

# Telescopen

N.G. Schultheiss

## 1 Inleiding

Deze module volgt op de module “Lenzen” of “Lenzen slijpen”. Deze module wordt vervolgd met de module “Telescopen gebruiken”. Je kunt met na deze module een telescoop bouwen en de werking verklaren.

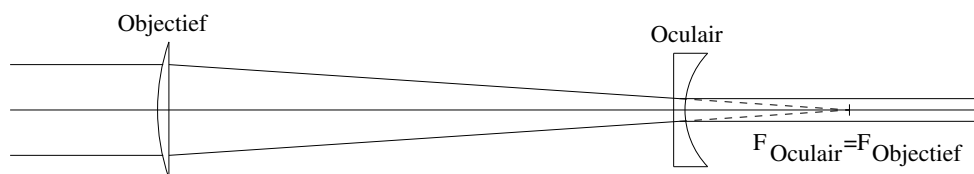
In de vorige modules is kennis gemaakt met lenzen en spiegels.

## 2 Soorten telescopen

Telescopen vallen uiteen in twee groepen, de refractors en de reflectors. Bij een refractor valt het licht eerst op een lens. Bij een reflector valt het licht eerst op een spiegel. Dit eerste optische element wordt ook wel het objectief genoemd. Het objectief zit het dichtst object (voorwerp) dat men bekijkt. Het optisch element dat het dichtst bij het oog (oculus) zit, noemt men het oculair.

De telescoop die door Galileo Galilei tijdens de renaissance werd gebruikt was een refractor. Deze telescoop had een speciale constructie, met een bol objectief en een hol oculair, en wordt ook wel de hollands kijker genoemd.

**Opdracht 1:** *Leg uit dat het beeld van de hollands kijker rechtop staat.*

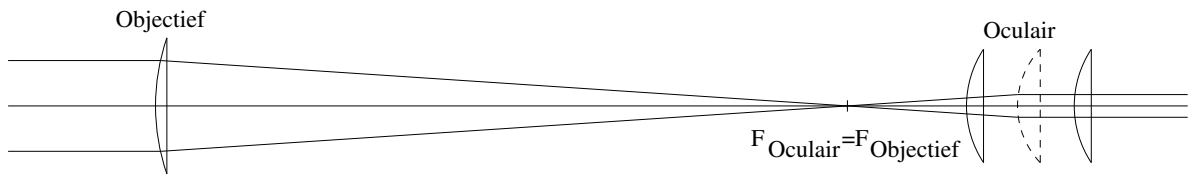


Figuur 2.1: De hollands kijker

De hollands kijker werd in de 17<sup>e</sup> eeuw verbeterd door Christiaan Huygens met een nieuw soort oculair. Dit oculair bestaat uit twee lenzen, samen werken deze als één lens. Dit nieuwe oculair is in de 18<sup>e</sup> eeuw nog eens door Jesse Ramsden aangepast.

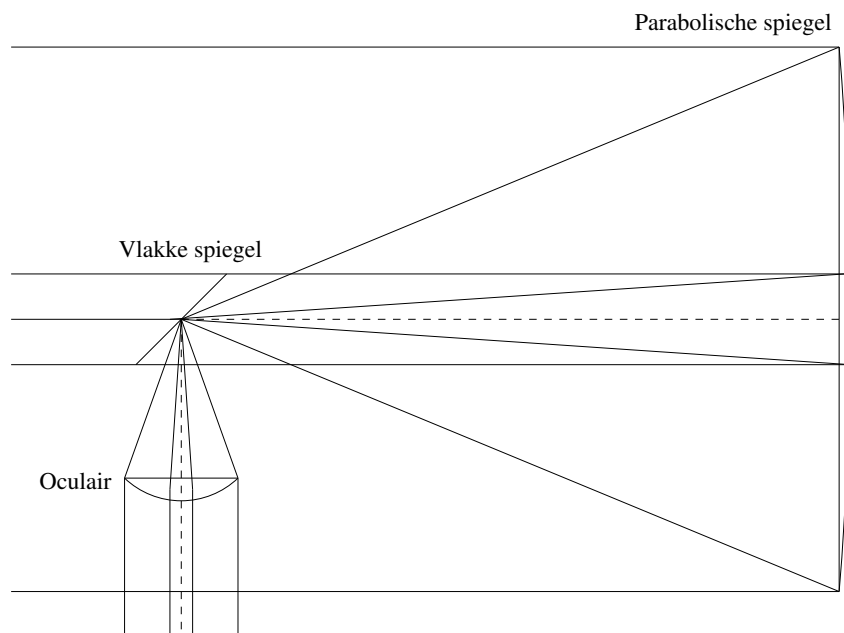
**Opdracht 2:** *Leg uit dat het beeld in een Huygens objectief op zijn kop staat.*

**Opdracht 3:** Leg uit wat het verschil tussen een Huygens objectief en een Ramsden objectief is.



Figuur 2.2: Een telescoop met een Huygens oculair

Isaac Newton, een tijdgenoot van Huygens, gebruikte een spiegel in plaats van een lens als objectief. Dit is de eerste refractor. Bij de spiegel vallen het brandpunt van de spiegel en het oculair samen. Deze brandpunten moeten wel samenvallen, dit hoeft echter niet precies op de vlakke spiegel.



Figuur 2.3: De Newton refractor

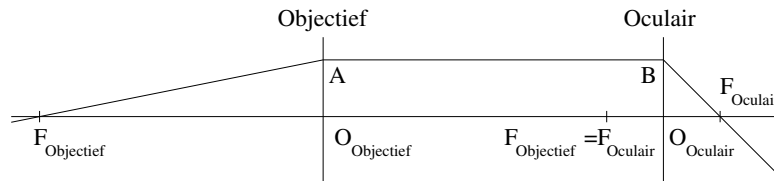
**Opdracht 4:** Een grote telescoop is altijd een reflector en nooit een refractor. Verklaar waarom dit zo is.

Eind 17<sup>e</sup> eeuw / begin 18<sup>e</sup> eeuw gebruikte Friedrich Wilhelm Herschel achtereenvolgens steeds grotere refractors om het zonnestelsel en de sterren te bestuderen. Hij kwam op het idee dat het zonnestelsel deel uitmaakte van het melkwegstelsel. Zijn zus Caroline Lucretia Herschel heeft deze telescopen ook gebruikt om de asteroïden te bestuderen. Zijn zoon John Frederick William Herschel zette hun werk voort en experimenteerde daarnaast ook met fotografisch materiaal.

### 3 Rekenen aan een telescoop

#### 3.1 De vergroting

Een aantal eigenschappen van een telescoop is uit te rekenen. Een eerste belangrijke eigenschap lijkt de vergroting van de telescoop. Zoals uit figuur 2.1, 2.2 en 2.3 blijkt valt er een evenwijdige bundel in het objectief en komt er een evenwijdige bundel uit het objectief. De vergroting van de telescoop is dus anders dan de vergroting van een lens.



Figuur 3.1: Schematische voorstelling van de telescoop

In figuur 3.1 zie je hoe het licht door een telescoop gaat. Als het licht voor het objectief door het brandpunt gaat, gaat het licht in de telescoop evenwijdig aan de hoofdas. Na het oculair gaat het licht weer door het brandpunt. Bij het objectief (aan de invallende kant) maakt het licht een hoek met de hoofdas:  $\angle AF_{\text{Objectief}}O_{\text{Objectief}}$ . Na het objectief zien we de hoek tussen de hoofdas en de lichtstraal als  $\angle BF_{\text{Oculair}}O_{\text{Oculair}}$ .

$$\tan(\angle BF_{\text{Oculair}}O_{\text{Oculair}}) = \frac{BO_{\text{Oculair}}}{F_{\text{Oculair}}O_{\text{Oculair}}} \quad (3.1)$$

$$\tan(\angle AF_{\text{Objectief}}O_{\text{Objectief}}) = \frac{AO_{\text{Objectief}}}{F_{\text{Objectief}}O_{\text{Objectief}}} \quad (3.2)$$

Deze formules delen we op elkaar:

$$\frac{\tan(\angle BF_{\text{Oculair}}O_{\text{Oculair}})}{\tan(\angle AF_{\text{Objectief}}O_{\text{Objectief}})} = \frac{\left(\frac{BO_{\text{Oculair}}}{F_{\text{Oculair}}O_{\text{Oculair}}}\right)}{\left(\frac{AO_{\text{Objectief}}}{F_{\text{Objectief}}O_{\text{Objectief}}}\right)} \quad (3.3)$$

De twee lijnstukken  $AO_{\text{Objectief}}$  en  $BO_{\text{Oculair}}$  hebben dezelfde lengte:

$$\frac{\tan(\angle BF_{\text{Oculair}}O_{\text{Oculair}})}{\tan(\angle AF_{\text{Objectief}}O_{\text{Objectief}})} = \frac{F_{\text{Objectief}}O_{\text{Objectief}}}{F_{\text{Oculair}}O_{\text{Oculair}}} \quad (3.4)$$

Voor kleine hoeken geldt dat de tangens van de hoek gelijk is aan de hoek in radialen:

$$\frac{\angle \text{BF}_{\text{Oculair}} \text{O}_{\text{Oculair}}}{\angle \text{AF}_{\text{Objectief}} \text{O}_{\text{Objectief}}} = \frac{f_{\text{Objectief}}}{f_{\text{Oculair}}} \quad (3.5)$$

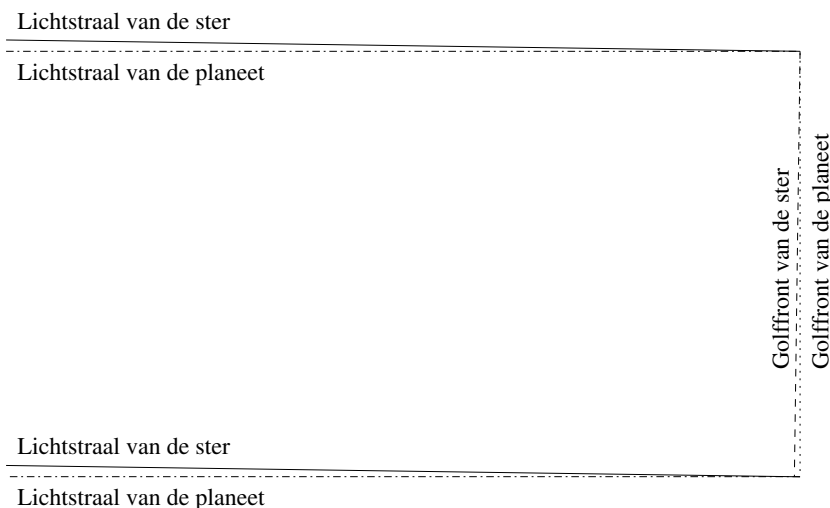
$$\text{Hoekvergroting} = \frac{f_{\text{Objectief}}}{f_{\text{Oculair}}} \quad (3.6)$$

**Opdracht 4:** *Christiaan Huygens bouwde telescopen. Hij ontdekte Titan met een telescoop met  $f_{\text{objectief}} = 12$ [voet] en  $f_{\text{oculair}} = 3$ [duim]. Bereken de vergroting van de telescoop waarmee hij Titan ontdekte.*

### 3.2 De resolutie

De hoekvergroting is wel van enig belang. Als je de gegevens van telescopen opzoekt, wordt deze vergroting echter zelden gegeven. Omdat de hoekvergroting ook van de sterkte van het oculair afhangt, is deze eenvoudig aan te passen.

De diameter wordt veel belangrijker gevonden. Het blijkt dat de diameter van de telescoop direct te koppelen is aan de resolutie of de nauwkeurigheid waarmee je met een telescoop hemelobjecten kan waarnemen. Als twee sterren dicht bij elkaar staan, of als een planeet rond een ster draait, komen de lichtstralen van de twee hemelobjecten bijna parallel bij de telescoop aan. Als vuistregel kun je zeggen dat de twee lichtbundels te scheiden zijn als ze boven en onder bij de spiegel meer dan een golflengte verschillen.



Figuur 3.2: De resolutie van een telescoop

De kleinste hoek die met een telescoop te zien is, is met de sinus of de tangens te berekenen:

$$\sin(\alpha) \approx \tan(\alpha) \approx \frac{\lambda}{\text{Diameter}} \quad (3.7)$$

De hoek tussen een planeet en een ster is te berekenen met:

$$\alpha = \frac{\text{afstand}_{\text{planeet,ster}}}{\text{afstand}_{\text{telescoop,ster}}} \quad (3.8)$$

**Opdracht 4:** Een alien op  $\epsilon$  Eri, op een afstand van 10,522 lichtjaar, bouwt een telescoop en kijkt daarmee naar de Zon. De alien ziet dat rond de Zon een klein blauw planeetje draait. Zoek op wat de afstand van de Aarde tot de Zon is. Zoek op wat de golflengte van blauw licht is. Bereken de diameter van de telescoop van de alien.

**Opdracht 5:** Leg uit of Mars, de rode planeet, moeilijker of makkelijker door de alien waar te nemen is.

In de praktijk heb je een grotere telescoop nodig omdat een ster veel meer licht geeft dan een planeet. De zon heeft een diameter van 1392000km en de Aarde heeft een diameter van 12742km. Dit is ongeveer 1000 maal zo klein.

**Opdracht 6:** Leg uit dat de Aarde als deze net zo veel licht per  $m^2$  geeft 1000000 minder licht geeft dan de zon. In werkelijkheid geeft de Aarde natuurlijk veel minder licht. Welke gevolgen heeft dit voor de nauwkeurigheid van de meting en daarmee de grootte van de telescoop?