichten.



Het Cheshire oculair

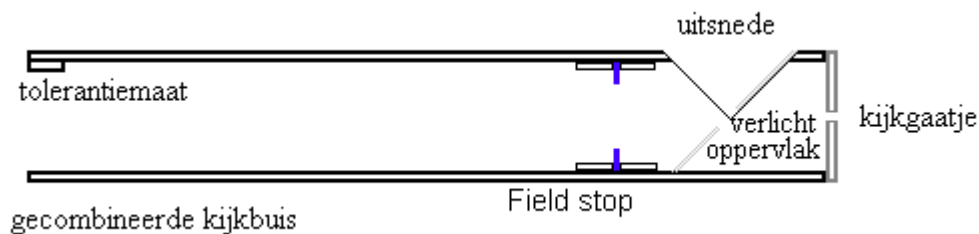
Dit is een wat vervolmaakte variant van de eenvoudige kijkbuis, met een verlicht raampje (wit of reflecterend) onder een hoek van 45 graden in de buis geplaatst, om de stip op de hoofdspiegel te kunnen zien afsteken tegen het verlichte (cirkelvormige) vlak. Er kan een "fieldstop" worden ingebouwd om het verlichte veld goed te laten afsteken tegen de omgeving. Verderop wordt beschreven hoe er een te maken.

De Cheshire wordt gebruikt in stap 5 om de type 1A fout te minimaliseren. De hoofdspiegel wordt gecollimeerd totdat de stip exact in het midden van het verlichte veld staat. Het is handig om het verschil in diameter van de stip en de fieldstop niet te groot te maken.



De gecombineerde buis

Dit is een eenvoudige kijkbuis waarvan het eind waarin gekeken wordt is veranderd in een Cheshire. Hij kan op de juiste maat worden gemaakt zoals een eenvoudige kijkbuis en er kan eventueel ook een kruisdraad in worden gemaakt. Het handigst is hem op lengte te maken, omdat hij dan in verschillende fasen van het collimatatieproces (stap 3, 4 en 5) kan worden gebruikt. In het hoofdstuk 'zelfbouw' staat beschreven hoe er een te maken.



de lasercollimator

Waarschuwing: kijk nooit rechtstreeks in een laserstraal! Normaal gesproken zal de straal binnen het optische pad van de telescoop blijven, maar als de collimatie zeer slecht is kan de terugkerende straal langs de vangspiegel heen de buis uitgaan. Kijk dan ook niet in de telescoop als je de straal niet ziet waar je hem verwacht, maar houd liever een stuk papier voor de telescoopbuis voor de zekerheid.

Gebruikt wordt een "solid state" laser, gemonteerd in een buisje dat in de focuser past en dat kritisch gecollimeerd is zodat die (1A) gecentreerd is in en (1B) parallel is aan de buis waar hij in zit. De kant die in de telescoop wijst heeft een heldere voorkant waartegen de terugkerende straal reflecteert, met een klein gaatje erin om de straal door te laten. Hij kan worden gebruikt in de stappen 1, 3 en 4 en, met wat bedenkingen, stap 5. De lasercollimator kan er duur en indrukwekkend uitzien en geniet bij velen de voorkeur. Hij maakt stap 4 heel eenvoudig, omdat je, voor de telescoopbuis staand goed kunt zien waar de straal de hoofdspiegel raakt en tegelijkertijd aan de stelbouten van de vangspiegel kunt draaien. Zien waar de terugkerende straal terecht komt is vaak moeilijker, vooral als die gefocussed is door de hoofdspiegel tot een heel klein puntje, kleiner dan het gaatje waar hij uit kwam. Sommige lasers hebben een holografisch gedeelte dat een cirkeltje projecteert met een tamelijk grote hoek. Dit is nuttig in stap 3 waar je de centrering ervan op de vangspiegel kunt zien en mogelijk ook in de stappen 4 en 6. In het hoofdstuk 'zelfbouw' staat de bouw van een goekope lasercollimator beschreven.

Mogelijke problemen bij gebruik van een laser voor het collimeren van de hoofdspiegel

Na stap 4, als de laserstraal naast het centrum van de spiegel terecht komt, zal de teruggerende straal parallel zijn aan de optische as, maar verplaatst (evenveel als de heengaande straal) ten opzichte van die as. Als je dan de hoofdspiegel bijstelt om de terugkerende straal exact te centreren, *krijg je een type 1A fout* ter grootte van de halve verplaatsing! Een voorbeeld. De stricte tolerantie voor een f/4.5 spiegel is slechts ongeveer 1/3 mm, dus de toegestane fout in stap 4 moet (veel) minder zijn dan 2/3 mm. Bij veel telescopen is het niet goed mogelijk om de positie van de laserspot goed af te lezen (of zelfs de vangspiegel ermee te collimeren) tot zelfs maar in de buurt van de vereiste positie. Aan de andere kant: als je een type 1B fout tolereert van 0.2 graden (uitgaande van 180 mm brandpuntsafstand van de hoofdspiegel) mag de spot 6 mm fout zitten. Daarom: als je stap 5 met een laser collimeert, moet je na afloop checken met een Cheshire of stertest of de collimatie acceptabel is.

De autocollimator

De naam suggereert dat dit apparaat automatisch je telescoop collimeert-helaas: dat is niet zo. Het is een andere variant op de eenvoudige kijkbuis met een spiegelletje achter het gaatje in de voorkant. Er zit een doorschijnende stip in het in midden van dat spiegelletje om doorheen te kunnen kijken en het spiegelletje staat perfect loodrecht op de kijkbuis waar die in zit. De autocollimator wordt gebruikt na stap 5, om alles te controleren. Als de hoofdspiegel precies loodrecht op de as van de autocollimator staat zie je, als je in de autocollimator kijkt, je eigen pupil talloze keren gereflecteerd via alle spiegels en zeer vergroot, zodat het beeld zwart is. Indien niet goed gecollimeerd, kun je gereflecteerd licht zien van de lucht of je plafond via de multiple reflecties. Echter: evenals de laser maakt de autocollimator geen onderscheid tussen type 1A en type 1B fouten. Een zwart beeld betekent danook alleen maar iets als de Cheshire uitwijst dat de stip op de spiegel binnen de tolerantiegrenzen gecentreerd is. Hij kan helpen om de relatief onbelangrijke type 1B fout verwaarloosbaar klein te maken (hoewel een laser daar geschikter voor is), maar hij detecteert niet de zeer belangrijke type 1A fout, die dan nog steeds met de Cheshire moet worden opgespoord en gecorrigeerd. Het is zelfs zo dat, nadat je met de laser hebt gecollimeerd, de autocollimator zwart wordt waar de straal de hoofdspiegel ook raakt. Zelfs een grote type 1A fout zal hij niet ontdekken.

Meer gegevens over de autocollimator zijn te vinden in het boekje "Perspectives on collimation", door Vic Menard en Tippy D'Auria. De auteurs maken geen onderscheid in type 1A en type 1B fouten en doen geen moeite een analyse te maken van tolerantiegrenzen. Ik beveel het apparaat niet aan (met een uitzondering: wellicht is er een bruikbare autocollimator te maken voor widefield fotografie).

Het centreermasker

Neem een stuk papier of halfdoorschijnend plastic, groot genoeg om over de opening van de telescoopbuis te plaatsen. Maak een cirkel zo groot als de hoofdspiegel en centreer die over de telescoopbuis. Dit is nuttig in stap 6, als je de centrering van de optische as in de telescoopbuis wil checken. Als je besloten hebt tot een maximaal toegestane fout, vermenigvuldig die dan met 2 en teken een cirkel precies zover om de eerste. Als je de binnenste cirkel kunt zien is de collimatie niet helemaal goed, maar zolang je de buitenste niet kunt zien is hij binnen de tolerantiegrens.

Zelfbouw van collimatiegereedschap

Hieronder wordt de bouw beschreven van het gereedschap waarover in de tekst wordt gesproken.

Achtereenvolgens komen aan de orde:

[De eenvoudige kijkbuis;](#)

[De kijkbuis met kruisdraad;](#)

[Het cheshire oculair en de gecombineerde kijkbuis;](#)

De lasercollimator;

Het bouwen van deze gereedschappen is niet moeilijk, maar het is wel een nauwkeurig werkje.

De eenvoudige kijkbuis

Deze is te maken van een stuk buis van plastic of metaal. PVC pijp voldoet goed en ook van een goede maat stofzuigerbuis zijn ze te maken. De lengte moet zijn: binnendiameter maal f/waarde van de telescoop. Voor een f/5.6 telescoop maak je met een buis van 28 mm binnendiameter dus een kijkbuis van **5.6*28mm=157mm** lengte. Als je dus telescopen hebt met een verschillende f/waarde, heb je voor elke telescoop zo'n kijkbuis nodig. Aan de kant waarin je kijkt komt er een (ondoorzichtig) kapje op met een kijkgaatje van ongeveer 1 millimeter, precies in het midden. Als de buis van binnen glimmend is (aan te bevelen) zie je rond de hoofdspiegel een heldere reflectie met daaromheen een donkere rand: heel handig om goed te centreren. Als de buis in de buurt van de vangspiegel komt, doe er dan aan dat uiteinde wat tape omheen om de vangspiegel niet te beschadigen.

De kijkbuis met kruisdraad

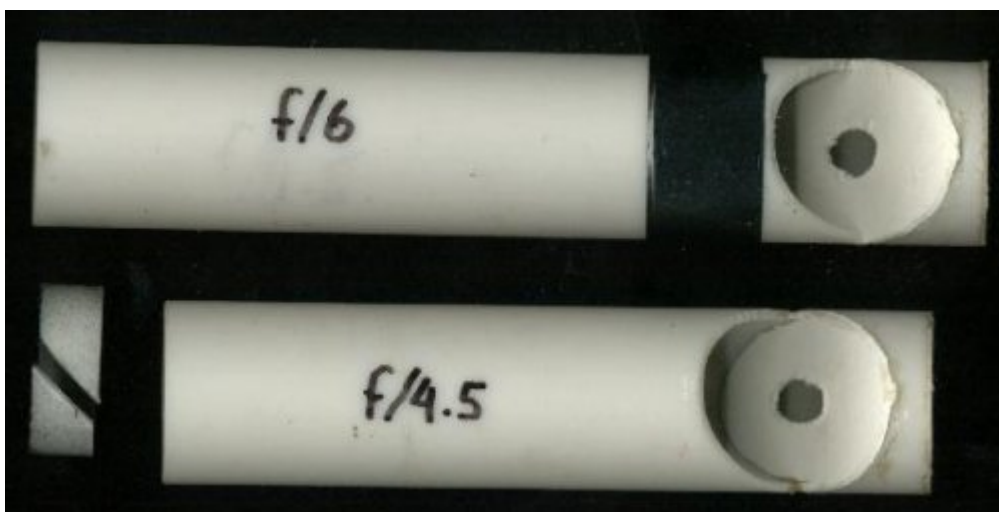
Dit is een variatie op de eenvoudige kijkbuis. Aan het eind dat in de telescoopbuis steekt maak je kruisdraden. Het kruis moet precies in het midden zitten. Hoe doe je dat? Als volgt:

- bereken de omtrek van de kijkbuis met de formule **omtrek = diameter maal pi**;
- deel de uitkomst door 4
- meet op een stuk papier met als lengte de omtrek vier heel nauwkeurig gelijke delen af van 1/4 omtrek;
- wikkel het papier om het eind van de buis;
- neem de markeringen van het papier over op het uiteinde van de buis;
- maak met een mesje of vijltje een kleine inkeping op die vier plaatsen;
- lijm niet al te dun draad in de inkepingen zodat het een kruis vormt.

Als je een dubbel kruisdraad wil maken, hetgeen handig is om te collimeren zonder stip op de hoofdspiegel, meet dan aan elke kant van de vier oorspronkelijk markeringen gelijk afstanden van 1.5 - 2 millimeter af en maak daar de inkepingen voor de draden.

Het cheshire oculair en de gecombineerde kijkbuis

Ook een cheshire is gemakkelijk te maken. Maar waarom zou je geen gecombineerde buis maken? Het verschil zit hem alleen in de lengte: een gecombineerde buis is een cheshire met de lengte van de voor die telescoop geschikte eenvoudige kijkbuis (zie plaatje hieronder).



Begin met het maken van een eenvoudige kijkbuis met de lengte passend bij de f -waarde van de telescoop. Zaag er een V in tot op de helft van de diameter van de buis. Knip van een stuk karton (liefst glimmend aan een kant) een ellips die precies in de V past. Maak in het midden een ellipsvormig kijkgat. Het gat moet *kleiner* zijn dan de stip op de hoofdspiegel, maar *wel zo groot* dat je er de binnenrand van de kijkbuis aan het andere eind door kunt zien, als je hem tenminste ook als eenvoudige kijkbuis wilt gebruiken voor de collimatiestappen die voorafgaan aan die waarvoor je de cheshire (stap 5) gebruikt. Lijm het elliptisch karton in de kijkbuis. Als het gat niet precies in het midden zit is niet erg. Om een duidelijk beeld te krijgen is het handig om een fieldstop in te bouwen van karton, met een gat dat enkele millimeters groter is dan de stip op de hoofdspiegel. Dat bevordert de accuratesse bij het collimeren. De fieldstop kan worden vastgezet met twee ringen van dezelfde soort buis (zie naast de $f/4.5$ op het plaatje).

Je kunt ook een fieldstop maken die dienst kan doen als tolerantie maat voor het collimeren. Bepaal de acceptabel type 1A fout en vermenigvuldig die met 4 om het verschil in diameter te krijgen tussen fieldstop en stip op de spiegel. Voor een $f/6$ is de tolerantie 0.77 mm. Het verschil in diameter is dus 3.1 mm, dus de diameter van de fieldstop moet 3.1 mm groter zijn dan die van de stip. Als je nu collimeert (stap 5) en de stip staat volledig in het heldere vlakje van de cheshire, weet je zeker dat je binnen de tolerantiegrens zit en heb je geen last van coma.

Een lasercollimator van een goedkope sleutelhanger laser

Er zijn meer beschrijvingen op het net, maar ik (Nils Olof) heb deze gemaakt. De precisie is niet groot maar voldoende. Benodigdheden: 2 stukken plastic buis (voor elektrische leidingen) met buitenmaten 20 en 32 mm. Sleutelhangerlasers zijn goedkoop. De hologramonderdelen ervan zijn leuk, maar te klein om enig nut te hebben voor collimatie.

De binnenste buis bevat de laser, met wat ruimte (ongeveer 1 mm) tussen laser en buiswand. Om een kant van de laser heb ik wat tape gewikkeld om hem vast te zetten, maar wel zo dat beweging voor afstellen nog mogelijk is. Aan de achterkant zitten drie collimatieboutjes in de buis, waarvoor gaatjes zijn getapt in de buiswand. Boven het aan/uit knopje zit ook een gat met draad, waar een boutje in komt om de laser te bedienen. Tussen de buitenste en binnenste buis zit tape over een groot deel van de lengte. Er zitten gaten in de buitenste buis om de stelbouten te kunnen bedienen en om de aan/uit bout door te laten.

Om de gereflecteerde straal te kunnen zien is een frontje nodig met een gaatje om de straal door te laten. Hiervoor kan een dop van een fles o.i.d. worden gebruikt. Zet de zaak gewoon, al duwend, stevig in elkaar en stel de zaak dan af als volgt.

Plaats het apparaat in een V-blok en zet de laser aan. Er verschijnt een stip op de muur er tegenover. Als je laser in de V-blok wordt gedraaid beschrijft de lichte stip van de laser een cirkel. Stel net zo lang bij met de drie stelboutjes, tot de stip op dezelfde plaats blijft.

Op het plaatje hieronder staan de onderdelen: bovenin de laser met tape, de flessendop boven de complete collimator als van achteren gezien en de collimator gezien vanaf de zijkant. Zoals te zien is, kon de laser nog maar net gecollimeerd worden voor hij de rand van de buis raakte.

