

# ASTRON

Netherlands Institute for Radio Astronomy



**Dit document is opgesteld in het kader van de portfolio-evaluatie van de KNAW- en NWO-instituten in 2018.**

## Missie

De missie van ASTRON, het Nederlands Instituut voor Radioastronomie, is het mogelijk maken van ontdekkingen in de radioastronomie (“to make discoveries in radio astronomy happen”). Deze missie is nadrukkelijk gericht op het beoefenen van baanbrekende, fundamentele wetenschap maar ook op het essentiële belang van geavanceerde waarnemingsfaciliteiten in combinatie met een sterk technologisch R&D-programma.

## Totstandkoming en historische ontwikkelingen

ASTRON is in 1950 opgericht om gebruik te maken van het nieuwe venster op het heelal dat met de ontwikkeling van radio-frequente technologie geopend was. Het instituut bouwde vanaf de begintijd een internationale reputatie op door baanbrekende technologische ontwikkelingen en astronomische ontdekkingen met grote impact te doen. Het hoofdkantoor van ASTRON is gevestigd in Dwingeloo. ASTRON beschikt thans over telescopen in Westerbork en de LOFAR (LOW Frequency ARray) telescoop. LOFAR bestaat uit een centraal gebied nabij Exloo met een groot en groeiend netwerk van antennestations verspreid over Nederland en Europese partnerlanden. Vanuit de basis in Noord-Nederland opereert ASTRON in een internationaal vakgebied waar het “merk” ASTRON hoog staat aangeschreven. Gedurende de definitieve en ontwerpfasen van de Square Kilometre Array (SKA) telescoop (1996-2018) betoonde ASTRON zich een inspirerend leider. Bij de recente SEP-evaluatie in 2017 is ASTRON over de gehele linie beoordeeld als *excellent/world-leading*.

ASTRON maakte een sterke ontwikkeling door vanaf de oprichting als Stichting Radiostraling van Zon en Melkweg (SRZM) met de opdracht radiotelescopie te bouwen en te exploiteren. Deze eerste radiotelescopieën waren radarschotels stammend uit de oorlogsjaren. Het nieuwe vakgebied werd sterk gedreven door baanbrekende waarnemingen van neutraal waterstofgas in de Melkweg door Van de Hulst en Oort. In deze beginjaren werd de basis gelegd voor de toonaangevende expertise die sindsdien is uitgegroeid tot een

brede, radio-astronomiegemeenschap in Nederland waarin grensverleggend onderzoek wordt verricht naar onder andere pulsars, het vroege heelal (*epoch of re-ionisation*), kosmische straling en ruimteweer (Space Weather).

ASTRON speelde door de jaren heen in op externe factoren en nationale prioriteiten. Vanaf 1980 richtte het instituut zich ten behoeve van een aantal UK-NL-samenwerkingen naast radio op optische/infrarood-instrumentatie en op ontvangers voor mm-golflengtes. In 2005 werd de missie van ASTRON vanuit NWO aangescherpt en toegespitst op radioastronomie. Het optisch/infrarood-programma werd voortgezet onder auspiciën van de Nederlandse Onderzoekschool Voor Astronomie (NOVA). NOVA is opgericht onder het OCW-programma voor toponderzoeksscholen en na excellente beoordelingen steeds voortgezet met speciale financiering van OCW. In NOVA werken momenteel de sterrenkundige instituten van de universiteiten van Amsterdam, Groningen, Leiden en Nijmegen samen.

De strategie voor sterrenkundig onderzoek in Nederland wordt vastgesteld in het Nationaal Comité voor Astronomie (NCA) waarin de NWO-instituten ASTRON en SRON, de NOVA-universiteiten en het NWO-domein ENW zijn vertegenwoordigd. Hier vindt afstemming plaats over prioriteiten voor investeringen in onderzoek en infrastructuur. Dit vindt neerslag in een tienjarenplan dat halverwege het decennium, waar nodig, wordt herzien en bijgewerkt. ASTRON liet de afgelopen decennia zien dat het instituut zich kan aanpassen in dit steeds veranderende landschap van wetenschappelijke prioritering. Daarnaast liet ASTRON zien agendabepalend te kunnen zijn op het terrein van radioastronomie door de wetenschappelijke kansen te signaleren en technologische grenzen te verleggen. ASTRON zal daarom ook in de toekomst uitstekend in staat zijn in te spelen op nieuwe vragen en herschikkingen van het vakgebied en zo de grote Nederlandse rol op dit bij uitstek internationale vakgebied kunnen vasthouden en versterken.

Deze gecoördineerde landelijke aanpak is van steeds groter belang, gelet op het *multi-wavelength, multi-messenger*

karakter van de moderne sterrenkunde. Nieuwe wetenschappelijke uitdagingen vragen steeds meer om waarnemingen en gegevens van een reeks faciliteiten om de onderliggende natuurkundige verschijnselen te kunnen ontrafelen. Astronomen gebruiken het elektromagnetisch spectrum tezamen met aangrenzende vakgebieden om de fundamentele natuurkunde te onderzoeken. Echter, in toenemende mate vereisen wetenschappelijke ontdekkingen niet alleen een hele reeks faciliteiten, maar ook verscheidene technieken waarvan er vele zijn ontwikkeld in andere domeinen, bijvoorbeeld *machine learning* en andere *data science tools*. Deze samenwerking wordt weerspiegeld in de thema's van de Nationale Wetenschapsagenda, zoals zwaartekrachtsgolven, exo-planetten, buitenaards leven, enzovoorts, waar vele disciplines bij elkaar komen om de meest fundamentele vragen waarvoor wetenschap en samenleving zich gesteld zien, aan te pakken. In dit tijdperk van detectoren zowel binnen als buiten het elektromagnetisch spectrum zijn specialisten nog steeds van vitaal belang binnen elk domein, ook in de radio-astronomie. Bovendien kunnen bepaalde specifieke natuurkundige verschijnselen en processen alleen onderzocht worden door middel van radiogolflengte-waarnemingen. Dit omvat onderwerpen als de *Epoch of Reionisation* (de fase in het vroege heelal waarin neutraal waterstofgas opnieuw geïoniseerd raakt waarna de eerste sterren en sterrenstelsels worden gevormd); *pulsar timing* (waarmee de algemene relativiteitstheorie in extreme omstandigheden getoetst kan worden via metingen aan snel roterende sterren); en de zoektocht naar de oorsprong en evolutie van magnetische velden in het universum.

## Rol en meerwaarde

ASTRON exploiteert twee belangrijke faciliteiten voor radio-astronomie: de Europese LOFAR-telescoop en de nationale Westerbork Synthese Radio Telescoop (WSRT). LOFAR is anno 2018 volledig operationeel en wordt alom gezien als de gouden standaard voor laagfrequente radio-astronomie. Deze blijft zich dan ook gestaag uitbreiden naar andere Europese landen.

Momenteel wordt gewerkt aan de voltooiing van een laatste WSRT-upgrade: de installatie van het APERTIF phased array ontvangersysteem. Met APERTIF zal de WSRT nog beter in staat zijn gevoelig onderzoek naar neutraal waterstof te doen in de noordelijke hemel. APERTIF en ASKAP in Australië zijn de enige twee radiotelescopen ter wereld die zijn uitgerust met deze geavanceerde ontvangers. Mondiaal gezien verbindt ASTRON Nederlandse astronomen en ingenieurs met vergelijkbare hoogwaardige 'zusterorganisaties' op internationaal niveau zoals CSIRO, CNR, NRAO, CAS (CNAO), CNRC, NRF en STFC.

Op landelijk niveau werkt ASTRON nauw samen met het NWO-instituut SRON en de NOVA-universiteiten, in het Nationaal Comité voor Astronomie (NCA) om de Nederlandse agenda voor de sterrenkunde uit te voeren. Het tienjarig strategisch plan van de NCA waarborgt dat de sterrenkundige gemeenschap zich hard maakt voor een sterk draagvlak en grote Nederlandse betrokkenheid voor een beperkt aantal, strategisch gekozen, grootschalige onderzoeksfaciliteiten. ASTRON draagt strategisch bij aan het tienjarenplan van de NCA door de ontwikkeling en exploitatie van LOFAR alsmede door zijn leidende rol in Nederlandse deelname aan SKA als de toekomstige wereldwijde faciliteit voor radio-astronomie. Daarmee biedt ASTRON de Nederlandse sterrenkundige gemeenschap toegang tot de meest toonaangevende observatoria. Dit stelt de Nederlandse universiteiten op hun beurt weer in staat om getalenteerde studenten, postdocs en medewerkers aan te trekken en te behouden.

Het brede scala aan wetenschappelijke mogelijkheden met de faciliteiten van ASTRON, gecombineerd met de technologische innovatie die nodig is om deze te ontwikkelen, draagt bij aan een stevige verankering in de Nationale Wetenschapsagenda (NWA). Sterrenkundige wetenschap is de kern van de NWA-routes 'Bouwstenen van materie en fundamenten van ruimte en tijd' en 'Oorsprong van het leven — op aarde en in het heelal'. Op technologisch niveau vormen de ontwikkelingen van ASTRON op het gebied van verwerking en analyse van Big Data — vanuit de huidige behoeften van LOFAR en toekomstige voorbereidingen op SKA — de natuurlijke

componenten van de NWA-routes 'Waardecreatie door verantwoorde toegang tot en gebruik van big data' en 'Smart, liveable cities'. Op het gebied van industriële ontwikkeling is ASTRON nauw betrokken bij de topsectoren 'High-Tech Systems & Materials' en ICT, alsmede bij nationale programma's als Smart Industry. Bovendien werkt ASTRON samen met de astrodeeltjesfysicagemeenschap, via NWO-instituut Nikhef en anderen, om verder onderzoek te doen naar zwaartekrachtgolven en kosmische straling, en met KNMI en NLR voor onderzoek naar ruimteweer.

Tot slot werkt ASTRON samen met de vier Nederlandse technische universiteiten en het Netherlands eScience Center op wetenschapsgebieden die van belang zijn voor innovatie voor de toekomstige generatie radiofaciliteiten waaronder radiowetenschap, antennes, fotonica, signaalverwerkings-technologieën, *distributed algorithms* en *high-performance computing*.

Radioastronomie ontwikkelt zich steeds meer als megawetenschap op internationale schaal. De ontwikkeling van toonaangevende, grootschalige, complexe radiofaciliteiten zoals LOFAR en WSRT-APERTIF, inclusief de faciliteiten voor het volgende decennium (SKA) zijn van vitaal belang om een vooraanstaande positie in dit vakgebied te blijven innemen. Dit vraagt om een organisatie die in staat is complexe projecten en instrumenten in hun totaliteit te overzien (*whole-of-system organisation*). Alleen zo is het mogelijk om een leidende rol te kunnen vervullen op het gebied van technologische R&D, operationele ontwikkeling en sterrenkundig onderzoek. Dit kan in de praktijk alleen worden gerealiseerd door een instituut met het mandaat en de reikwijdte van ASTRON. De wijze waarop ASTRON de LOFAR expertise weet om te zetten naar een voor Nederland uiterst waardevolle impact op het SKA-project maakt dit des te meer duidelijk.

ASTRON startte in 2012 met de volledige, wetenschappelijke exploitatie van LOFAR. LOFAR vereist een organisatie die de faciliteit op efficiënte wijze exploiteert, een grondig inzicht heeft in de wetenschappelijke behoeften van haar nationale en internationale klanten en in staat is hoogwaardige

wetenschappelijke data, diensten en ondersteuning te leveren. Verder participeert ASTRON namens de Nederlandse sterrenkundige gemeenschap in de Joint Institute for VLBI in Europa ERIC (JIVE) en het Europese VLBI-netwerk (EVN). Het instituut biedt expertise aan internationale panels die het radiofrequentiespectrum voor de wetenschap coördineren en veiligstellen, zoals de International Telecommunications Union (ITU) en de (EU) Coordination of Radio Astronomy Facilities (CRAF).

ASTRON is de thuisbasis van het NL SKA-office dat onze nationale bijdrage aan en exploitatie van het Nederlands lidmaatschap van de SKA Intergouvernementele Organisatie (verdragsorganisatie) coördineert en leidt. Deze fungeert als knooppunt in het Nederlandse samenwerkingsverband van universiteiten, bedrijfsleven en ministeries dat bijeen is gebracht om SKA tot stand te brengen. Het NL SKA-office zal het inkoopproces coördineren tijdens de bouw- en exploitatiefase van de SKA, wat maximale *return-on-investment* voor het Nederlandse bedrijfsleven waarborgt. Op Europees niveau heeft ASTRON zich weten te positioneren als voor de hand liggende keuze voor de vestiging van een thuisbasis voor het SKA Science Data Centre dat de Nederlandse sterrenkundige gemeenschap zal ondersteunen tijdens de operationele fase van de SKA. In aanvulling op deze wereldwijde activiteit zal ASTRON zich blijven richten op uitdagende lange-termijn technologische ontwikkelingen voor radioastronomie waaronder *dense antenna array*-technologie en de geavanceerde exa-schaal dataverwerking en analyse, nodig voor het verkrijgen van wetenschappelijke informatie uit de nieuwe generatie radio-installaties.

Op deze wijze waarborgt ASTRON dat de vooraanstaande positie van Nederland in de radiosterrenkunde behouden blijft. Daarnaast is ASTRON in staat flexibel en alert te handelen en nieuwe ontwikkelingen op te starten, wat voor een grote, wereldwijde faciliteit zoals de SKA moeilijker te realiseren zal zijn.

ASTRON kan ten aanzien van leiderschap bogen op een sterk trackrecord door:

- hoogstaand, wetenschappelijk onderzoek dat ontdekkingen en innovatie stimuleert;
- een leidende rol in belangrijke door de EU gefinancierde projecten in een reeks Europese kaderprogramma's (FP5, FP6, FP7, H2020);
- operationele en technische interactie met internationale partners
- activiteiten als *founding member* van de ontwikkelingen die uitgroeiden tot het SKA-project.

Een belangrijk element van het succes van ASTRON is de nauwe integratie met de Nederlandse universiteiten. Vrijwel alle stafwetenschappers van ASTRON hebben tevens een aanstelling bij een van de Nederlandse, sterrenkundige universitaire instituten, soms in een *joint appointment*, soms als bijzonder hoogleraar of als adjunct-professor. Naast een directe bijdrage aan het algemene, wetenschappelijke succes van de Nederlandse sterrenkunde kan ASTRON mede dankzij deze integratie optimaal inspelen op de voortgaande behoeften en prioriteiten van Nederland en de internationale sterrenkundige gemeenschap. Deze co-affiliaties stellen ASTRON in staat tot continue kruisbestuiving tussen onderzoek, ontwikkeling en innovatie. Deze wisselwerking komt tot uiting in het sterke trackrecord van ASTRON in het verwerven en uitvoeren van door de EU gefinancierde projecten om nieuwe mogelijkheden te ontwikkelen ter ondersteuning van de wetenschappelijke gemeenschap. Voorbeelden van lopende projecten zijn onder meer het EU H2020 ASTERICS-project dat een verbinding met astro-deeltjesfysica tot stand brengt; het EU H2020 AENEAS-project dat de SKA *regional science data centres* gaat definiëren; en het onlangs ingediende EU H2020 ESCAPE-voorstel om de European Open Science Cloud (EOSC) geschikt te maken voor *open science* en open data met de huidige ESFRI<sup>1</sup>-faciliteiten voor astronomie en natuurkunde. In al deze projecten vervult ASTRON een toonaangevende en leidende rol.

<sup>1</sup> European Strategy Forum on Research Infrastructures (<https://ec.europa.eu/research/infrastructures/?pg=esfri>).

### Maatschappelijke bijdragen

ASTRON levert op diverse vlakken een maatschappelijke bijdrage met als belangrijkste bijdrage *human capital development* en educatieve activiteiten door middel van outreach. Door de sterke verankering in de structuur van het Nederlandse onderzoekslandschap speelt ASTRON een sleutelrol in de opleiding en promotie van technisch geschoolde professionals. Via ASTRON's onderzoeksprogramma's begeleiden ASTRON-medewerkers veelvuldig bachelor-, master- en PhD-studenten van wie velen een loopbaan in onderzoek ambiëren, maar in veel gevallen in het bedrijfsleven gaan werken. ASTRON kenmerkt zich door een unieke en uitzonderlijke combinatie van sterrenkundig onderzoek, exploitatie van observatoria, en onderzoek en ontwikkeling en biedt daarmee een zeer breed scala aan trainings- en stagemogelijkheden, niet enkel voor puur sterrenkundig onderzoek.

Voor het grote publiek organiseert ASTRON ieder jaar tijdens het Weekend van de Wetenschap een open dag met lezingen, bezoeken aan het laboratorium, WSRT en LOFAR, waar honderden deelnemers op afkomen. Ook doet ASTRON elk jaar mee aan de Girlsday, speciaal voor meisjes van middelbare scholen. Verder brengt ASTRON regelmatig artikelen uit voor kranten en populaire tijdschriften en levert bijdragen aan televisieprogramma's, zoals Heel Nederland kijkt sterren en Klokhuis en aan programma's met externe partners op het snijvlak van wetenschap en natuurgebied, zoals LofarZone/LofarTafel. ASTRON realiseert in samenwerking met de gemeentes Westerveld en Borger-Odoorn een tweetal kleinschalige wetenschapscentra volgens het concept van Open Science Hubs.

ASTRON selecteert jaarlijks een groep internationale studenten uit een groot aanbod van sollicitanten. Deze *summer students* zijn jonge wetenschappers die kunnen deelnemen aan een uitdagend en baanbrekend onderzoeksprogramma. ASTRON draagt daarnaast bij aan veel educatieve programma's variërend van basisscholen zoals Kids Primair tot universiteiten zoals het High Tech Systems and Materials Honours Master programma aan de Rijksuniversiteit Groningen.

## Valorisatie

De radiosterrenkunde in het algemeen en ASTRON in het bijzonder hebben een voorbeeldige staat van dienst ten aanzien van innovaties die van groot belang zijn voor de mensheid. Het strategisch plan van ASTRON is erop gericht zijn onderzoeks- en ontwikkelingsactiviteiten af te stemmen op de kansen en uitdagingen van het vakgebied zoals die vanaf het komende decennium voorzien zijn. Het programma van ASTRON sluit aan bij de missie van NWO om excellente wetenschap in Nederland te ondersteunen, daar waar Nederlands onderzoek mondiaal toonaangevend is en zich uitstrekt tot innovatie en potentieel voor hoogrenderende partnerships met het bedrijfsleven.

ASTRON was de thuisbasis voor het fundamentele onderzoek dat ten grondslag lag aan de uitvinding van het WIFI-protocol 802.11, zijnde inzichten in beïnvloeding van de Fouriertransformatie. Drie auteurs waren verbonden aan ASTRON: Hamaker, O'Sullivan en Noordam. De wereldwijde, economische impact van deze uitvinding is enorm.

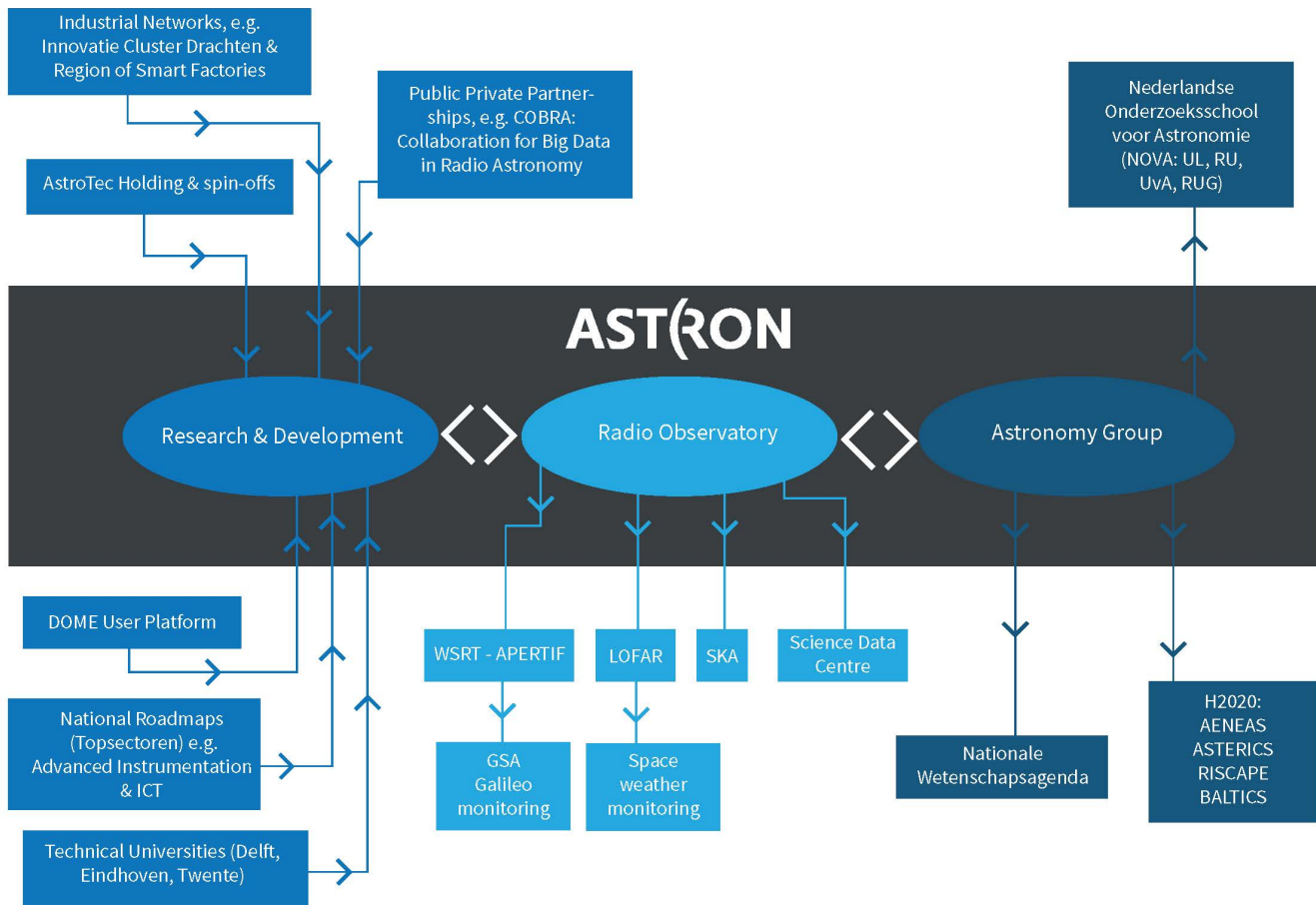
ASTRON boekt goede resultaten met een naar buiten gerichte focus op het bedrijfsleven. Gesteld kan worden dat deze open houding in het DNA van ASTRON zit, gebaseerd op stabiliteit, openheid, vertrouwen en succesvolle ontwikkeling van nieuwe innovaties. ASTRON werkt in gezamenlijke onderzoeks- en innovatieprojecten samen met de telecommunicatie- en defensie-industrie op het gebied van *antenne arrays*; met de *medical imaging* industrie op het gebied van fotonica; met de beveiligingsindustrie ten aanzien van digitale signaalverwerking; en het *big data*-bedrijfsleven ten aanzien van *distributed algorithms for deep learning*. ASTRON is partner in twee belangrijke noordelijke innovatieclusters: IC Drachten en Region of Smart Factories. De bijdragen lopen in lijn met de topsectoren High Tech Systemen en Materialen (HTSM) en meerdere routes van de Nationale Wetenschapsagenda. ASTRON streeft naar waardevolle aanvulling via aan astronomie grenzende activiteiten: de doorlopende herkalibratie van alle GPS-referentiebronnen (quasars in de ICRF3) met WSRT; het verkennen van de aanlevering van Space

Weather data via innovatieve LOFAR-waarnemingen; en het ontwikkelen van samenwerkingsverbanden in de ILT, inclusief het uitbreiden van LOFAR naar reeds bekende of nieuwe Europese astronomielanden.

Meerdere radioastronomiesystemen van ASTRON worden ontwikkeld in samenwerking met het bedrijfsleven via Public Private Partnerships (PPP). De DOME-samenwerking met IBM was een hoogwaardig PPP in Exascale-technologie. De ervaring en technische vooruitgang die uit deze projecten voortkwamen, worden tot op de dag van vandaag gebruikt en aangepast door IBM en de partners in het DOME-gebruikersplatform in andere bedrijfsdomeinen. Vanaf 2016 wordt in een PPP met vier industriële softwarepartners (COBRA) voortgebouwd op de DOME-resultaten om nieuwe geavanceerde oplossingen te leveren voor het ASTRON Science Data Centre.

## Andere vormen van kennisbenutting

De provinciale overheid van Drenthe beschouwt ASTRON als een unieke en waardevolle partner in deze regio. Niet alleen vanwege de internationale reputatie van ASTRON, maar vooral vanwege de positieve invloed op het lokale bedrijfsleven ten aanzien van innovatie en uitwisseling van high-tech vaardigheden en op het grote publiek waar het gaat om opleiden en inspireren van de jongere generatie. LOFAR heeft zich ontwikkeld tot een pan-Europese onderzoeksfaciliteit met stations in Duitsland, Frankrijk, Groot-Brittannië, Zweden, Ierland en Polen. Een station in Letland is in voorbereiding en gezien de positieve vraag naar uitbreiding en deelname in dit *front-line* instrument ligt uitbreiding naar andere landen in de lijn der verwachting. In zijn algemeenheid kan ASTRON gezien de toenemende belangstelling voor LOFAR met recht stellen dat deze telescoop in ieder geval de komende tien jaar sterk in de belangstelling zal blijven staan. Hiermee zal Nederland zich tevens op kostenefficiënte wijze een positie kunnen verwerven in het nieuwe tijdperk van laagfrequente astronomie. Elk nieuwe contract voor een LOFAR-station levert één miljoen euro op aan contracten voor het Nederlandse bedrijfsleven.



ASTRON hanteert een open en uiterst collegiale werkwijze waardoor octrooien zelden worden aangevraagd. Open data, open source en open access zijn belangrijke ingrediënten van onze cultuur. In de visie van ASTRON draagt dit effectiever bij aan de uitwisseling van ideeën en levert een open cultuur uiteindelijk meer op voor het innovatiepotentieel van de Nederlandse industrie dan een patent. Meerdere bedrijven binnen het mkb gaven aan dat ze hun concurrerende positie en soms zelfs hun bestaan te danken hebben aan hun betrokkenheid bij LOFAR-ontwikkelingen. ASTRON bouwde

een sterke band op met het lokale bedrijfsleven en mkb. Er zijn met succes samenwerkingsverbanden aangegaan met het lokale bedrijfsleven. Het gaat daarbij niet alleen om het plaatsen van orders, maar juist om in samenwerking concurrentiekracht te vergroten. Zo heeft een regionale vestiging van Neways niet alleen duizenden geavanceerde printplaten voor ASTRON geleverd, maar daarmee ook haar productie technologie verbeterd. Daarmee is de positie binnen het concern versterkt en zijn nieuwe marktsegmenten geopend.

## Positie in het kennis- en maatschappelijk landschap

### Nationale netwerken

ASTRON levert een belangrijke bijdrage aan het succes van de Nederlandse sterrenkunde en technisch wetenschappelijk onderzoek. ASTRON verbindt daarbij het sterrenkundig onderzoek aan de NOVA-universiteiten Leiden, Amsterdam, Groningen en Nijmegen, met technisch wetenschappelijk onderzoek aan de technische universiteiten Eindhoven, Delft en Twente en instituten zoals het Nederlandse eScience Centre, TNO, etc. De ontwikkeling van instrumentatie en ICT- en softwaresystemen leidt tot nauwe samenwerking met industriële partners, veelal in publiek-private samenwerkingen. Vanuit de positie in de regio is ASTRON betrokken bij diverse Noordelijke netwerken. Zo is ASTRON actief lid van het Innovatie Cluster Drachten en partner in Region of Smart Factories. Daarnaast werkt ASTRON aan het tot stand brengen van allianties om het SKA Regional Science Data Center te hosten, in samenwerking met SURF, RUG, private instellingen en anderen.

Het belangrijkste voorbeeld van een nationaal netwerk is de collegiale samenwerking met de NOVA-universiteiten. ASTRON heeft als NWO-instituut de mogelijkheid een langjarige strategie voor instrumentontwikkeling te implementeren en doet dit in nauwe afstemming met de universitaire groepen zodat de wetenschappelijk oogst van deze instrumenten maximaal is. Doordat alle ASTRON-stafastronomen een affiliatie hebben met een universiteit is deze samenwerking zeer effectief.

Een goed voorbeeld van een nationaal, technisch-wetenschappelijk netwerk is het onderzoek naar *photonic devices* met Eindhoven, Twente en TNO in het MEMPHIS-programma. ASTRON zorgt hier voor demonstratie en verificatie van onderzoek dat in de universitaire groepen plaatsvindt.

Een voorbeeld van industriële samenwerking is de Collaboration On Big-data for Radio Astronomy (COBRA) waarin vier partners vanuit het mkb samenwerken aan gegevensanalyse en *data handling*.

### Internationale netwerken

ASTRON is de Nederlandse vertegenwoordiger in een aantal internationale netwerken. Het gaat om politieke overlegorganen, onderzoekssamenwerkingen en internationale organisaties.

Voorbeeld van een politiek overlegorgaan is CRAF, een Europees bureau voor overleg rond de toewijzing van bandbreedte in het frequentiespectrum.

RadioNet is een langjarig Europees onderzoeksprogramma, gefinancierd onder FP6, FP7 en momenteel H2020. RadioNet geeft Trans-National Access voor alle grote Europese observatoria en werkt aan talentontwikkeling, uitwisseling en technologie. ASTRON coördineert de H2020-programma's ASTERICS, AENEAS, BALTICS en LOFAR4SW en is partner in o.a. EOSC Hub.

ASTRON is partner in en gastheer van het European Research Infrastructure Consortium JIVE, het Joint Institute for VLBI in Europe. Met NWO is ASTRON de Nederlandse vertegenwoordiger in de Square Kilometer Array organisatie. ASTRON speelde een toonaangevende rol als pleitbezorger van de SKA *science case* en het conceptontwerp van de Square Kilometer Array (SKA), een wereldwijde samenwerking gericht op de bouw van zeer grote radiofaciliteiten in Australië en Zuid-Afrika wat het gehele vakgebied naar een hoger plan zal tillen. Met name de R&D-afdeling van ASTRON leverde een belangrijke bijdrage aan design en *prototyping* van belangrijke SKA-subsystemen op een aantal gebieden. Daarnaast coördineert ASTRON namens de gehele sterrenkundige gemeenschap in Nederland de voorgenomen Nederlandse deelname aan SKA. ASTRON was een van de *founding partners* van SKA en blijft hier een belangrijke rol spelen door bij te dragen aan de science case, de systeemarchitectuur, de ontwikkeling van belangrijke subsystemen en het aanleveren van experts voor belangrijke besturen en adviesorganen.





<sup>1</sup> In het kader van de NOVA onderzoeksschool

● de grootte van de zwarte cirkel geeft de intensiteit van samenwerking aan

## Vooruitblik en strategie

Voor de jaren tot 2030 heeft ASTRON een ambitieus plan opgesteld om in te spelen op de ontwikkeling van megawetenschappelijke faciliteiten van internationale klasse, telescopen en faciliteiten ter waarde van meer dan één miljard euro. De eerste ontwikkelingsfase om zijn ambities te realiseren heeft ASTRON beschreven in zijn strategisch plan 2017-2023. Hieronder wordt geschetst welke beweegredenen aan de strategie ten grondslag liggen alsmede de lopende initiatieven en hoe deze ambities een proactief antwoord bieden op de toekomstige eisen van dit vakgebied. Uiteindelijk zullen deze acties ervoor zorgen dat Nederland een dynamisch, toonaangevend en flexibel instituut behoudt voor deze activiteiten van nationaal belang.

Om een relevant en vooraanstaand instituut te blijven moet ASTRON nieuwe competenties ontwikkelen om de sterrenkunde te ondersteunen naarmate het meer verweven raakt met de astrodeeltjesfysica, de studie van zwaartekrachtgolven, ruimtevaartmogelijkheden en andere niet-elektromagnetische waarnemingsfysica. Astronomen hebben brede, wetenschappelijke ambities en het radiostelsel zal in elk daarvan een vitale rol spelen. Enkele van de belangrijkste onderwerpen zijn het meten van de atmosferische samenstelling van aarde-achtige planeten buiten ons zonnestelsel en het bevorderen van de zoektocht naar tekenen van leven; het bestuderen van *the originating populations of gravitational wave events*; evolutie van het sterrenstelsel vanaf de vroegste fase van ineenstorting; en het tot stand brengen van real-time monitoring van ruimteweer om de aarde te beschermen tegen catastrofale zonnestormen. Deze vijf punten in het strategisch plan 2017-2023 beschrijven hoe ASTRON aanzienlijke vooruitgang zal boeken in de richting van drie belangrijke langetermijndoelstellingen om de bovengenoemde competenties te realiseren:

- een voor Nederland leidende rol vervullen om lid (“full member”) te worden van de nieuwe SKA IGO;
- de realisatie van een krachtige en synergetische upgrade van de LOFAR-telescoop, gekoppeld aan;
- de oprichting van het NL SKA Science Data Centre als onderdeel van een krachtig EU-netwerk voor SKA, LOFAR en andere belangrijke wetenschappelijke faciliteiten.

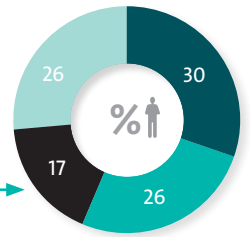
In vervolg op dit actieplan zal ASTRON nieuwe technologieën en instrumentatie blijven ontwikkelen met tal van nationale en internationale partners. Belangrijk hierbij is dat ASTRON streeft naar maximale impact voor de samenleving van al haar research en activiteiten.

Binnen haar technologische R&D-programma behoudt ASTRON een volledige *end-to-end system-capaciteit*. Drie belangrijke aandachtsgebieden hierbij zijn: antennes en radiofrequentiesystemen, snelle *digital system processing* en *high-performance computing* architectuur en algoritmen. In alle gebieden ligt de nadruk op het bestuderen, aantonen en toepassen van state-of-the art technologie. De daadwerkelijke ontwikkeling van systemen wordt over het algemeen tot stand gebracht in nauwe samenwerking met partners bij universiteiten en bedrijfsleven. Mogelijk zullen de raakvlakken met partnerorganisaties zoals NWO-instituut SRON, NWO-instituut Nikhef en NOVA toenemen.

De interne groepsstructuur van ASTRON is flexibel en gereed voor de eisen van dit strategisch plan. De organisatie stelt zich reeds in op het interdisciplinaire karakter van zijn initiele activiteiten met name richting het Science Data Centre, waarbij een beroep wordt gedaan op experts uit de gehele organisatie. Tevens zal ASTRON meer inzetten op persoonlijke capaciteit voor het ontwikkelen van publiek-private of andere samenwerkingen. Daarbij gaat het om activiteiten met een duidelijk externe participatie die een herkenbare bijdrage leveren aan economie en samenleving.



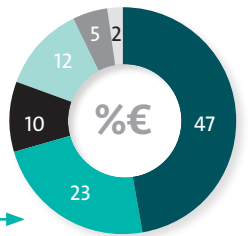
## Opbouw staf fte in 2016



Wetenschappelijk personeel	46,6	
PhD students en postdocs	40,7	
Technische ondersteuning	26,3	
Ondersteunend personeel	40,6	
<b>Totaal</b>	<b>154,2</b>	



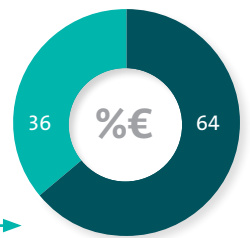
## Inkomsten x 1000 € in 2016



NWO basisfinanciering	11124	
Nationale subsidies	5507	
Internationale subsidies	2473	
Infrastructuur	2858	
Industrie	1200	
Overig/correctie	499	
<b>Totaal</b>	<b>23660</b>	



## Uitgaven x 1000 € in 2016



Personeel	15028	
Overig	8432	
<b>Totaal</b>	<b>23460</b>	

## Samenvatting SEP-evaluatie<sup>2</sup>

### Beoordeling

#### Wetenschappelijke kwaliteit: score 1

ASTRON heeft met LOFAR en WSRT/APERTIF toegang tot faciliteiten van wereldklasse, mogelijk gemaakt door de ontwikkeling van innovatieve technologie en deskundige personeel. In de afgelopen zes jaar overwon ASTRON de technische uitdagingen van LOFAR en bleek LOFAR een zeer productieve telescoop met brede, wetenschappelijke impact te zijn. Dit was pionierswerk in dit golflengtegebied en daarmee is LOFAR een belangrijke verkenners voor SKA ("SKA Pathfinder"). Met de realisatie van APERTIF op de WSRT zorgde ASTRON voor een upgrade met impact voor een brede sterrenkundige gemeenschap. De combinatie van de twee faciliteiten heeft een geweldig potentieel. Voortbouwend op deze successen heeft ASTRON ambitieuze doelen. Een upgrade naar LOFAR 2.0 en de ontwikkeling van een *data science* onderzoekslijn en uiteindelijk een *science data center*. Als de plaats waar het idee voor SKA ooit ontstond heeft ASTRON bovendien een duidelijke ambitie in het leiden van de Nederlandse deelname aan SKA. Met de technische en wetenschappelijke expertise en ervaring die ASTRON in huis heeft met in het bijzonder de excellente nieuwe staf is ASTRON goed uitgerust om uitmuntende, wetenschappelijke resultaten te behalen met LOFAR en APERTIF en leiderschap te behouden in voorbereiding op SKA.

#### Maatschappelijke impact: score 1

ASTRON brengt technologische ontwikkeling naar de samenleving. De commissie was onder de indruk van de vele samenwerkingsverbanden die ASTRON als instituut voor

<sup>2</sup> Samenvatting van de instituutsevaluatie op basis van het Standard Evaluation Protocol. De drie evaluatiecriteria – *research quality, societal relevance, viability* – werden in kwantitatieve en kwalitatieve termen beoordeeld (score 1: world leading/excellent; score 2: very good; score 3: good; score 4: unsatisfactory). De onderwerpen *PhD-programmes, research integrity* en *diversity* werden alleen in kwalitatieve termen beoordeeld. Tevens beantwoordde de evaluatiecommissie enkele vragen geformuleerd door het NWO-bestuur; een generieke vraag betrof de meerwaarde van het instituut in de nationale context en zijn internationale positie.

radiosterrenkunde heeft met het bedrijfsleven, zowel met grote bedrijven als lokale industrie en het mkb). Uitwisseling van kennis en technologie wordt ook gerealiseerd door de huisvesting van JIVE en het NOVA optisch/infrarood lab bij ASTRON, wat leidt tot een wederzijdse verrijking van de ervaring, expertise en impact op Europees niveau.

ASTRON toonde zich een waardevolle partner voor de lokale politiek en is zeer actief en zichtbaar in publieksvoorlichting, in het bijzonder door de jaarlijkse organisatie van speciale dagen voor meisjes op de middelbare school.

De commissie concludeert dat ASTRON goed is ingebed in de Nederlandse sterrenkundige gemeenschap. Veel stafleden hebben een aanstelling bij een universiteit en met de realisatie en exploitatie van LOFAR en de WSRT/APERTIF, met een sterke betrokkenheid van de Nederlandse universiteiten, is de radiosterrenkunde in Nederland significant gegroeid.

#### Toekomstbestendigheid: score 1

ASTRON is goed uitgerust voor de toekomst. De nieuwe directeur heeft reeds leiderschap getoond en heeft een zeer capabel managementteam tot haar beschikking. De astronomiegroep groeide flink in de evaluatieperiode en uitstekende mensen werden aangetrokken. ASTRON heeft een indrukwekkende staat van dienst wat betreft het binnenhalen van beurzen en het opzetten van samenwerkingsverbanden die gezamenlijk ongeveer vijftig procent van de financiering van het instituut omvatten. De commissie heeft er veel vertrouwen in dat ASTRON kan blijven opereren op het hoogste niveau, zoals verwacht van een NWO-instituut.

#### PhD-programma's, integriteit en diversiteit

De commissie heeft met veel PhD-studenten gesproken. ASTRON biedt een unieke omgeving waarin astronomen en ingenieurs nauw samenwerken. De monitoring wordt door de universiteiten gedaan. Het aantal promovendi is gedurende de evaluatieperiode gestegen.

Research integrity policy: uitstekend. ASTRON heeft kernwaarden gedefinieerd: Er is een brede geografische diversiteit

onder de ASTRON-staf. ASTRON biedt een welkome, respectvolle en collegiale werksfeer. De genderbalans is in de afgelopen zes jaar verbeterd, maar verdient nog steeds aandacht.

### **Extra vragen van het NWO-bestuur**

#### ***National and international position***

Sterk. ASTRON is nationaal goed ingebed, niet alleen wetenschappelijk, maar ook wat betreft maatschappelijke impact en samenwerking. ASTRON is een instituut van wereldklasse. Internationaal toont ASTRON leiderschap in de voorbereidingen voor SKA.

#### ***Knowledge utilisation and open access***

ASTRON committeert zich aan openlijke toegang tot hun telescoopdata en het beschikbaar stellen van broncode voor dataverwerking

#### ***How do the institute's structure, size and financial policy contribute to its mission?***

De structuur werkt goed. Er zijn drie verschillende groepen met duidelijke taken en goede communicatie tussen de groepen. Er is voldoende kritieke massa om de missie te volbrengen. ASTRON heeft een indrukwekkende staat van dienst wat betreft externe financiering.

#### ***Is ASTRON taking the right steps to prepare for SKA?***

ASTRON leidt de discussie over de Nederlandse deelname aan SKA nationaal en internationaal en is zich goed bewust van de complexiteit daarvan. ASTRON zit in de voorbereidingen op het goede spoor door in te zetten op passende technologieontwikkeling en het Science Data Center.

#### ***Does ASTRON take sufficient action to make the contribution of support staff visible and acknowledge?***

ASTRON biedt nieuwe medewerkers in de Radio Observatory-groep de gelegenheid om vijftig procent van hun tijd aan wetenschap te besteden. Dat is een zeer positieve ontwikkeling. De medewerkers krijgen veel feedback en worden aangemoedigd om naar conferenties te gaan.

### **Conclusies en aanbevelingen**

ASTRON is een van de top radio-observatoria van de wereld en één van de weinige met de mogelijkheid zelf telescopen van wereldklasse te ontwerpen, bouwen, opereren en exploiteren. De staf en het managementteam zijn excellent, het instituut heeft uitstekende relaties met haar stakeholders en is zeer goed voorbereid op een toekomst met LOFAR2.0, een *science data center* en SKA.

Over de aanbevelingen: zeer concreet stuurt de commissie aan op een snelle realisatie van een ASTRON *data portal*; een goede wetenschappelijke onderbouwing van LOFAR2.0; een database van alle wetenschappelijke output van de ASTRON-faciliteiten; en de introductie van een formeel mentorschap voor juniorstaf en -studenten. Verder verdient het diversiteitsbeleid nog steeds aandacht, maar ziet de commissie daar ook een rol voor NWO met een centraal beleid. Datzelfde geldt voor outreach. De commissie beveelt verdere professionalisering van projectmanagement aan met speciale aandacht voor risicomanagement en prioritering; samenwerking met de Nederlandse universiteiten om het aantal door ASTRON begeleide PhD-studenten verder te verhogen; nauwkeurige monitoring van de ontwikkelingen van het LOFAR *Epoch of Reionisation Project*; en een continue evaluatie van de technische vaardigheden binnen ASTRON in het licht van de wetenschappelijke en technologische ambities.



## Respons van de directeur

De directeur van ASTRON is verheugd over en dankbaar met het zorgvuldige rapport en de constructieve aanbevelingen en beschouwt het rapport als een accurate beoordeling van het instituut, zowel wat betreft de zes geëvalueerde jaren als de toekomstige ambities. In haar reactie blikt de directeur terug op de aanbevelingen van de vorige evaluatie en hoe ASTRON daarnaar gehandeld heeft. Vervolgens brengt de directeur een prioritering aan in de aanbevelingen van de huidige evaluatiecommissie en voorziet elke aanbeveling van een adequaat antwoord met daar waar nodig een plan om het aandachtspunt te adresseren.

## Samenvatting bestuurlijke reactie

De aanbevelingen uit de vorige evaluatie zijn goed geadresseerd, met name de wetenschappelijke exploitatie van LOFAR en het succes dat blijkt uit de wensen van andere landen om LOFAR-stations te huisvesten. ASTRON heeft zich zichtbaar gepositioneerd binnen SKA met leiderschap in de R&D en op strategisch en wetenschappelijk gebied.

De ambities van ASTRON betreffen APERTIF, een unieke faciliteit die maximale impact zal hebben, plannen voor een *data science* groep en de oprichting van een *science data center*, en de upgrade naar LOFAR2.0 die aansluit op de ontwikkelingen rondom SKA.

De reactie van ASTRON op de aanbevelingen laat zien dat het instituut ze serieus neemt. De raad van bestuur heeft vertrouwen in de voorgenomen acties en kijkt uit naar de realisatie daarvan, in het bijzonder een *data portal*, het *white paper* LOFAR2.0 en de database voor wetenschappelijke output. De aanbevelingen aan NWO wat betreft diversiteitsbeleid en outreach neemt de raad van bestuur ter harte.

## Verklaring van de gebruikte afkortingen

AENEAS	Advanced European Network of E-infrastructures for Astronomy with the SKA
APERTIF	APERture Tiles In Focus
ASKAP	Australian Square Kilometre Array Pathfinder
ASTERICS	Astronomy ESFRI & Research Infrastructure Cluster
CAS (CNAO)	Chinese Academy of Science (National Astronomical Observatories China)
CNR	National Research Council (Italy)
CNRC	National Research Council (Canada)
COBRA	Collaboration On Big data in Radio Astronomy
CRAF	Committee on Radio Astronomy Frequencies
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (Aus)
EOSC	European Open Science Cloud
ESCAPE	European Science Cluster of Astronomy & Particle physics ESFRI research infrastructures
ESFRI	European Strategy Forum on Research Infrastructures
EVN	European VLBI Network
HTSM	High Tech Systemen en Materialen
IC Drachten	Innovatie Cluster Drachten
ICRF	International Celestial Reference System
IGO	Inter Governmental Organisation
ILT	International LOFAR Telescope
ITU	International Telecommunications Union
JIVE	Joint Institute for VLBI in Europe
LOFAR	Low Frequency Array
mkb	Midden- en kleinbedrijf
NCA	Nationaal Comité voor Astronomie
NLR	Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum
NOVA	Nederlandse Onderzoekschool Voor Astronomie
NRAO	National Radio Astronomy Observatory (US)
NRF	National Research Foundation (South Africa)
NWA	Nationale Wetenschaps Agenda
PPP	Public Private Partnership
SKA	Square Kilometre Array
SRZM	Stichting Radiostraling van Zon en Melkweg
STFC	Science & Technology Facilities Council (UK)
WSRT	Westerbork Synthesis Radio Telescope