



New Horizons en astronomen meten sterparallax

Marco van der List

Op 22 en 23 april 2020 vond er een uniek experiment plaats. Door de waarnemingen van de New Horizons sonde, die zich momenteel diep in de Kuipergordel bevindt, te combineren met observaties vanaf de Aarde probeerden astronomen niet alleen een nieuw record in afstandsmetingen te vestigen maar tegelijkertijd ook technieken te demonstreren die behulpzaam zullen zijn bij het navigeren van toekomstige interstellaire ruimteschepen. In dit unieke experiment konden niet alleen professionele telescopen een bijdrage leveren, maar ook amateurs die over minimaal een 15 centimeter telescoop en een digitale camera beschikten.

Wat is parallax?

Parallax is het verschijnsel dat de positie van een object ten opzichte van een achtergrond verandert als het vanuit twee verschillende punten wordt waargenomen. Een alledaags voorbeeld hiervan is de diepteperceptie van onze eigen ogen: het linkeroog zal een nabij object net iets verder naar rechts zien ten opzichte van een verder weggelegen achtergrond dan het rechteroog. Onze hersenen combineren deze twee verschillende beelden tot één beeld met diepte en de meeste mensen zijn redelijk goed in staat om op deze wijze afstanden in te schatten. Parallax is gebaseerd op het wiskundige principe van de driehoeksmeting. De mate van parallaxverplaatsing wordt kleiner als het object zich verder van de waarnemer bevindt.

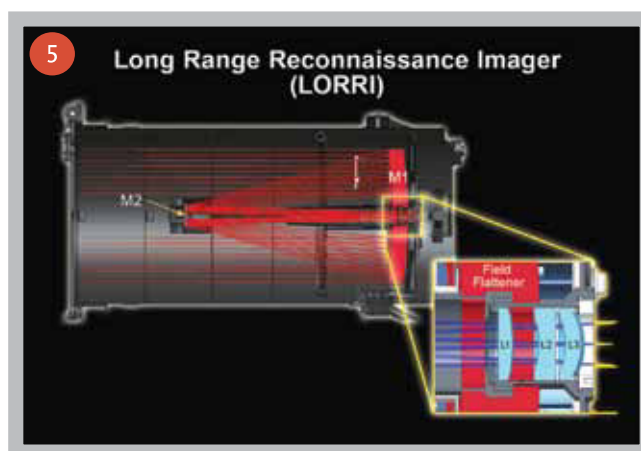
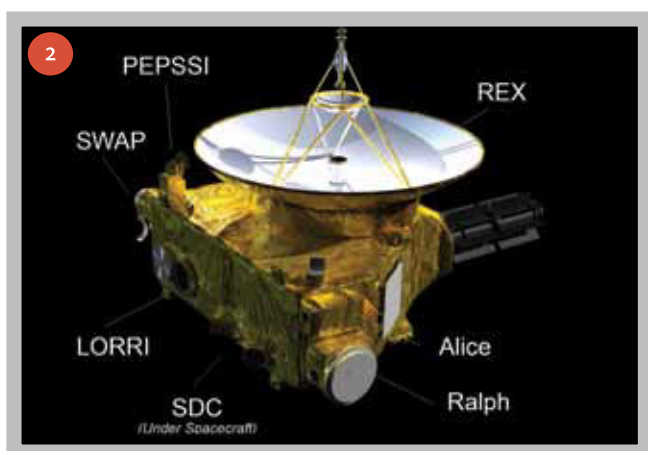
In de astronomie werd al vroeg gesuggereerd om het parallaxprincipe te gebruiken om afstanden tot de sterren te bepalen. Hiervoor zou men op verschillende punten in de omloopbaan van de Aarde de positie van sterren ten opzichte van de achtergrond moeten meten. Door dit met een interval van 6 maanden te doen, zou

de Aarde een halve omloop om de Zon hebben voltooid, waardoor een basislijn van maar liefst 299,2 miljoen kilometer ontstond, oftewel twee Astronomische Eenheden (AE). Al ruim voor de uitvinding van de telescoop probeerden astronomen met behulp van richtingzoekers en grote gradenbogen de parallax van nabije sterren te meten. Helaas zonder succes; het parallax effect bleek te klein te zijn. Dit argument werd zelfs eind 16^{de} eeuw door de Deense sterrenkundige Tycho Brahe gebruikt tegen het heliocentrische model van ons zonnestelsel zoals opgesteld door Copernicus: de parallax van sterren was immers zo klein, dat dit een bijna oneindige afstand tot de sterrensfere impliceerde, terwijl de parallax van de toen bekende verst weggelegen planeet Saturnus wel meetbaar was.

De eerste succesvolle parallaxmeting van een ster werd pas in 1838 door de Duitser Friedrich Bessel uitgevoerd op de sterrenwacht van Königsberg (tegenwoordig Kaliningrad). Van de dubbelster Cygni 61 mat hij een parallax van 0,31 boogseconde. Daar één boogseconde slechts

1/3600^{ste} deel van een 1 graad is, impliceerde dit dat Cygni 61 op de enorme afstand van 600.000 AE stond, oftewel 10,4 lichtjaar. Dit ligt dicht bij de huidige geaccepteerde waarde van 11,36 lichtjaar. Omdat stellaire parallax zo lastig te meten is, waren tegen het einde van de 19^{de} eeuw pas van ongeveer 60 sterren de afstanden bepaald. In het begin van de 20^{ste} eeuw vond met de introductie van de fotografie een sterke verbetering in de parallaxmeting van een groter aantal sterren plaats. De grootste parallax die werd gevonden (en dus van de dichtst bij de Zon staande ster) was van Proxima Centauri: 0,77 boogseconde, wat gelijk is aan de hoek van een 2 centimeter groot object op 5,3 kilometer afstand.

In 1989 werd de ESA-satelliet Hipparcos gelanceerd, de eerste astronomische satelliet specifiek ontwikkeld voor het bepalen van de parallax van nabije sterren. Hipparcos kon de parallax met een nauwkeurigheid van ongeveer 1 milliboogseconde meten, waardoor afstanden tot ongeveer 1600 lichtjaar gemeten konden worden.



Figuur 1. 1) New Horizons begin 2005 in aanbouw in de cleanroom van de Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory in Laurel, Maryland [NASA/JHUAPL/SwRI]. 2) De zeven wetenschappelijke instrumenten van New Horizons. De LORRI camera is grotendeels ingebouwd en alleen de telescoopcover is zichtbaar [NASA/JHUAPL/SwRI]. 3) In 2004 installeren technici het LORRI instrument in de sonde tijdens de assemblage van New Horizons [NASA/JHUAPL/SwRI]. 4) Artistieke impressie van New Horizons tijdens de passage van Pluto en haar maan Charon in juli 2015 [NASA/JHUAPL/SwRI]. 5) Schema van de lichtgang door het LORRI instrument. De letters M staan voor Mirrors (spiegels) en L voor Lenses. [NASA/JHUAPL/SwRI]

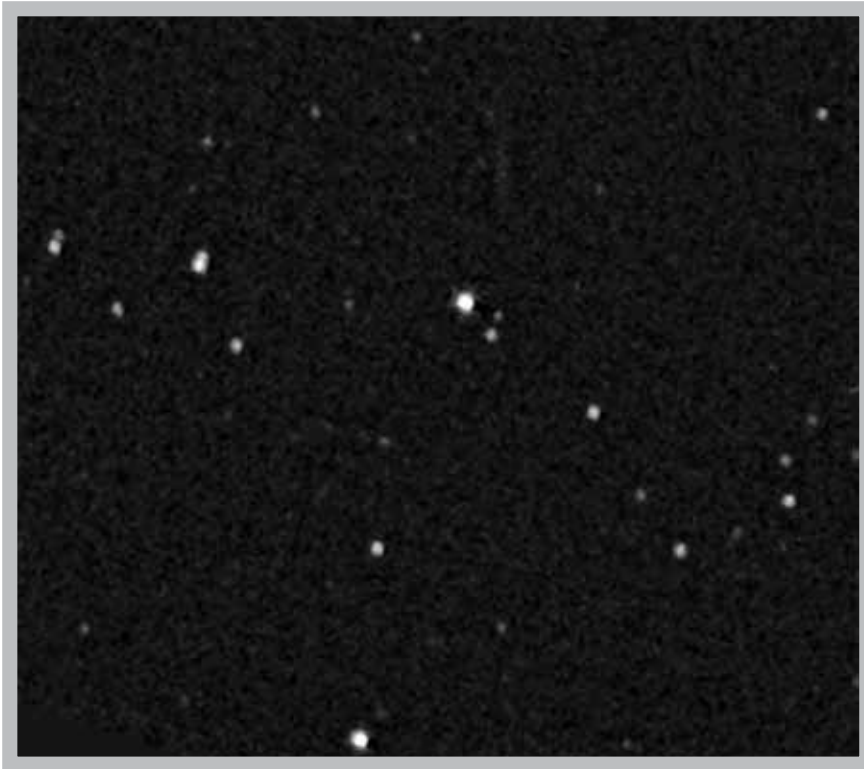
In 2013 werd de opvolger van Hipparcos, Gaia, gelanceerd. Gaia is in staat om parallaxhoeken van sterren tot magnitude +15 met een nauwkeurigheid van 0,02 milliboogseconde te meten, waarmee afstanden tot op 30.000 lichtjaar bepaald kunnen worden. Dat is vergelijkbaar met de afstand tot het Galactisch centrum. Hoewel Gaia in een halobaan rond het Langrange-2 punt van het Aarde-Zon systeem draait, is de basislijn nog steeds

van dezelfde grootte als die van de 19^{de} eeuwse astronomen, namelijk 2 AE.

De New Horizons missie

New Horizons is in januari 2006 gelanceerd als eerste interplanetaire missie naar de Kuiper gordel. De Kuiper gordel is gelegen voorbij de baan van de planeet Neptunus en bevat miljarden uit ijs en steen bestaande hemellichamen. De dwergplaneet Pluto, ontdekt in 1930 en

lange tijd beschouwd als de negende planeet van ons zonnestelsel, is een van de grootste objecten in de Kuiper gordel. Vanaf 1992 zijn er nog duizenden objecten in dit gebied ontdekt, in afmeting variërend van tientallen tot net iets groter dan 2000 km. Pluto was het hoofddoel van de New Horizons missie en de dwergplaneet en haar manen werden in juli 2015 door de sonde gepasseerd (zie ook het artikel "New Horizons bezoekt Pluto"



Figuur 2. Opname van Wolf 359 gemaakt door het LORRI instrument van New Horizons. [NASA/JHUAPL/SwRI]

van de hand van de auteur in nummer 2015-3 van Ruimtevaart).

New Horizons vloog daarna steeds dieper de Kuipergordel in, om net als de Pioneer-10 en -11, en Voyager-1 en -2 uiteindelijk het zonnestelsel definitief te verlaten. Op nieuwjaarsdag 2019 vloog New Horizons langs het Kuipergordel object 2014 MU69 Arrokoth, wat "hemel" betekent in de Powhatan-Indiaanse taal. Eerder stond 2014 MU69 bekend onder de voorlopige naam van Ultima Thule.

Het Parallax-experiment

Op 22 en 23 april heeft New Horizons, inmiddels meer dan 7 miljard km van de zon verwijderd, een aantal opnamen gemaakt van een tweetal nabij gelegen sterren, zodat de verplaatsing ten opzichte van de achtergrondsterren met een waarnemer op Aarde vergeleken kan worden.

Voor de parallaxmeting werd de Long Range Reconnaissance Imager (LORRI), een van de zeven instrumenten aan boord, gebruikt. De telescoop zelf is gebaseerd op het Ritchey-Chrétien ontwerp en de hoofdspiegel heeft een doorsnede van 208 mm en een effectieve brandpuntsafstand van 2630 mm. Het licht wordt geprojecteerd op een CCD detector met 1.048×1.048 pixels. Hoewel

dit dus slechts één megapixel is en laag vergeleken met hedendaagse fotosensoren, moet men wel bedenken dat LORRI kort na de eeuwwisseling is ontworpen en gebouwd. De waarde van deze ene megapixel ligt dan ook in haar unieke positie aan boord van New Horizons. LORRI heeft geen bewegende delen en om de telescoop te richten wordt de gehele sonde naar het doel gedraaid. Het beeldveld van LORRI bedraagt iets minder dan $1/3$ graad.

Allereerst maakte New Horizons op 22 april om 10:06 uur UT opnamen (Figuur 2) van Proxima Centauri, de ster die met 4,26 lichtjaar de kleinste afstand tot ons zonnestelsel heeft. Omdat Proxima echter alleen vanaf een breedtegraad zuidelijker dan 20° noorderbreedte kan worden waargenomen is zij dus niet zichtbaar voor Europese waarnemers.

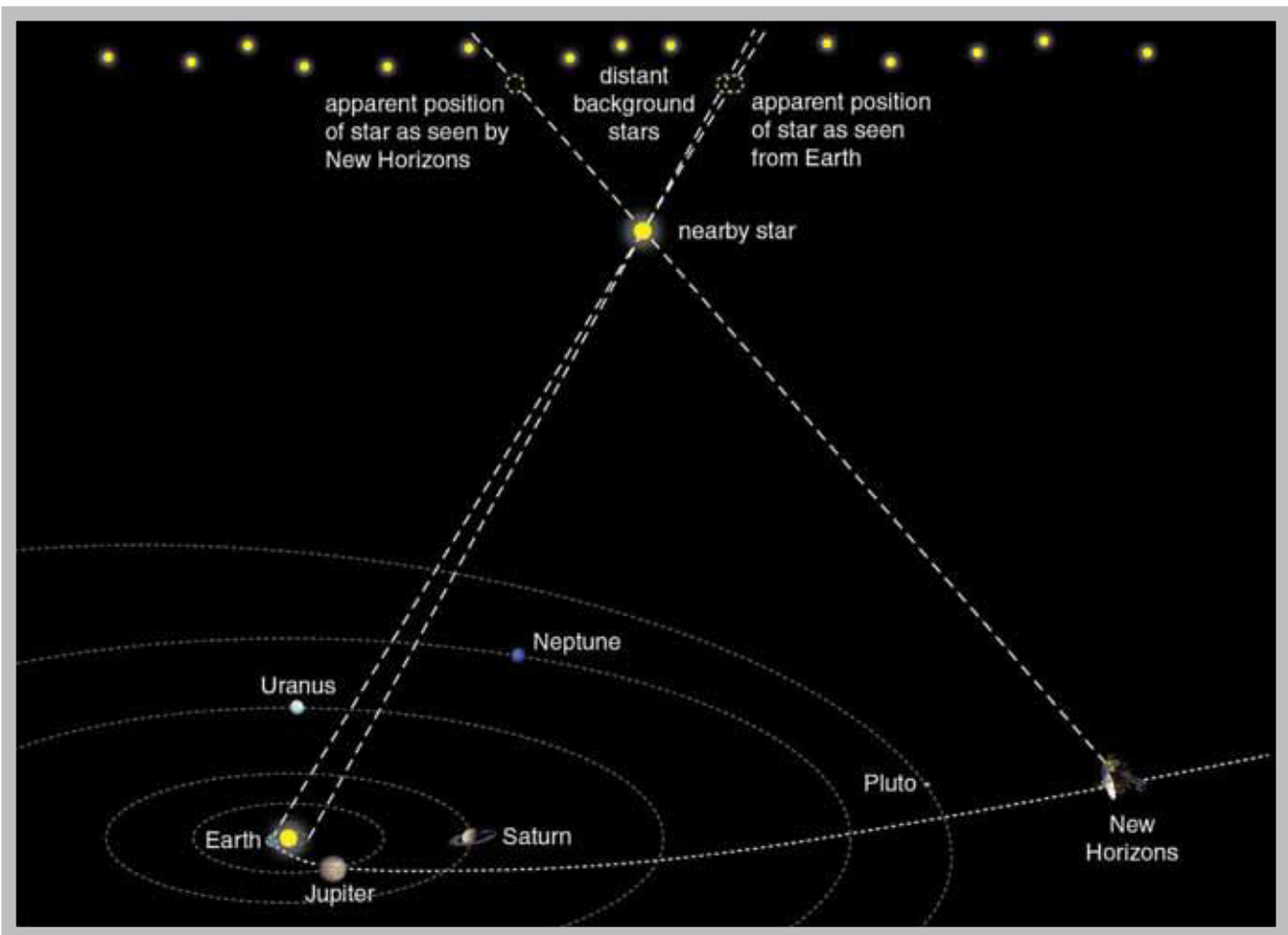
Dat lag gelukkig anders met de tweede ster, Wolf 359. Dit is een ster op 7,89 lichtjaar en is na het Proxima/Alfa Centauri systeem en de Ster van Barnard de derde dichtst bijstaande ster. Wolf 359 is een rode dwerg en ondanks dat ze zo dichtbij staat, is haar lichtsterkte maar $1/50.000^{\text{ste}}$ deel van die van onze eigen zon. Met magnitude +13,5 is ze zo lichtzwak dat ze niet met het blote oog zichtbaar is en alleen met de grotere telescopen. Wolf

359 heeft een massa van ongeveer 0,11 zonsmassa's en de diameter is 0,18 zondiameters. De oppervlaktetemperatuur bedraagt 3500 K wat de ster zo'n 2000 graden koeler maakt dan onze centrale ster.

Het LORRI instrument aan boord van New Horizons maakte op 23 april om 7:45 uur UT een serie foto's van Wolf 359. Dit tijdstip viel in Nederland overdag, dus bij daglicht, en was specifiek geselecteerd zodat het op dat moment nacht was voor waarnemers in Noord-Amerika. De meeste waarnemers in Europa maakten hun opnamen de nacht voor of de nacht na het tijdstip dat de sonde haar foto's maakte. Het zou trouwens nog tot begin juni duren eer de opnamen van New Horizons naar de Aarde waren overgeseind en de verwerking kon beginnen.

Ook de auteur ondernam een poging om in de nacht voor of na het tijdstip waarop New Horizons haar opnamen maakte, zelf Wolf 359 vast te leggen. Een van de grootste variabelen voor een Nederlandse waarnemer is natuurlijk het weer. Gelukkig was het de avond van 22 april helder onbewolkt weer. De door de auteur gebruikte telescoop is van het type Newton met een spiegel diameter van 200 mm en een brandpuntsafstand van 1000 mm. De gebruikte camera is uitgerust met een Sony 294IMX sensor met 4.144×2.822 pixels. In combinatie met de telescoop levert dit een beeldveld van ongeveer één graad bij $2/3$ graad op. Deze camera beschikt over een peltierkoeling waarmee temperatuur van de sensor tot -15°C wordt teruggebracht om de thermische signaalruis te onderdrukken.

In tegenstelling tot een sonde zoals New Horizons is de Aarde geen stabiel waarnemingsplatform; eens per dag draait zij immers om haar as. De telescoop wordt daarom op een equatoriale montering geplaatst met een van de assen parallel aan de poolas van de Aarde. Een volgmotor zorgt er dan voor dat de Aardrotatie in real-time gecompenseerd wordt en dat de telescoop een vaste oriëntatie in de 3D-ruimte houdt. Tijdens het belichten van de opnamen houdt een extra camera, gemonteerd op een kleinere volgkijker, een relatief heldere ster in de gaten en stuurt de eventueel nog benodigde correcties naar de volgmotoren. Hiermee kunnen lange en scherpe belichtingen gemaakt worden. De door de auteur



Figuur 3. Linksboven: de 20 cm Newton telescoop met camera's in de achtertuin van de auteur op de avond van de Wolf 359 waarneming. De telescoop staat hier in zijn "parkeerstand" wijzend naar de Poolster [Marco van der List]. Rechtsonder: detail van de rode hoofdcamera en de volgtelescoop met de grijze camera. Beide camera's en de telescoop montering worden door een computer aangestuurd en uitgelezen [Marco van der List]. Onder: het principe van parallax geïllustreerd. [New Horizons contributing scientist Brian May]



Figuur 4. Opname van Wolf 359 gemaakt door de auteur met een 20 cm Newton telescoop. De positie van Wolf 359 is aangegeven met de twee rode streepjes. [Marco van der List]

gemaakte opnamen van Wolf 359 hebben een belichtingstijd van 300 seconden (Figuur 4).

Als de New Horizons opname over die van de auteur gelegd wordt (Figuur 5), blijkt dat Wolf 359 vanuit de twee verschillende waarnemingen over een afstand van 16 boogseconden verschoven is (met een foutmarge van ± 1 boogseconde).

Op het moment van de opname bevond de sonde zich op 7,008 miljard km van de Aarde, wat neerkomt op 46,84 AE. Deze laatste afstand geeft de basislijn voor onze parallax meting. Op het moment van de waarneming maakte de basislijn New Horizons-Aarde een hoek van $125,5^\circ$ met de lijn Aarde-Wolf 359, zodat de effectieve basislijn loodrecht op de richting naar de ster met 38,13 AE iets korter is. Hieruit volgt dan een afstand naar Wolf 359 van 7,77 ($\pm 0,46$) lichtjaar. Dit komt verrassend goed overeen met de huidige geaccepteerde afstand van 7,86 lichtjaar! Hoewel dit natuurlijk een mooi resultaat is, zeker als men beschouwt dat een van de deelnemende instrumenten in een Nederlandse achtertuin stond, ligt de kracht van dit experiment juist in de omgekeerde meting.

Omdat een verschuiving van 16 boogseconden van een ster ten opzichte van de achtergrond voor een camera aan boord van een interplanetaire sonde (die op interstellair schaal zich nog dicht bij de zon bevindt) al goed meetbaar is, kan men uit deze meting en de bekende sterposities de positie van de sonde in de ruimte terugrekenen. Nu is daar voor interplanetaire sondes die zich zelfs in de buitengebieden van ons zonnestelsel bevinden niet direct behoefte aan. Zij hebben andere methoden (radiosignalen, posities van planeten t.o.v. achtergrondsterren) om hun plaats in het zonnestelsel te bepalen. Dat wordt echter een heel andere verhaal voor toekomstige interstellair sondes.

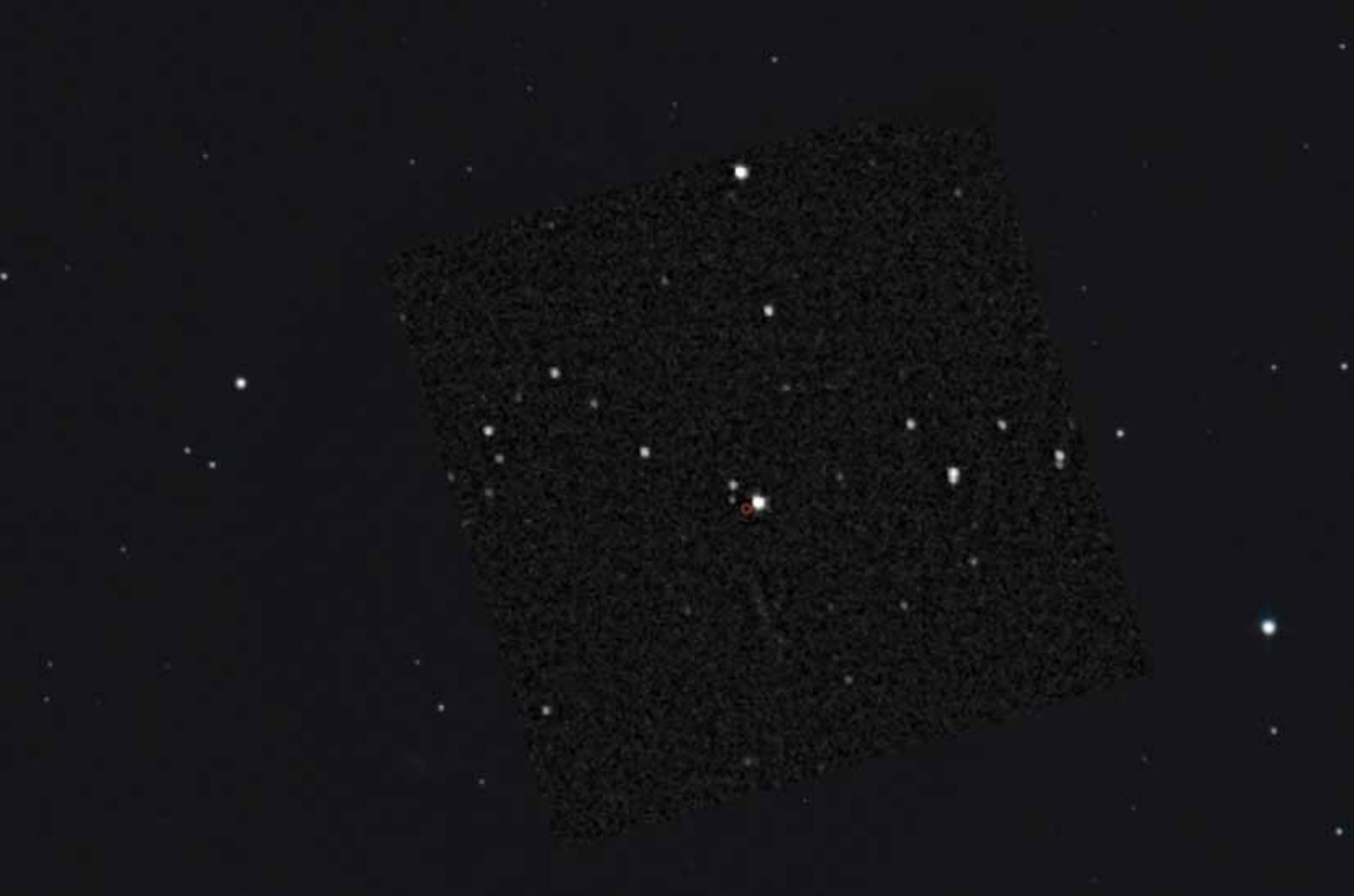
Toekomst

Het experiment met New Horizons heeft gedemonstreerd dat als een interstellair ruimteschip ons zonnestelsel verlaat, het verschuiven van nabij gelegen sterren een waardevol middel is om de positie te kunnen bepalen. Omdat New Horizons met iets meer dan 7 miljard kilometer, nog maar slechts 6,5 lichtuur van de Aarde is verwijderd, is dit maar een fractie van een

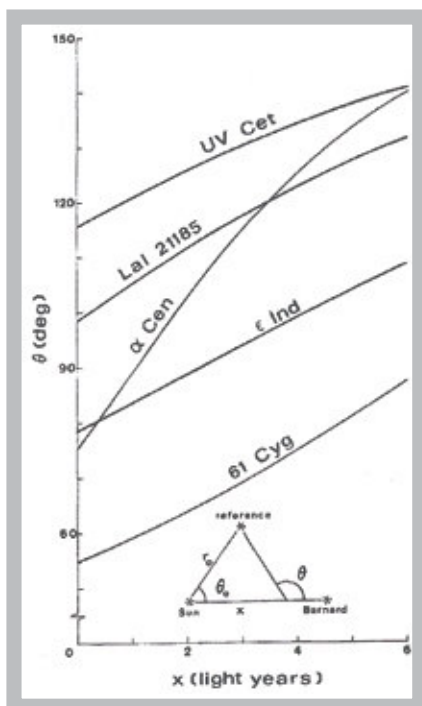
interstellair reis. Als een interstellair sonde verder van de zon af reist, dan zal de parallax van nabij gelegen sterren veel sterker veranderen, tot zelfs tientallen graden.

Hier werd door de British Interplanetary Society (BIS) al in de jaren 1970 aandacht aan besteed in het kader van hun Project Daedalus studie naar de haalbaarheid van een interstellair ruimtevaartuig. Daedalus zou met behulp van kernfusiemotor binnen vier jaar een snelheid van 12% van de lichtsnelheid moeten kunnen bereiken. Vijftig jaar na het begin van de missie zou het toestel dan de Ster van Barnard (5,9 lichtjaar van de Zon) passeren. Indertijd dacht men aanwijzingen te hebben dat de Ster van Barnard over een planetenstelsel beschikte, wat het voor deze studie een veel aantrekkelijker reisdoel maakte dan het meer nabij gelegen Alfa Centauri systeem.

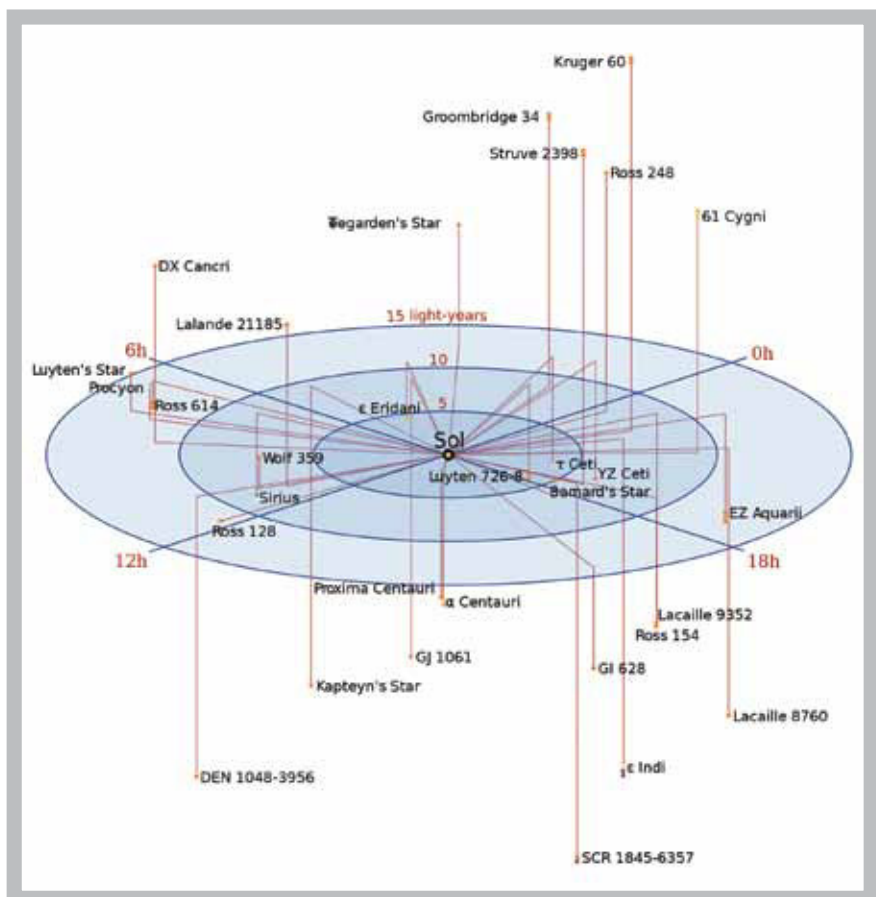
In de kader van het Daedalus project, werd ook het navigatieprobleem bestudeerd. In Grafiek 1 is het parallax effect van een aantal nabij gelegen sterren gedurende de reis van Daedalus weergegeven. De horizontale as geeft de door Daedalus afgelegde afstand in lichtjaren aan, en de verticale as de hoek tussen de vliegri-



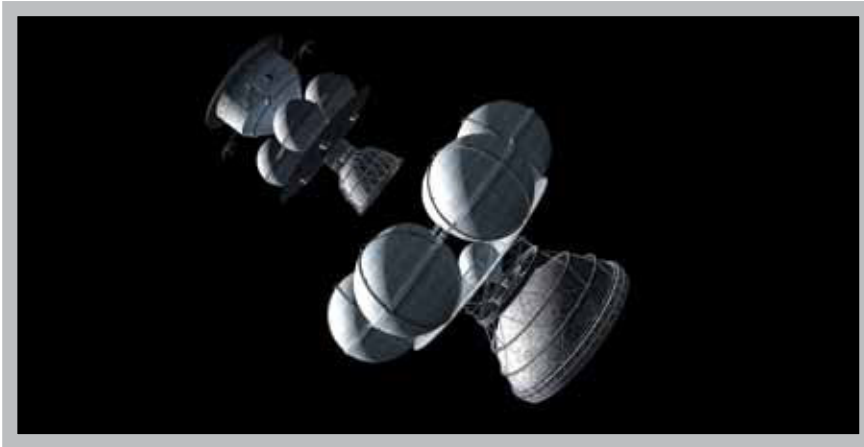
Figuur 5. De New Horizons opname, nu geroteerd en verschaald over de opname van de auteur gelegd. De rode cirkel duidt de positie aan waar Wolf 359 vanaf de Aarde is waargenomen. [NASA/JHUAPL/SwRI/Marco van der List]



Grafiek 1. De verplaatsing van referentiesternen tijdens een interstellair reis van de zon naar de Ster van Barnard. Horizontale as geeft de afgelegde afstand in lichtjaren aan; de verticale as de hoek tussen de vliegrichting en de richting van een heldere nabije ster. [BIS, Project Daedalus Final Report, 1978]



Figuur 6. De zon en de meeste nabije sterren tot 15 lichtjaar. [Wikimedia Commons]



Visualisatie van het Daedalus concept voor een interstellair ruimteschip. [BIS/Adrian Mann]

ting en de richting van een heldere nabije ster. Wolf 359 is niet in deze grafiek opgenomen omdat de ster met magnitude +13,5 veel te zwak is om gemakkelijk als navigatiester te gebruiken, maar gelukkig is er een aantal alternatieve sterren die veel helderder zijn.

Uit deze grafiek is te zien dat de meeste sterren een grote parallax vertonen tijdens de reis en dus goed bruikbaar zijn.

Alfa Centauri vertoont in dit specifieke geval de grootste parallax. Aan het begin staat de ster op een hoek van 75° met de vliegrichting. Naarmate de reis vordert verschuift Alfa Centauri naar 135° en verdwijnt als het ware richting de achteruitkijkspiegel van het sterrenschip.

Om de parallaxmeting effectief in te kunnen zetten voor toekomstige interstellaire reizen moet er nog veel onderzoek

gedaan worden om een voldoende nauwkeurige oplossing te krijgen. De interstellaire afstanden zijn enorm groot, en de planetenstelsels rondom de sterren maken daar maar een fractie van uit. Dat blijkt wel uit het feit dat we afstanden in ons eigen zonnestelsel kunnen uitdrukken in 8,3 lichtminuten naar de zon of 4,1 lichtuur naar de verre planeet Neptunus, maar zelfs de dichtstbijstaande ster op maar liefst 4,26 lichtjaar (meer dan 37.300 lichtuur) staat. Er is dus al een hoge nauwkeurigheid nodig om een sterrenschip überhaupt door een relatief klein planetenstelsel te laten vliegen, zeker als dan ook nog een specifieke planeet in dat systeem het doel is.

De positie en ook de eigenbewegingen van de sterren door de ruimte moeten nauwkeurig bekend zijn, zodat op elk moment van de missie de absolute positie afgeleid kan worden. Gaia levert hier al belangrijke bijdragen, terwijl toekomstige astrometrische missies die nog kleinere parallaxmetingen toelaten al in conceptvorm bestudeerd worden.