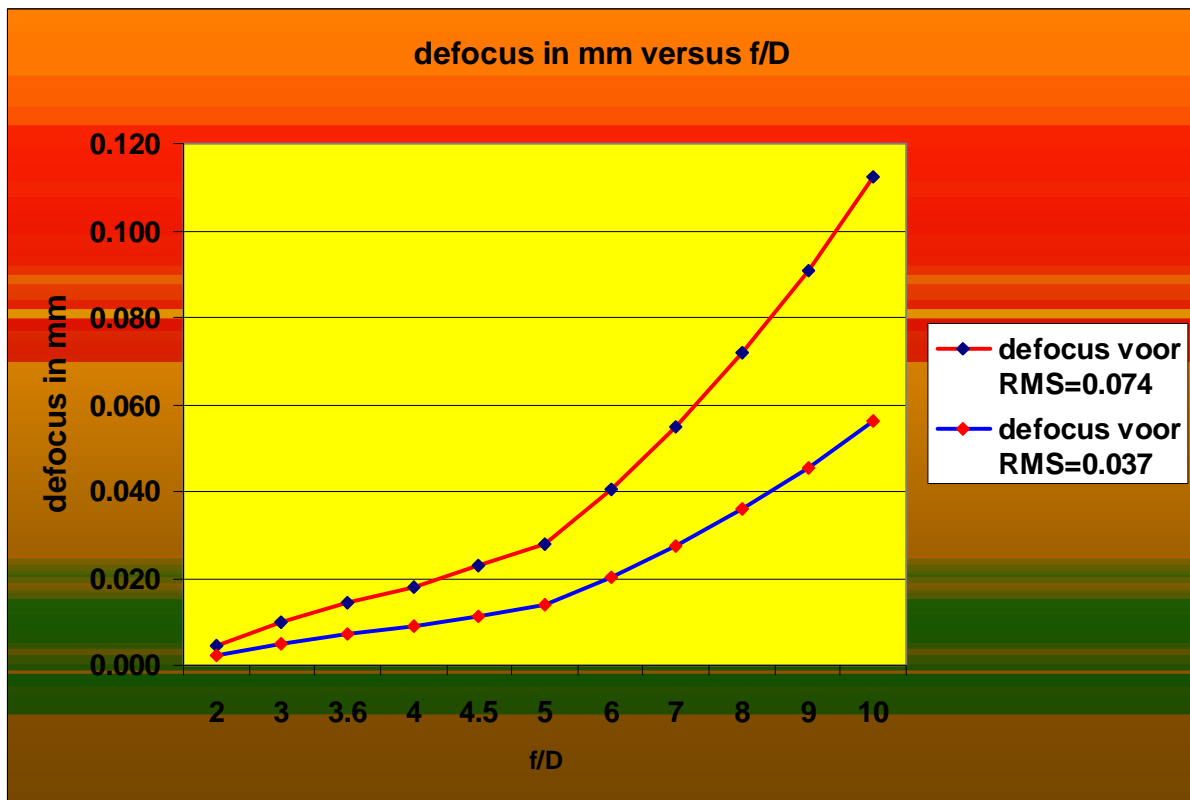


## Het belang van goed scherpstellen

(door Jan van Gastel)

Minstens net zo kritisch als collimeren is scherpstellen. En net als bij collimeren zijn de toleranties nauwer naarmate de  $f/D$  waarde van het objectief lager is. In figuur 1 wordt voor een RMS-waarde van respectievelijk  $0.074\lambda$  en  $0.037\lambda$  aangegeven<sup>1</sup> hoeveel millimeter van 'ideaal' focus het scherpstellen mag afwijken, voor telescopen met  $f/D$  waarden van  $f/2$  tot  $f/10$ . Een  $f/5$  telescoop bijvoorbeeld, moet tot op een afstand van 0.028 mm van perfect focus



Figuur 1: aantal mm scherpstel fout versus  $f/D$ .

nauwkeurig worden scherp gesteld om de deformatie beperkt te houden tot een daling van de Strehlratio van 20%. Voor een  $f/8$  telescoop is dat 0.072 mm. Omdat je dat aantal millimeters naar beide kanten van focus mag afwijken, is de scherptediepte – de range waarin je binnen deze mate van deformatie blijft – het dubbele van deze waarden, dus voor een  $f/5$  en een  $f/8$  telescoop respectievelijk 0.056 en 0.144 millimeter.

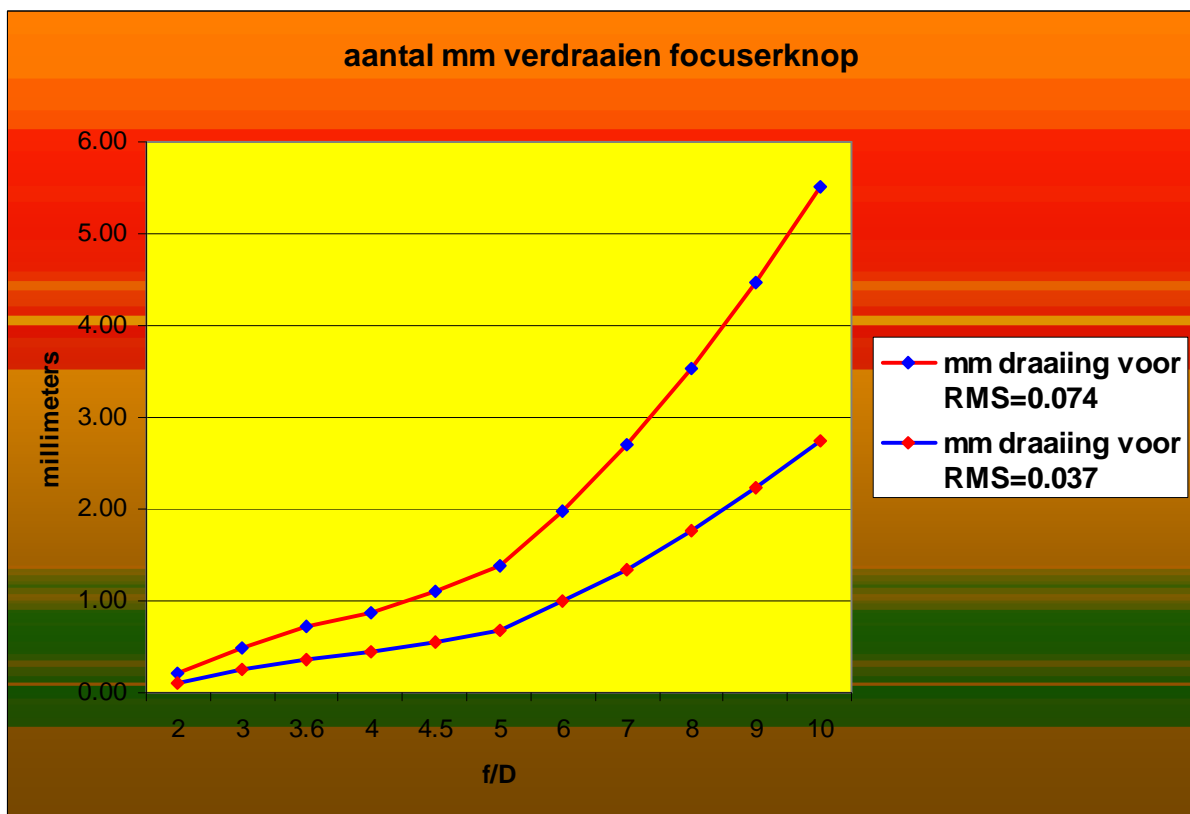
### **De praktijk van het scherpstellen**

Hoeveel mag je nu vanaf perfect focus de knop van je focuser verdraaien om nog net binnen deze toleranties te blijven? Als voorbeeld neem ik de moonlight focuser met vertragingsknop van mijn 50 cm  $f/3.6$  telescoop. Als ik deze knop precies één keer ronddraai, gaat de focuserbuis 1.71 mm naar binnen of naar buiten. Stel ik hanteer de voor deze telescoop ruime tolerantie, 0.015 mm defocus, dan moet ik de knop dus  $0.015/1.71=0.0087$  maal ronddraaien.

<sup>1</sup> Voor defocus komt  $0.074\lambda$  RMS overeen met  $0.258\lambda$  PV. Een RMS-fout van  $0.074\lambda$  (afgerond) verlaagt de Strehl ratio met 20%, een RMS-fout van  $0.037\lambda$  (de helft dus) met 5%. Omrekenformule (volgens Mahajan): van  $RMS \rightarrow$  Strehlratio:  $S=1/e^{(2*\pi*rms)^2}$ . Voor het omgekeerde, van Strehlratio  $\rightarrow$  RMS, kunnen we dus het omgekeerde hanteren:  $RMS=1/\text{wortel}(\log_{(S)}e^{-39.5})$ , waarin de Strehlratio, S, het grondtal is voor de logaritme (RMS steeds in lambda wavefront).

De diameter van de knop is 26.7 mm, dus ik moet de buitenrand van de knop  $0.0087 \cdot 26.7 \cdot \pi = 0.73$  mm verdraaien. En wil ik voor mijn telescoop de strengere tolerantie hanteren, niet meer dan de helft daarvan, ofwel 0.365 mm. Heel weinig dus. Zonder de vertraging gaat de focuserbuis 14.8 mm naar binnen of naar buiten. Zou dus zonder vertraging scherpstellen, dan zou ik de knop maar  $0.015/14.8 \cdot 26.7 \cdot \pi = 0.09$  mm kunnen draaien om met de 'ruime' tolerantie nog binnen de tolerantie te blijven en voor de strenge tolerantie niet meer dan 0.045 mm. Beide niet echt haalbaar in de praktijk. Voor een snelle telescoop is dus een focuser met vertraging geen luxe maar bittere noodzaak.

In figuur 2 is voor f/2 tot f/10 systemen aangegeven hoeveel ruimte er naar elke kant van perfect focus is om scherp te stellen (met deze focuser), om binnen de aangegeven toleranties te blijven.

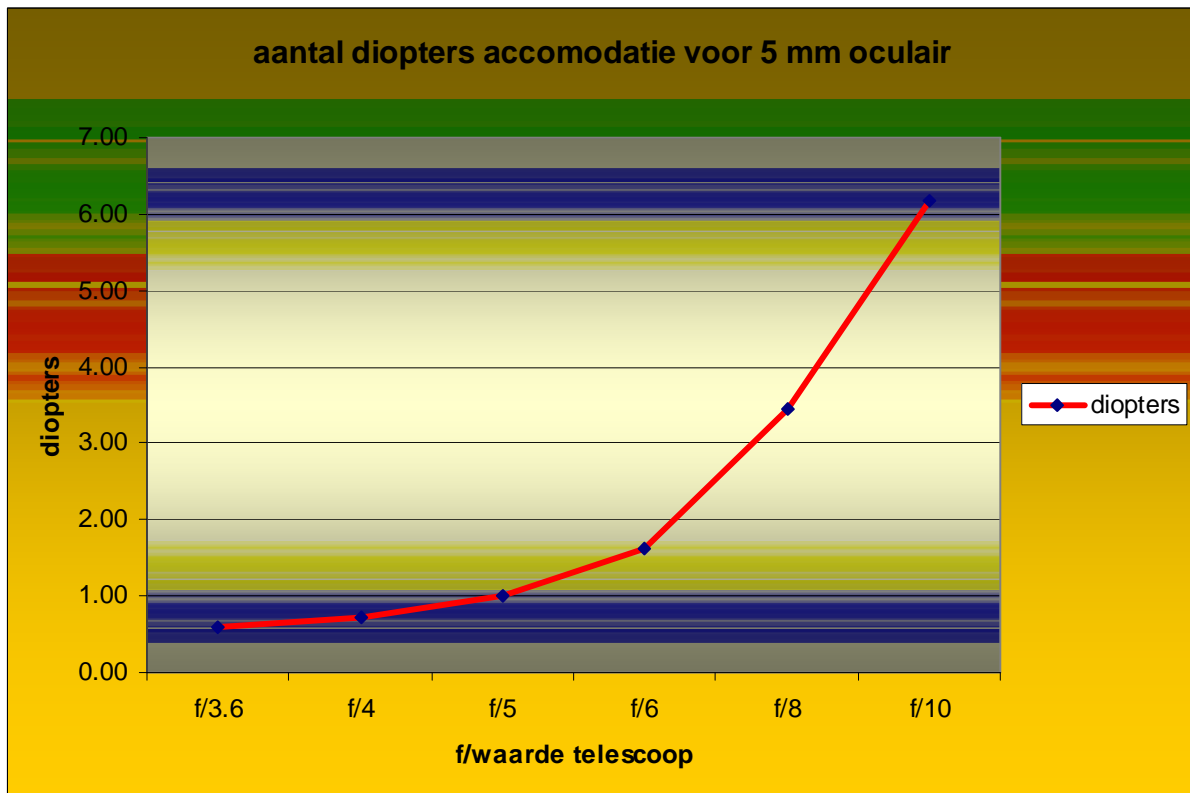


Figuur 2: verdraaiing focuserknop versus f/D voor genoemde toleranties

Om enkele voorbeelden te noemen: 1.38 mm voor een f/5 telescoop en 3.53 mm voor een f/8, voor de ruimste tolerantie. Voor trage telescopen is het niet eens moeilijk de minst ruime van de twee in figuur 2 vermelde normen te halen. Voor een f/waarde lager dan f/4 moet je daar erg je best voor doen. Met een gewone focuser, zonder vertraging in het scherpstelmechanisme is dat niet mogelijk. En ook de kwaliteit van de focuser en afwezigheid van trillingen bij het scherpstellen winnen aan belang naarmate de f/waarde lager wordt en de tolerantie strenger. Voor andere focusers, zonder vertragingsmechanisme of met een ander vertragingsmechanisme en/of een draaiknop met een andere diameter gelden uiteraard andere waarden, die met behulp van de rekenvoorbeelden hierboven gemakkelijk zijn na te rekenen.

### Compenseren door accommodatie

Het menselijk oog kan wel wat compenseren van defocus, door te accommoderen<sup>2</sup>. Het vermogen tot compensatie van defocus vermindert echter met de leeftijd. Kinderen kunnen wel tot 10 of meer dioptrieën<sup>3</sup> accommoderen, mensen van boven de 50 vaak niet meer dan 1 dioptrie en soms zo goed als helemaal niet. Het probleem zit hem vooral bij oculairen met korte brandpuntsafstand, dus bij hogere vergrotingen. Wel is hier, voor de verandering, een telescoop met kleine  $f/D$  waarde in het voordeel, waardoor je weer iets ‘terugwint’ van de minder grote defocustolerantie bij snelle telescopen. Bij een  $f/3.6$  vergt een defocus van 0.015 mm ( $0.074 \lambda$  RMS) bij gebruik van een oculair met 5 mm brandpuntsafstand, slechts 0.6 dioptrie<sup>4</sup> accommodatie. Hetzelfde oculair in een  $f/8$  ( $0.072$  mm tolerantie) vergt 3.5 dioptrieën accommodatie en in een  $f/10$  zelfs 6.2 dioptrieën. In figuur 3 hieronder een grafiekje voor een oculair met een brandpuntsafstand van 5 millimeter, bij een defocus met een fout van  $0.074\lambda$  RMS. Let wel: een  $f/10$  geeft wel veel dioptrieën om te compenseren (wat misschien niet lukt), maar deze vallen wel binnen de vrij gemakkelijk te halen tolerantiegrens voor een RMS-fout van  $0.075\lambda$  RMS wavefront. Samengevat: een trage telescoop is gemakkelijker goed scherp te stellen, minder goed scherp stellen met een snelle telescoop is gemakkelijker te compenseren door accommodatie.



Figuur 3: Aantal dioptrieën te accommoderen voor een 5 mm oculair en een  $0.074 \lambda$  RMS fout

Een bijkomende factor is, dat door veldkromming oculairen soms aan de rand niet gelijk focuseren met het centrum. Als je het centrum dus scherp hebt, is de rand dat niet en moet het oog dit compenseren. Het verschil in focus tussen centrum en rand kan enkele dioptrieën bedragen. Slecht scherpstellen kan dit probleem vergroten, zodat het oog voor de rand van het

<sup>2</sup> Een fotoestel niet.

<sup>3</sup> Eén dioptrie is  $1/\text{brandpuntsafstand}$  van een lens in meters.

<sup>4</sup> Berekend met formule  $D=1/(\text{fl}*(\text{fl}-d)/d)$ , waarin  $D$ =aantal dioptrieën,  $\text{fl}$ =brandpuntsafstand oculair in meters en  $d$ =defocus in meters.

beeldveld meer moet accommoderen dan bij een goed scherp gestelde telescoop het geval zou zijn. Accommoderen kost inspanning, die ten koste kan gaan van relaxed waarnemen en daardoor van het zien van details. Bovendien compenseert het oog in verschillende mate bij zwakke objecten in vergelijking tot heldere en de tolerantie voor defocus is kleiner voor scherp afgetekende objecten in vergelijking tot diffuse. Een kleine pupil heeft meer tolerantie voor defocus (een grotere scherptediepte, waardoor je de grootte van de fout gemakkelijker kunt beperken) dan een grote pupil. Bij lage ruimtelijke frequenties (weinig cycles per graad) is de tolerantie voor defocus groter dan dicht naar de grens van het oplossend vermogen toe. Tenslotte is het ook van belang te zien, dat defocus aberratie bovenop eventuele andere aberraties (miscollimatie, fouten in de optiek, etc.) komt.

### ***Een voorbeeld***

Laten we als voorbeeld eens een 400 mm f/4 Newtontelescoop nemen. Voor de kwaliteit van elk van de spiegels zijn we streng en accepteren we slechts een RMS oppervlaktefout van 5.5 nanometer, omgerekend een RMS wavefront fout van  $2 \cdot 5.5 / 550 = 0.02\lambda$  voor de hoofdspiegel en  $0.014\lambda$  voor de vangspiegel<sup>5</sup>. Zeer goede spiegels dus. De (minimale) vangspiegel heeft een kleine as van 72 mm. De gecombineerde fout van de beide spiegels is  $\sqrt{0.02^2 + 0.014^2} = 0.024\lambda$  RMS. Dat betekent voor deze combinatie een Strehlratio van 0.978. Erg goed dus. Een obstructie van 18% verlaagt de Strehlratio met 6.4%. Blijft over een Strehlratio van 0.914. Nog steeds erg goed. Een miscollimatie van de hoofdspiegel van 0.7 millimeter (niet gemakkelijk te zien tijdens het collimeren) verlaagt de Strehlratio met 20%. Over blijft dus niet meer dan 0.714, terwijl 0.80 gewoonlijk gezien wordt als nog net 'diffraction limited'. Zelfs een miscollimatie van de helft, 0.35 mm, verlaagt de Strehlratio met 5%, tot een waarde van rond de 0.86. En als we in dit laatste voorbeeld ook nog niet goed scherpstellen en ook hier een fout maken die de Strehlratio verlaagt met 5%, waarvoor slechts een scherpstelfout van 0.009 mm (strengere tolerantie) nodig is, zakken we al tot rond de grenswaarde van 0.80<sup>6</sup>. Maar OK, kleine foutjes kunnen we ons bij deze optiekkwaliteit nog wel veroorloven. Zouden we echter gestart zijn met optiek met een gecombineerde Strehlratio van 0.85 in plaats van 0.978, dan zou zelfs de diffractie van de vangspiegel alleen ons al onder de grens van het acceptabele brengen en konden we ons op gebied van collimeren en scherpstellen zelfs een minimale fout niet veroorloven.

### ***Geraadpleegde literatuur:***

1. Vladimir Sacek: Notes on Amateur Telescope Optics, op:  
<http://www.telescope-optics.net/>
2. G.E.Legge, K.T. Mullen, G.C. Woo, F.W. Campbell (1987), Tolerance to visual defocus, Journal of the Optical Society of America, vol. 4, no. 5.
3. Discussie op Cloudy Nights forum:  
<http://www.cloudynights.com/ubbarchive/showthreaded.php/Cat/0/Number/403793/page/0/view/collapsed/sb/5/o/all/vc/1>

---

<sup>5</sup> Wavefront fout voor de hoofdspiegel is 2\*oppervlaktefout, voor de vangspiegel 1.414\*de oppervlaktefout.

<sup>6</sup> De effecten van seeing laten we, ondanks het vaak grote effect dat ze gewoonlijk op het beeld hebben, hier buiten beschouwing.