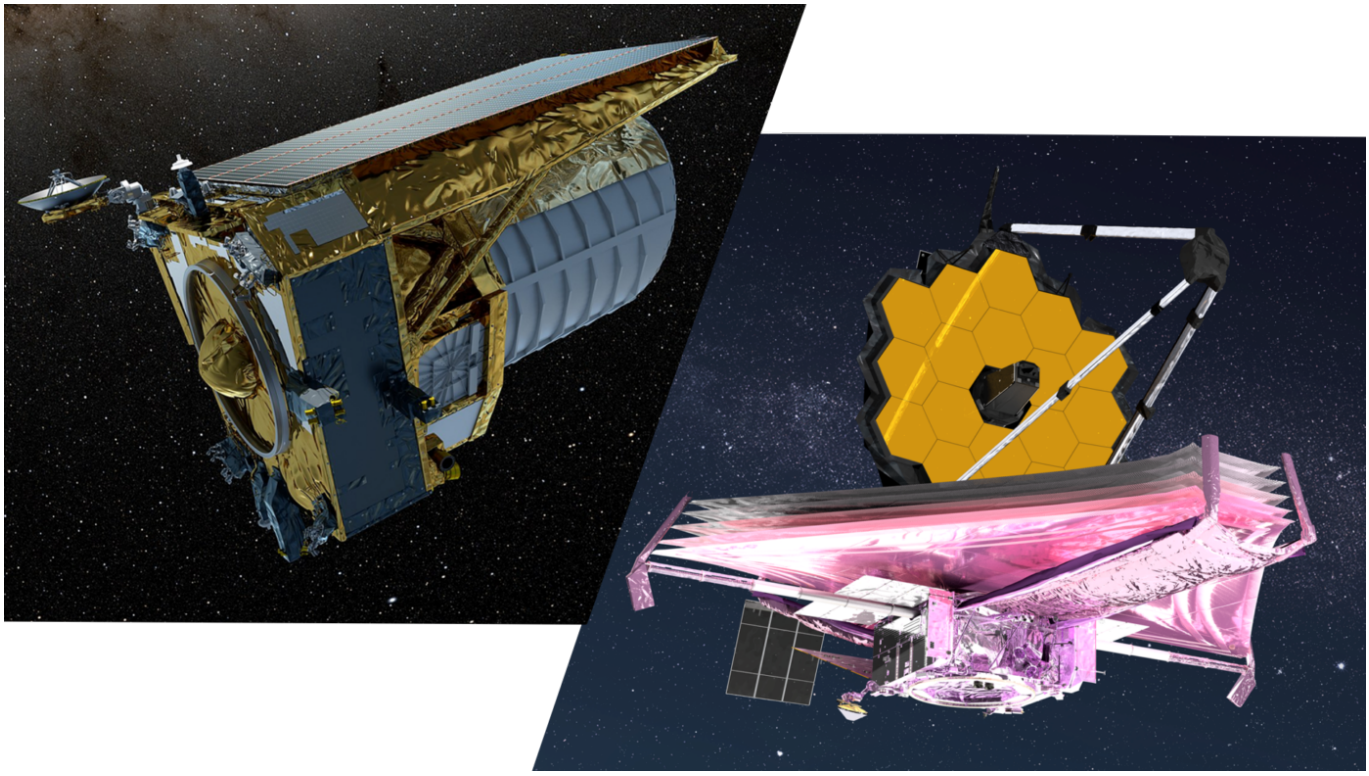
Een theekransje van telescopen

De Euclid-telescoop is recent aangekomen bij het zogeheten lagrangepunt L2, waar hij zich heeft aangesloten bij de James Webb-telescoop en Gaia. Deze drie zwaargewichten onder de telescopen hebben allemaal hun eigen kracht, maar ze zullen elkaar ook aanvullen, om zo een breed scala aan mysteries in de kosmologie te ontrafelen.



Afbeelding 1. Euclid en Webb. Artist's impressions van Euclid (links) en Webb (rechts). Credits: ESA, CC BY-SA IGO 3.0 (links); NASA GSFC CIL/Adriana Manrique Gutierrez (rechts).

Het Donkere Universum

Donkere energie is een van de grootste raadsels in de kosmologie van dit moment. Donkere energie is een onbekende component van het heelal, die de ruimte uit elkaar duwt en zo de aantrekking door zwaartekracht tegenwerkt. Einstein zelf was de eerste die zo'n mechanisme voorstelde. Men nam in zijn tijd aan dat het heelal statisch was, maar dat is vanwege de aantrekkende zwaartekracht niet mogelijk in een heelal dat voor 100% uit materie en straling

bestaat. Einstein voegde dus een *kosmologische constante* toe aan zijn vergelijkingen die de ruimte weer uit elkaar zou duwen.

Al snel bleek door observaties van Edwin Hubble dat het heelal niet statisch, maar aan het uitdijen was. Aan het eind van de jaren 90 bleek uit supernova-observaties dat deze uitdijing bovendien aan het versnellen was, iets wat perfect verklaard kon worden door een hogere waarde van Einsteins kosmologische constante. De term 'donkere energie' komt uit dezelfde tijd, en is analoog aan de al eerder geaccepteerde kreet 'donkere materie'. Tegenwoordig wordt donkere energie als term gebruikt voor alle mogelijke componenten in het heelal die de ruimte uit elkaar duwen. De kosmologische constante is namelijk maar één mogelijke aanname; er bestaat een veelvoud aan theoretische manieren om het heelal anderszins te laten uitdijen.

Achterhalen wat donkere energie precies is, is een van de hoofddoelen van de Euclid-missie. Met als slogan "*Exploring the Dark Universe*" gaat Euclid een derde van de hele hemel in kaart brengen, met genoeg precisie om 10 miljard jaar terug in de tijd te kijken. Het doel is om in zes jaar tijd de driedimensionale posities van 35 miljoen sterrenstelsels te meten, om zo de grootschalige structuur – meestal aangeduid met de Engelse term *large-scale structure* – van het heelal in kaart te brengen. Die large-scale structure bestaat uit een groot web van filamenten bestaande uit sterrenstelsels en clusters van sterrenstelsels, en daar tussenin *voids*, gebieden waar de dichtheid een stuk lager ligt. Deze voids en filamenten veranderen naarmate het heelal uitdijt, en Euclid zal dus erg precies deze uitdijing kunnen gaan bepalen aan de hand van de evolutie van de large-scale structure.

Naast donkere energie gaat Euclid zich ook bezighouden met donkere materie. Donkere materie beïnvloedt namelijk ook de large-scale structure, en verschillende modellen voorspellen andere effecten. Dit betekent ook dat we nu de effecten van donkere energie en donkere materie uit elkaar moeten kunnen trekken, wat bijzonder lastig is als je maar één type meting doet. Daarom gaat Euclid ook de tweedimensionale vormen van 1.5 miljard sterrenstelsels meten, met bijna dezelfde scherpte als de Hubble-telescoop. Maar waar Hubble per opname een gebied kan zien ter grootte van ongeveer 1% van een volle maan, kan Euclid in één keer een oppervlakte waarnemen van bijna drie keer een volle maan. De precisie van Euclids camera is daardoor een stuk slechter dan die van Hubble.

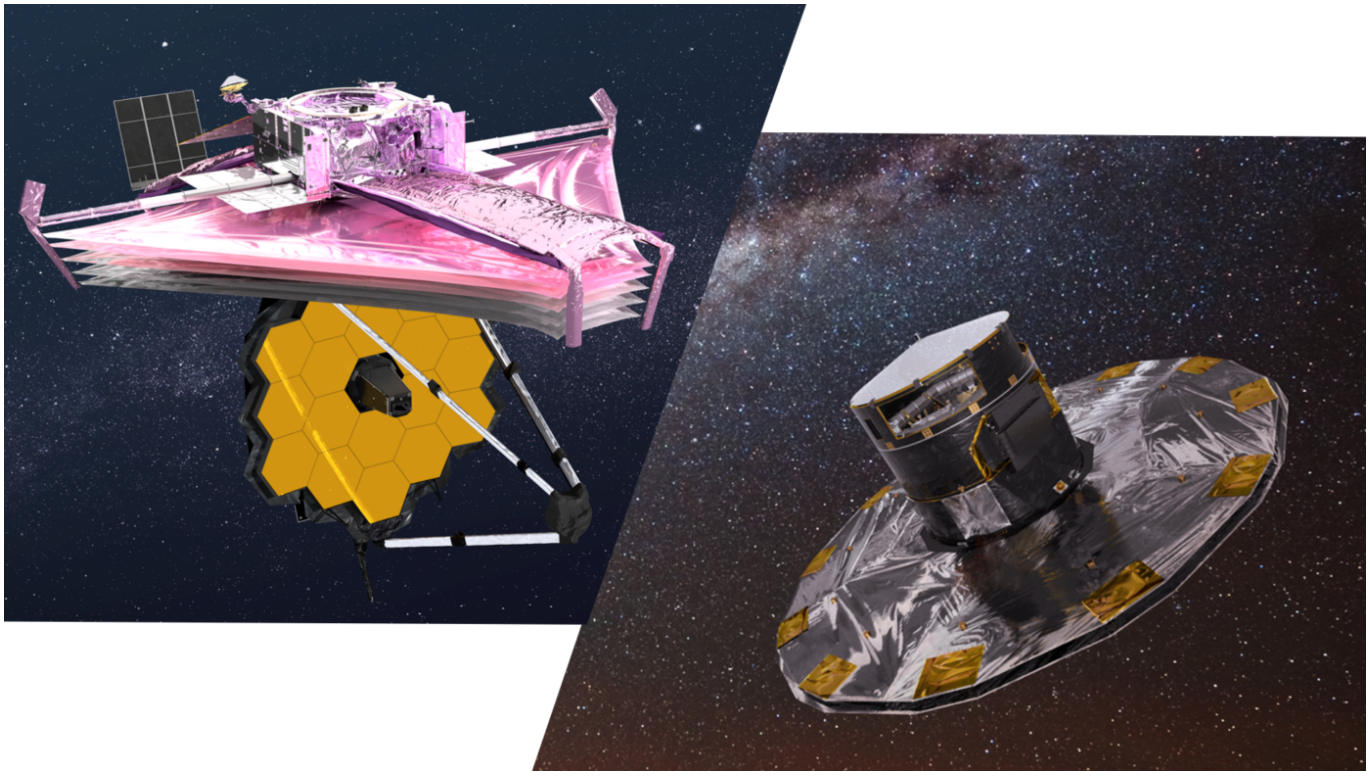
De goede scherpte wordt dus behaald ondanks de kwaliteit van de camera, en de verklaring zit in het feit dat Euclid zich op het lagrangepunt L2 bevindt. Een *lagrangepunt* is een punt in de ruimte waar de zwaartekrachtseffecten van de aarde en de zon elkaar balanceren. Deze punten bewegen zich voort met dezelfde snelheid als de aarde. Het L2-punt ligt op de rechte lijn door de aarde en de zon, maar 1,5 miljoen kilometer verder van de zon af dan de aarde. Het L2-punt biedt echter geen stabiel evenwicht, waardoor satellieten er niet statisch in de ruimte kunnen blijven hangen. In plaats daarvan zitten ze op zogeheten *halo orbits*, semi-stabiele banen rond het lagrangepunt. Doordat de satellieten rond L2 bewegen kunnen ze op deze plek wel continu signalen ontvangen van de aarde en zonne-energie opwekken, maar is de straling van de zon en de aarde niet zodanig dat het de camera's verstoort.

Om precies dezelfde reden beweegt de James Webb Space Telescope ook rond L2. Webb is een infraroodtelescoop, in tegenstelling tot Euclid en Hubble die zich richten op het spectrum van zichtbaar licht. Omdat alle warme objecten infrarood licht uitstralen, was de grote uitdaging het zo goed mogelijk verkleinen van dat soort bronnen van storing bij het ontwerpen van de satelliet. Webb heeft daarom een zonneschild dat het licht van de zon, aarde en maan blokkeert; niet alleen om de directe straling te weerkaatsen maar ook om te voorkomen dat de telescoop opwarmt en zelf gaat stralen. Dit zonneschild is juist effectief vanwege Webbs baan rond L2, die het mogelijk maakt om Webb te allen tijden met zijn zonneschild in de richting van de zon en aarde te laten staan. Hierdoor blijft Webb op een constante temperatuur van 50 K (-223,2 ºC), waardoor de telescoop extreem scherpe en gevoelige opnames kan maken.

En waar de mooie plaatjes er zeker mogen wezen, is dit bij lange na niet het enige doel van de James Webb-telescoop. Een van de kerndoelen van Webbs missie is het observeren van de eerste sterren en sterrenstelsels, en een tweede is het verder bestuderen van de evolutie van sterrenstelsels en clusters. Hoe deze evolutie precies verloopt, hangt weer samen met de eigenschappen van donkere materie, en hierin overlapt Webb dan ook met Euclid.

Maar waar Euclid het moet hebben van grote hoeveelheden data, is Webb gespecialiseerd in de precisie. Nu al zijn er meerdere sterrenstelsels waargenomen van meer dan 13,4 miljard jaar oud, minder dan 400 miljoen jaar na de oerknal, in een *deep field*-opname van hetzelfde gebied als het zogeheten Hubble Ultra Deep Field. In diezelfde opname zitten nog 100.000 andere sterrenstelsels, die samen een kleine maar erg gedetailleerde momentopname

vormen van hetzelfde kosmische web dat Euclid gaat onderzoeken.



Afbeelding 2. Webb en Gaia. Artist's impressions van Webb (links) en Gaia (rechts). Credits: (links) NASA GSFC CIL/Adriana Manrique Gutierrez; (rechts) ESA/ATG medialab; background: ESO/S. Brunier, CC BY-SA IGO 3.0.

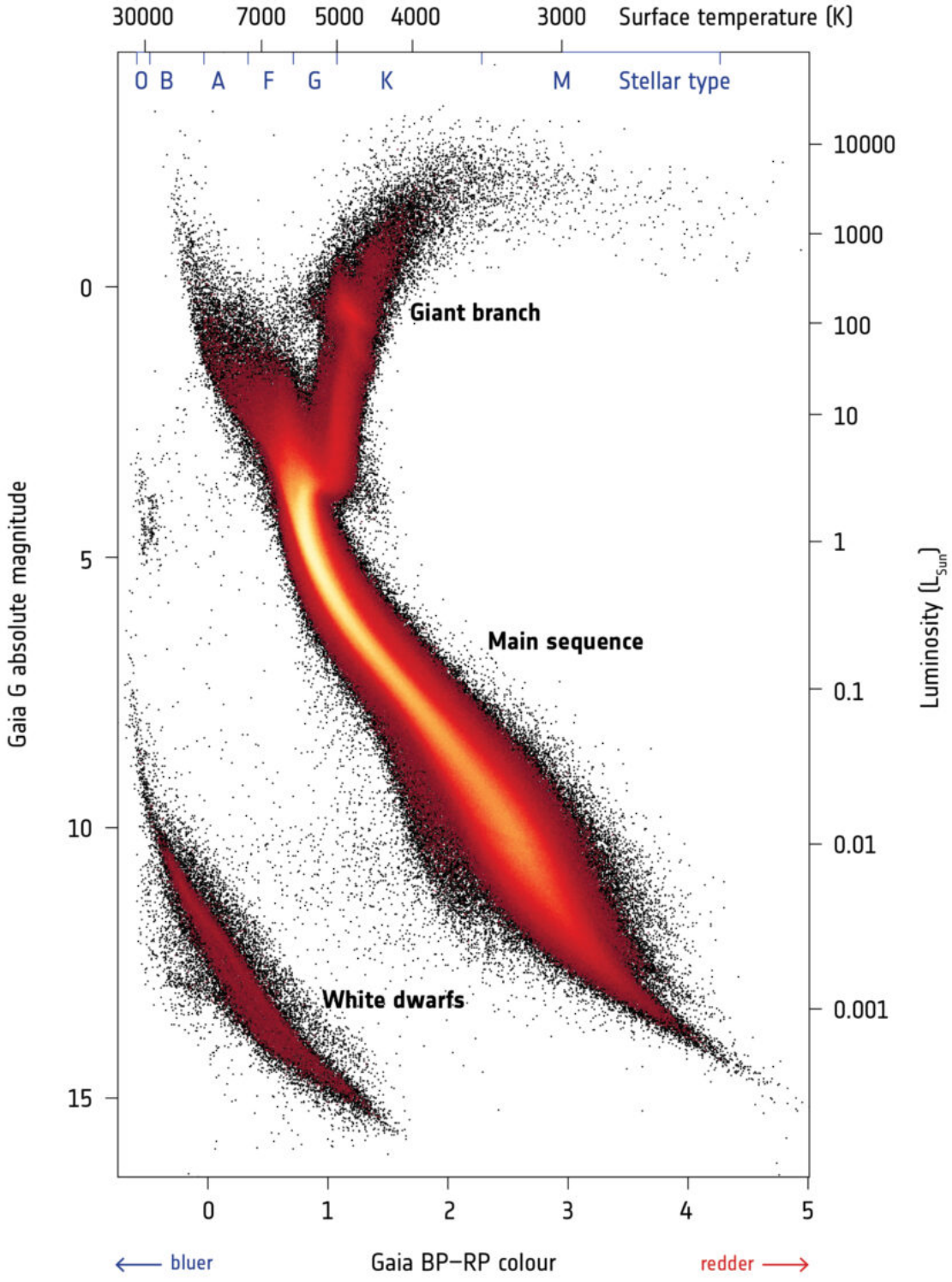
Het leven van een ster

De andere kerndoelen van Webb zijn het observeren van zich nog vormende sterren en planeten, en het onderzoeken van exoplaneten. Deze systemen zenden licht uit in de zichtbare en infrarood-delen van het spectrum, maar zichtbaar licht wordt vaak geblokkeerd door het omringende stof van een vormende ster. Webb kan daar in infraroodlicht recht doorheen kijken en direct observeren hoe sterren en planeten vormen. Door middel van spectroscopie kan Webb daarnaast ook vaststellen wat voor atomen en moleculen aanwezig zijn in de atmosferen van exoplaneten, in de hoop dat we tekenen van leven kunnen ontdekken.

Het onderzoeken van stellaire evolutie en exoplaneten deelt Webb met de Gaia-telescoop, die ook direct maar een foto van Webb heeft gemaakt nadat die telescoop bij L2 was aangekomen. Gaia hangt al sinds 2013 rond L2, en heeft in die tijd 1,8 miljard objecten binnen en buiten onze Melkweg waargenomen. Gaia is een *astrometrische* telescoop, en is

dus gespecialiseerd in het vaststellen van de bewegingen van sterren. Meer dan 1,5 miljard sterren zijn ondertussen op deze manier bekeken door Gaia, ongeveer 1% van alle sterren in de Melkweg! Daarnaast kijkt Gaia naar onder andere planetoïden, sterren in het Andromeda-sterrenstelsel en quasars.

→ GAIA'S HERTZSPRUNG-RUSSELL DIAGRAM



Afbeelding 3. Gaia's Herzsprung-Russeldiagram. Afbeelding: ESA/Gaia/DPAC, CC BY-SA 3.0 IGO.

Met deze gigantische dataset kunnen we stellaire evolutie bekijken vanuit een statistisch oogpunt. Zo is er bijvoorbeeld Gaia's Hertzsprung-Russel diagram, een diagram waarin de temperatuur van sterren wordt uitgezet tegen hun lichtkracht. In het diagram van Gaia zijn details zichtbaar die nog niet eerder waargenomen waren. Het meest duidelijke detail is op te merken bij de witte dwergen, waar een faseovergang in de hete kern van plasma- naar kristalvormig zichtbaar is uit twee verschillende trends in het diagram. Anderzijds heeft Gaia ons ook veel geleerd over de geschiedenis van de Melkweg als geheel. Door de bewegingen van verschillende sterrenclusters te volgen, zijn meerdere satelliet-sterrenstelsels ontdekt, en ook restanten van een satelliet die 10 miljard jaar geleden is samen gesmolten met de Melkweg.

Naast statistische ontdekkingen kan er binnen de Gaia-dataset ook gezocht worden naar bijzondere systemen. Meerdere hypersnelle sterren zijn in de dataset gevonden: sterren die sneller gaan dan de ontsnappingssnelheid van de Melkweg, en dus het intergalactische medium in gaan vliegen. Ook is recent gebleken dat met Gaia zwarte gaten ontdekt kunnen worden aan de hand van het wiebelen van partnersterren. Dit opent de weg voor onderzoek naar een heel nieuwe klasse van stellaire systemen met zwarte gaten, wat ons weer meer kan leren over het lot van de allerzwaarste sterren.

Het classificeren van alle Gaia-data is een gigantische onderneming, waarbij geïnteresseerden zelfs kunnen helpen op Zooniverse. Euclid gaat te maken krijgen met nog grotere datastromen, omdat er in totaal 10 miljard objecten waargenomen zullen worden. Het analyseren van deze datasets kan tegelijkertijd weer interessante waarnemingsdoelwitten opleveren voor andere telescopen zoals Webb. Zo heeft iedere telescoop zijn eigen kracht en kunnen de telescopen elkaar aan vullen, om zo stukje bij beetje een groot scala aan open vragen beantwoorden. Het theekransje van telescopen bij L2 is nog maar net begonnen, dus laten we uitkijken naar alle resultaten die ons de komende jaren te wachten staan!