

SRON

RUIMTEONDERZOEK IN
SCIENCE PARK AMSTERDAM

Inhoudsopgave

- 3 Samenvatting en conclusies
- 5 Inleiding
- 6 De wetenschappelijke impuls
- 7 Feiten en cijfers
- 9 Het onderzoek
- 15 Het onderwijs
- 17 Instrumentatie
- 19 Lijst van afkortingen

Ruimte- onderzoek in Science Park Amsterdam

Samenvatting en conclusies

Samenvatting

De huisvesting van SRON (het NWO-instituut voor wetenschappelijk ruimteonderzoek) op zijn huidige hoofdlocatie (Utrecht) voldoet niet meer aan hedendaagse eisen. Er is nieuwbouw nodig en SRON heeft besloten die te realiseren in Science Park Amsterdam. Die keuze heeft zowel voor SRON als voor de Amsterdam Metropolitan Area (AMA) een grote positieve impact. De komst van SRON, een instituut van wereldfaam, volgt in het kielzog van de samenvoeging van de bètafaculteiten van VU en UvA in de Amsterdam Faculty of Science (AFS). AMOLF, CWI en NIKHEF (drie van de acht NWO-instituten) zijn al op Science Park Amsterdam gevestigd. SRON zal het vierde zijn. Dit alles leidt tot de grootste concentratie van universitair bètaonderwijs en -onderzoek in Nederland en een van de grootste in Europa. Het versterkt de positie van de AMA als een van de mondiale hotspots op het gebied van bètakennis en -kunde.

De komst van SRON completeert en versterkt deze positie zowel op het punt van wetenschap (astrofysica en aard- en klimaatwetenschappen) als geavanceerde instrumentatie. Nieuwe verbindingen tussen SRON, de verschillende disciplines binnen de AFS, de NWO-instituten, het Nederlands e-science center (NLeSC) en andere instellingen in de Amsterdamse regio (zoals SURFSara en het NLR) zullen leiden tot een versterking van de rol die de regio speelt in een aantal wetenschappelijke en maatschappelijke "grand challenges", tot nieuwe wetenschappelijke kansen in een breed veld van grensverleggend interdisciplinair onderzoek, en tot daarvan afgeleide bedrijvigheid. SRON verbreedt met zijn toegang tot de internationale ruimtevaartorganisaties (ESA, NASA, JAXA) de kennis- en



3D-weergave van het Science Park Amsterdam (illustratie Science Park Amsterdam)

technologiebrug die van Amsterdam loopt naar de wereld van de *big science* (naast die van NIKHEF naar CERN).

SRON is in belangrijke mate een technologie-instituut. SRON ontwikkelt en maakt het veeleisende instrumentarium voor ruimtemissies, voor zowel astrofysische observaties als waarnemingen van atmosfeer en aarde. De Amsterdamse kennisinstellingen beschikken over een breed scala van technische expertise met corresponderende faciliteiten. Het was een belangrijke factor voor SRON om zich in Amsterdam te willen vestigen. Met de toegevoegde expertise en vaardigheden van SRON krijgt dit profiel extra glans. Er ontstaat een concentratie van expertise op het gebied van hightech instrumentatie - gedreven door de zeer ambitieuze eisen van het wetenschappelijk onderzoek - die zijn weerga in Nederland niet kent. De komst van SRON is een belangrijke aanleiding om die kwaliteit beter te benutten, zowel in de interactie met het bedrijfsleven als op onderwijsgebied. Een aantal recente ontwikkelingen onderstrepen de belangrijke wervende kracht van een techniekprofiel - naast een wetenschap- en ICT-profiel - voor de regio.

Met dit alles wordt tenslotte de aantrekkingskracht van de regio op studenten en jonge onderzoekers vergroot. Het onderwijsprogramma, dat door de AFS, mede anticiperend op de vestiging van SRON, wordt opgesteld, ondersteunt die ambitie. Het leidt tot een versterking van de positie van de AMA bij het aantrekken van (internationaal) toptalent, een ontwikkeling waar ook het Amsterdam University College (AUC) op is gericht. Daarmee wordt een bijdrage geleverd aan de vraag naar hoog opgeleid menselijk kapitaal; de bron van alle hoogwaardige economische groei.

De vergaande bundeling van onderzoek en onderwijs, met een sterke nadruk op excellentie en talent waar de AFS en de komst van SRON manifestaties van zijn, overdekt met de aanbevelingen van de commissie Veerman: een sterke, maar dankzij het grote volume, brede profilering van onderzoek en onderwijs en een grote nadruk op talentontwikkeling. De ontwikkeling sluit ook aan bij het topsectorenbeleid. Zonder de belangrijke rol van het fundamentele onderzoek uit het oog te verliezen, ontstaan in het interdisciplinaire ecosysteem dat in de AMA wordt gevormd, kansen voor innovatieve toepassingen en goede aansluitingsmogelijkheden met belangrijke economische aandachtsgebieden. De belangrijke drijvende rol die grootschalig onderzoek kan hebben bij het ontwikkelen van geavanceerde instrumentatie is daar een voorbeeld van. Dit past ook bij de ambities van de AMA in het kader van haar Amsterdam Metropolitan Solutions initiatief.

Conclusies

Met de vestiging van SRON in Science Park Amsterdam wordt een wetenschappelijk instituut van wereldfaam toegevoegd aan de al rijke verzameling van wetenschappelijke instellingen die de Amsterdamse regio kent. Het leidt tot verreweg de grootste concentratie van bètaonderzoek en -onderwijs in Nederland en een van de belangrijkste toonaangevende bètakenniscentra in Europa. SRON ontwikkelt en maakt het veeleisende instrumentarium voor ruimtemissies, voor zowel astrofysische observaties als waarnemingen van atmosfeer en aarde. De onderzoeksthema's completeren en versterken de wetenschappelijke activiteiten van de kennisinstellingen in Amsterdam. De intensivering van de samenwerking leidt ook tot nieuwe onderzoeksperspectieven en die worden op dit ogenblik geëxploreerd. Aansluiting bij de ambities van de regio op het gebied van de innovatieve economie ligt op een aantal terreinen voor de hand. Dat betreft met name het atmosfeer- en aardonderzoek en het exploiteren van de -veel bredere- potentie die de kennisinstellingen hebben op het gebied van geavanceerde instrumentatie. Ook het onderwijs zal in belangrijke mate profiteren. Nieuwe onderwijsthema's zullen in de curricula worden opgenomen en de aantrekkelijkheid van de Amsterdamse regio voor talent versterken. Aansluiting bij de wens techniek een prominenter rol te geven in het opleidingspalet van de Amsterdamse regio is een andere afgeleide van de komst van SRON.

Inleiding

De komst van de hoofdvesting van SRON (het NWO-instituut voor wetenschappelijk ruimteonderzoek) vanuit Utrecht naar Science Park Amsterdam betekent een nieuwe stap in de ontwikkeling van de Amsterdam Metropolitan Area (AMA) tot een van de mondiale hotspots op het gebied van bètakennis en -kunde. Uitmuntende fundamentele kennis leidt tot strategisch onderzoek en vervolgens tot toepassingen die inhoud geven aan de kenniseconomie. Fundamenteel onderzoek, dat aan de toppen van onze kennis raakt, drijft ook de ontwikkeling van geavanceerde technologie. De AMA, met daarin Science Park Amsterdam als belangrijke kennisconcentratie (een van de weinige volwaardige kennisparken in Nederland), bestrijkt deze gehele keten.

De komst van SRON volgt in het kielzog van de samenvoeging van de bètafaculteiten van VU en UvA in de Amsterdam Faculty of Science (AFS). Drie van de acht NWO-instituten - AMOLF, CWI en NIKHEF - zijn al op Science Park Amsterdam gevestigd. SRON zal het vierde zijn. Dit alles leidt tot de grootste concentratie van universitair bètaonderwijs en -onderzoek in Nederland en een van de grootste in Europa. De AFS en de NWO-instituten bestrijken tezamen de volle breedte van de bètawetenschappen: biologie, levenswetenschappen, aardwetenschappen, chemie, natuurkunde, wiskunde en informatica. Universiteiten en NWO-instituten beschikken bovendien over een zeer grote concentratie van expertise en faciliteiten op het gebied van ontwerp, ontwikkeling en productie van geavanceerde instrumentatie. De Amsterdamse ICT-infrastructuur is van wereldklasse (High Performance Computing en Networking faciliteiten van SURFSara, inclusief het optisch netwerkknooppunt Netherlight, de AMSIX, enkele grote datacentra). Het Nederlandse e-science centrum (NLeSC), door NWO en SURF opgezet en het Europese Grid consortium spelen naast CWI en de universiteiten een vooraanstaande internationale rol bij de ontwikkeling van methoden en technieken voor het hanteren van Big Data, een belangrijk nieuw thema in wetenschap en samenleving. Spin-off bedrijvigheid strijkt tenslotte neer in een van de vijf gebouwen van Matrix Innovation Center en het recent opgerichte Venturelab.

SRON voegt een extra dimensie toe aan de ook nu al zeer sterke positie die de kennispartijen in Amsterdam hebben op het gebied van de aardwetenschappen, de astrofysica en geavanceerde instrumentatie. SRON is immers het Nederlandse ankerpunt voor het wetenschappelijk gebruik van de ruimte. Het instituut ontwerpt, produceert en gebruikt instrumentatie voor satellietmissies van ESA, NASA en JAXA; instrumentatie die aan de zeer hoge technische standaarden van deze internationale ruimtevaartorganisaties moet voldoen. De samenwerking van SRON met de AFS en de NWO-instituten zal zich zowel op het punt van het onderzoek, het onderwijs als geavanceerde instrumentatie manifesteren met de volgende drie wetenschappelijke hoofdlijnen:

- Het systeem aarde. De impact van menselijk handelen op klimaat en milieu.
- Planeten en de condities voor leven; zijn we alleen in het universum?
- Terug naar de bron. Het vroege universum: oorsprong, ontwikkeling en de fundamentele natuurwetten die dat sturen.

Met dit als kader zullen nieuwe verbindingen tussen SRON, de verschillende disciplines binnen de AFS, de NWO-instituten, het NLeSC en andere instellingen in de Amsterdamse regio (zoals het NLR) leiden tot een versterking van de rol die de regio speelt in een aantal wetenschappelijke en maatschappelijke "grand challenges", tot nieuwe wetenschappelijke kansen in een breed veld van grensverleggend interdisciplinair onderzoek en tot daarvan afgeleide bedrijvigheid. SRON verbreedt tenslotte met zijn toegang tot de internationale ruimtevaartorganisaties ook de kennisbrug die van Amsterdam naar de wereld van de *big science* leidt, zoals dat ook al gebeurt door NIKHEF met CERN en SURFSara met de mondiale high performance computing (HPC) centra. Met dit alles zal tenslotte de aantrekkingskracht van de regio op studenten en jonge onderzoekers worden vergroot. Het onderwijsprogramma, dat door de AFS, mede anticiperend op de vestiging van SRON, wordt opgesteld, ondersteunt die ambitie. Het leidt tot een versterking van de positie van de AMA bij het aantrekken van (internationaal) toptalent, een ontwikkeling waar ook het Amsterdam University College (AUC) op is gericht. Daarmee wordt op termijn een bijdrage geleverd aan de vraag naar hoog opgeleid menselijk kapitaal; de bron van alle hoogwaardige economische groei.

De vergaande bundeling van onderzoek en onderwijs, met een sterke nadruk op excellentie en talent waar de AFS en de komst van SRON manifestaties van zijn, versterkt zowel de wetenschappelijke als de technologische en educatieve positie van de AMA. Die ontwikkeling past bij de aanbevelingen van de commissie Veerman: een sterke, maar dankzij het grote volume, brede profilering van onderzoek en onderwijs en een grote nadruk op talentontwikkeling. Ze sluit ook aan bij het topsectorenbeleid. Zonder de belangrijke rol van het fundamentele onderzoek uit het oog te verliezen, ontstaan in het interdisciplinaire ecosysteem dat in de AMA wordt gevormd, kansen voor innovatieve toepassingen en goede aansluitingsmogelijkheden met belangrijke economische aandachtsgebieden. De belangrijke drijvende rol die grootschalig onderzoek kan hebben bij het ontwikkelen van geavanceerde instrumentatie is daar een voorbeeld van. Het past tenslotte bij de ambities van de AMA in het kader van haar Amsterdam Metropolitan Solutions initiatief.

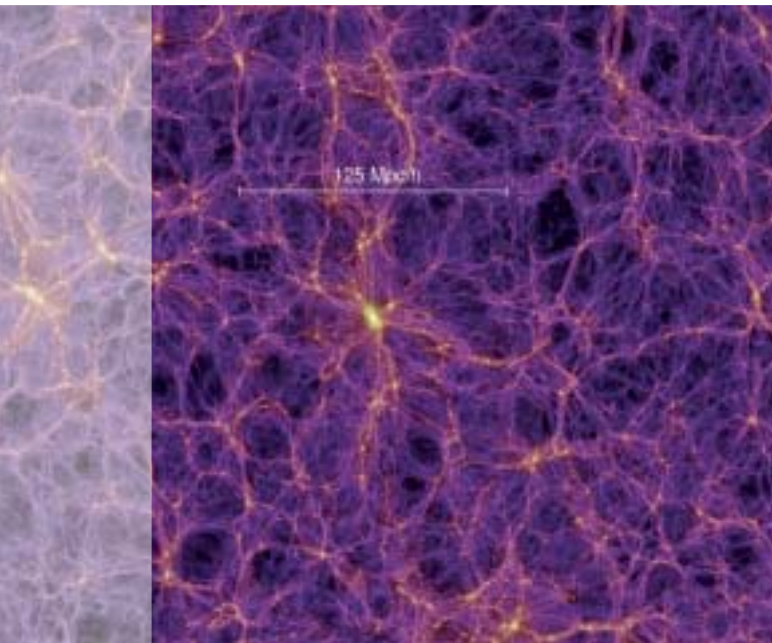
In deze notitie worden in het bijzonder de perspectieven voor het wetenschappelijke onderzoek en onderwijs samengevat.

De wetenschappelijke impuls

De wetenschappelijke missie van SRON kent drie hoofdlijnen, die aansluiten bij belangrijke aandachtsgebieden van de AFS en de in Science Park Amsterdam gevestigde NWO-instituten. Met vertegenwoordigers van de andere kennispartijen zijn deze uitgewerkt tot een ambitieuze agenda van onderzoek en onderwijs. Bestaande activiteiten krijgen daarmee een grotere massa en versterken al bestaande internationale sterktes terwijl kansen ontstaan voor nieuwe (interdisciplinaire) wetenschappelijke uitdagingen, zowel van fundamentele als meer toegepaste aard. De drie hoofdlijnen kunnen als volgt worden samengevat:

- Het systeem aarde. De impact van menselijk handelen op klimaat en milieu.
- Planeten en de condities voor leven; zijn we alleen in het universum?
- Terug naar de bron. Het vroege universum: oorsprong, ontwikkeling en de fundamentele natuurwetten die dat sturen.

Tussen de drie thema's bestaan allerlei dwarsverbanden. Voor alle drie geldt verder dat grensverleggend onderzoek in belangrijke mate afhankelijk is van de ontwikkeling van zeer geavanceerde instrumentatie. In de volgende hoofdstukken wordt ingegaan op de kansen en ambities voor zowel onderzoek als onderwijs in elk van de drie thema's en de wijze waarop ze, waar relevant, kunnen aansluiten op onderwerpen van maatschappelijk en economisch belang. Geavanceerde instrumentatie en gegevensverwerking en -interpretatie zal daarbij, de complementaire expertise van andere instellingen maximaal benuttend, een belangrijke rol spelen. Aan het instrumentatieaspect - en dan vooral in het bredere kader van de Amsterdamse kennisinstellingen - zal apart aandacht worden besteed. Maar allereerst wat cijfers en feiten over de landelijke en internationale positie die de combinatie van SRON, AFS en NWO-instituten in het wetenschappelijke veld zal hebben.



SRON-astronomen wisten in 2008 een deel van de verborgen 'gewone' materie in het heelal te identificeren. Minder dan vijf procent van het heelal bestaat uit materie zoals wij die kennen: protonen en neutronen die samen met elektronen atomen vormen waaruit sterren, planeten en het leven daarop opgebouwd zijn. Maar de helft daarvan was simpelweg zoek. Met behulp van waarnemingen van XMM lukte het deze verborgen 'gewone' materie zichtbaar te maken, verdeeld door het heelal als een web van draadachtige structuren van ijl gas en donkere materie: het kosmisch web (hier als simulatie afgebeeld). Clusters van melkwegstelsels ontwikkelen zich op de knooppunten van het web, daar waar de dichtheid het hoogst is (Illustratie Springel et al., Virgo Consortium).

Feiten en cijfers

SRON is het Nederlandse instituut voor wetenschappelijk ruimteonderzoek, één van de acht onderzoeksinstituten van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO). Het instituut ontwikkelt en gebruikt innovatieve technologie voor onderzoek dat merendeels vanuit satellieten wordt gedaan op het gebied van de astrofysica, aard- en klimaatwetenschappen en exoplaneten. Ten behoeve van de zeer geavanceerde instrumentatie die voor dit onderzoek wordt gebruikt doet SRON onderzoek naar nieuwe, steeds gevoeliger sensoren voor het waarnemen van röntgen- en infraroodstraling.

In een recente externe evaluatie (18 april 2012) is het instituut als excellent gekwalificeerd. De evaluatiecommissie oordeelde: "The Evaluation Committee finds the overall quality of SRON to be excellent". Op een schaal van 1-5 gaf de commissie een 5 voor 13 van de 15 beoordelingscriteria en voor de resterende twee een 4-5. Vergelijkbare excellente oordelen (overall een 5) werden gegeven voor de vier sectoren (Hoge Energie Astrofysica, Lage Energie Astrofysica, Aard- en Planeetwetenschappen en Instrumentatie en Engineering).

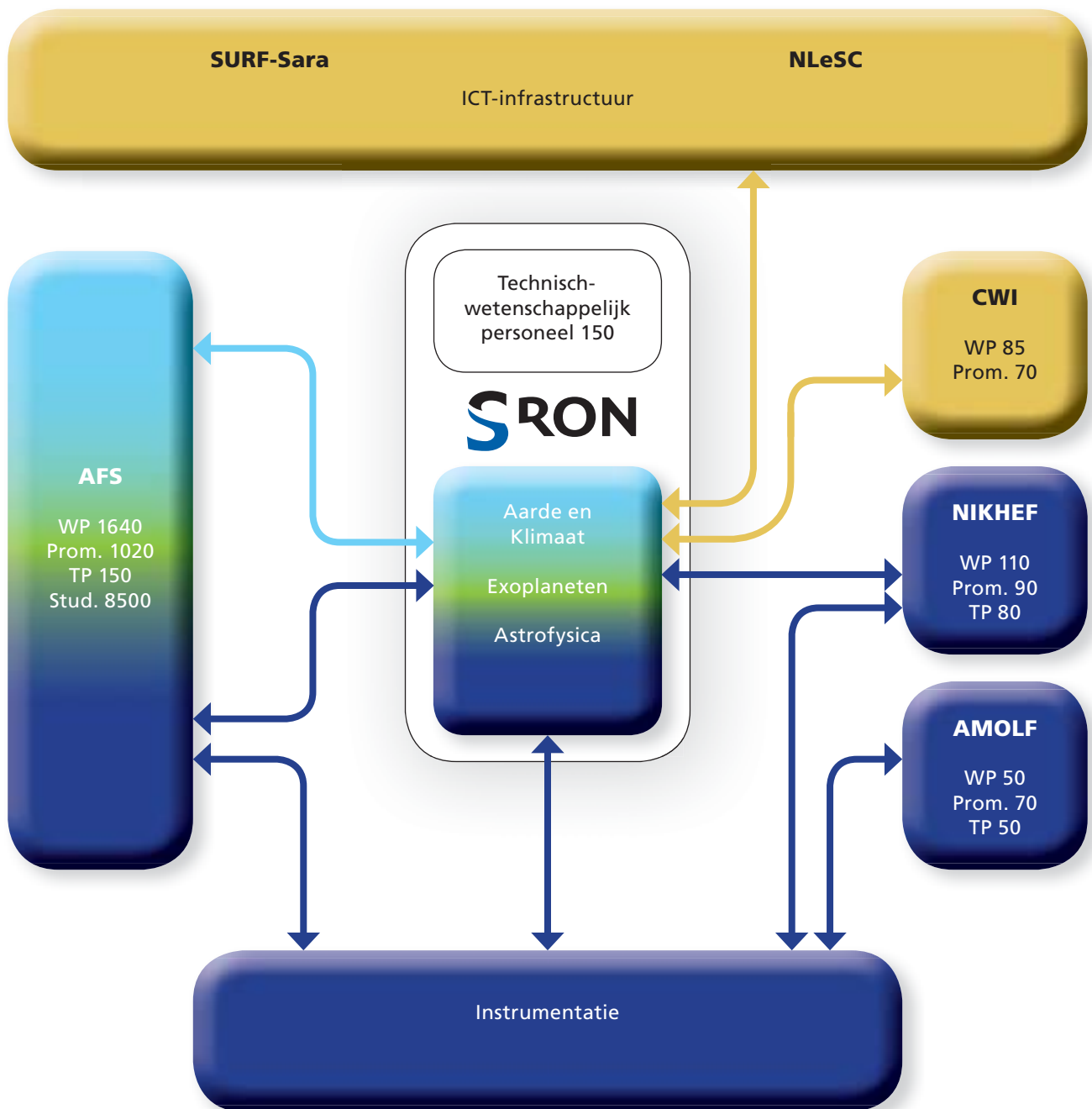
Het instituut ontvangt van NWO een jaarlijks basisbudget van omstreeks 15 M€. Daarnaast verwerft het gemiddeld 5 M€ op basis van projectfinanciering. Het instituut kent twee locaties. De hoofdlocatie met ruwweg tweederde van het personeel bevindt zich op dit ogenblik in Utrecht. Groningen is een tweede locatie. De herhuisvesting van SRON betreft de vestiging in Utrecht. Op dit moment is ruwweg 70% van de activiteiten van het instituut gericht op de astrofysica, de andere 30% op aard- en planeetwetenschappen. Die verhouding zal in de komende jaren veranderen ten gunste van de aard- en planeetwetenschappen.

Het aantal personeelsleden, dat als gevolg van de verhuizing in Amsterdam zal komen te werken bedraagt omstreeks 150. Daarnaast telt het instituut gemiddeld een vijftigtal gastmedewerkers, stagiaires etc.. Van deze medewerkers is 24% wetenschappelijk onderzoeker, 30% technisch onderzoeker, 25% technisch medewerker en 21% overig personeel. Dit illustreert het sterke accent op instrumentenontwikkeling in de missie van het instituut. De aantallen geven aan dat SRON in omvang vergelijkbaar is met de drie andere NWO-instituten in Amsterdam (NIKHEF, AMOLF en CWI).

In Amsterdam zal het instituut intensief samenwerken met groepen van de AFS op zowel het gebied van de astrofysica als van de aardwetenschappen. Dat creëert op beide gebieden zowel kwalitatief als kwantitatief een zeer sterk onderzoekscluster met grote internationale uitstraling.

Naast de ruwweg 25 stafmedewerkers die bij SRON wetenschappelijk astrofysisch onderzoek doen beschikt de AFS (Anton Pannenkoek Instituut) over een vaste wetenschappelijke staf van 13,5 personen. De internationale reputatie van het API (Spinozaprijzen in 1995 en 2004, diverse andere prijzen en internationale grants, onderdeel van de in 2010 als "exemplary" beoordeelde top-onderzoekschool NOVA) maakt de aantrekkingskracht voor buitenlands talent groot. Er zijn 20 postdocs en 25 promovendi werkzaam bij het instituut. Veel van de astrofysica-activiteiten zijn ondergebracht in het onderzoekszwaartepunt GRAPPA. Voor GRAPPA zijn recent nog eens 6 vaste wetenschappelijk medewerkers, 6 postdocs en 10 promovendi aangetrokken. Ook het theoretische fysica/kosmologie deel van het GRAPPA consortium telt een groot aantal internationale zwaargewichten onder zijn gelederen (Spinozaprijz, Europese grants etc.). Voor de astrofysica komt het totaal van alle wetenschappelijke medewerkers, inclusief postdocs en promovendi daarmee op bijna 100. Als we ook het planeetonderzoek hierbij voegen komen er, met name vanuit het VU-deel van het AFS, nog een 13-tal medewerkers bij waarvan 3 postdocs en 6 promovendi. Daarmee is er sprake van een concentratie van wetenschappelijk talent, die ook kwantitatief tot de grotere in Europa behoort.

Op het gebied van de aardwetenschappen zijn bij SRON ongeveer 25 wetenschappelijk medewerkers werkzaam. Het Amsterdamse cluster zal daarnaast bestaan uit aard- en klimaatwetenschappers van de AFS (zowel het VU-deel als een kleiner UvA-deel). Alleen het VU-contingent omvat al 11 vaste staf, 18 postdocs en 14 promovendi. Ook hier is sprake van een grote concentratie van internationaal talent zoals blijkt uit de diverse (inter)nationale prijzen en grants die medewerkers hebben ontvangen. Het totale aantal wetenschappelijke medewerkers in het aardwetenschapcluster bedraagt tenminste een zestigtal personen. Ook van de UvA-kant is te verwachten dat een aantal wetenschappelijk medewerkers betrokken zullen zijn bij aardwetenschappelijk onderzoek dat gebruik maakt van satellietinstrumenten. Een ruwe schatting voor dit deel, postdocs en promovendi inbegrepen, is een twintigtal wetenschappers. Ook op dit terrein ontstaat derhalve een cluster van activiteiten dat qua omvang en internationale reputatie tot een van de meest vooraanstaande in Europa behoort.



Weergave van kennisrelaties van SRON op het Science Park Amsterdam. De getallen zijn afrondingen.
 WP = wetenschappelijk personeel, Prom. = promovendi, TP = technisch personeel, Stud. = studenten.

Het onderzoek

1. Het systeem aarde. De impact van menselijk handelen op klimaat en milieu.

We zijn ons steeds meer bewust van het feit dat de leefbaarheid van onze aarde ernstig wordt bedreigd en dat die bedreiging in belangrijke mate door de mens zelf wordt veroorzaakt. Ongebreideld gebruik van fossiele energiebronnen, met de daarmee verbonden CO₂ uitstoot, grootschalige veranderingen in het grondgebruik, door kappen van bossen, verbranden van biomassa, grootgebruik van grond voor landbouwgewassen - voor voedsel zowel als industriële producten - megasteden, luchtverontreiniging, afvalstromen, waterschaarste en overbevissing. Ze kunnen leiden tot een instabiliteit van het systeem aarde. Ook al groeit de kennis over dat uitermate complexe systeem, over de subtiele wisselwerking tussen biosfeer, atmosfeer, hydrosfeer en geosfeer, over de vaak antropogene factoren die het klimaat beïnvloeden met *global warming* als gevolg, veel blijft nog onbekend. De urgentie om die kennis te vergroten en op grond daarvan politieke beslissingen met meer overtuigingskracht te kunnen afdwingen en eventueel mitigerende maatregelen voor te stellen, is groot. Vanwege de (vrijwel) mondiale dekking speelt satellietinformatie (*remote sensing*) hierbij een steeds grotere rol.

Mede als gevolg van de ontwikkelingen rond de AFS en de komst van SRON, wordt een interdisciplinair cluster gevormd dat een grote omvang en reikwijdte heeft. Verwacht mag worden dat het op elke schaal, globaal, nationaal en regionaal, een belangrijke bijdrage zal leveren aan een voor onze toekomst cruciaal maatschappelijk debat. Het cluster beschikt over: kennis op het punt van aarde, atmosfeer en klimaat (VU, UvA); technologische expertise voor satelliet-gebaseerde aardobservatie (SRON); kennis hoe uit de metingen de atmosferische samenstelling kan worden bepaald (SRON); kennis over hoe de grote gegevensstromen die hiermee worden gegenereerd snel kunnen worden vertaald in relevante informatie en hoe grootschalige modelberekeningen kunnen worden gedaan voor de interpretatie van de metingen (CWI en NLeSC). Die kennis en technologische expertise staat bovendien op een zeer hoog internationaal niveau. Samenwerking met het NLR



De milieusatelliet ENVISAT (ESA). ENVISAT heeft de afgelopen tien jaar een schat aan wetenschappelijke gegevens opgeleverd over onder andere de aardatmosfeer, onze oceanen en de ijskappen. Met SCIAMACHY, het Duits-Nederlands-Belgische meetinstrument op de satelliet, is een veel scherper beeld verkregen van onder andere de luchtvervuiling boven Nederland en methaanbronnen in de tropen. De opvolger van SCIAMACHY - het instrument TROPOMI, dat voor het grootste deel in Nederland (o.a. KNMI, TNO, Dutch Space, SRON) wordt ontwikkeld en gebouwd - wordt in 2015 gelanceerd (foto ESA).

kan dat cluster verder verbreden. Een interessant aspect van die laatste samenwerking zou het gebruik zijn van het NLR-onderzoeksvliegtuig, voor *remote sensing*-projecten gebruikmakend van o.a. lasertechnologie. Niet alleen kan de AMA zich met deze bundeling van krachten als een wereldspeler positioneren bij het adresseren van vragen die bepalend zijn voor de toekomst van onze planeet, maar in het kielzog daarvan liggen er ook kansen om aan te sluiten op vragen die regionaal veel aandacht krijgen. Satellietinformatie kan tot op wijkniveau plaats hebben. Dat leidt tot mogelijke verbindingen met thema's als energie (anticiperen op meteorologische veranderingen bij slim energiebeheer), slim waterbeheer, etc.. Uiteindelijk zal in verbinding met deze maatschappelijk thema's de vertaling naar commerciële bedrijvigheid kunnen plaatshebben. De combinatie van expertise (met name SRON-VU) heeft al bewezen succesvol te zijn bij het verwerven van EU - (b.v. GeoCarbon) en nationale subsidies (b.v. NWO). De toekomstige mogelijkheden zullen die potentie versterken.

Wat betreft mondiale klimaatverandering zijn de belangrijkste vragen in het ESA living Planet Programme:

- Wat zijn de bronnen van atmosferische gassen als CH₄, CO₂ en CO, waar worden ze opgeslagen, welke regionale factoren dragen hieraan bij?
- Hoe ontwikkelen zich die processen onder de invloed van een veranderend klimaat en van luchtverontreiniging?
- Wat is de invloed van aerosols en de interactie daarvan met de wolken op het klimaat?

Antropogene aerosols lijken na greenhouse gassen de belangrijkste bron van klimaatverandering te zijn. Niettemin is hun precieze rol in de thermische balans van de atmosfeer nog slecht begrepen en dat leidt ertoe dat het de grootste bijdrage is aan de onzekerheid in de meest recente klimaatanalyse van het International Panel on Climate Change (IPCC). Een belangrijk element in die onzekerheid zijn de effecten van de verbranding van biomassa op de atmosfeer. Aerosols beïnvloeden de vorming van wolken en van neerslag. De gecombineerde expertise van VU, SRON en IMAU zal tot belangrijke bijdragen kunnen leiden aan een beter begrip van het effect van aerosols op het klimaat en met name ook de rol van de biosfeer daarin. SRON heeft een grote expertise bij het gebruik van satellietinformatie voor het bepalen van de microfysische en optische eigenschappen van aerosols. Van de VU-kant wordt expertise over de landatmosfeerinteractie aangereikt, landgebruik in algemene zin en meer specifiek het effect van de verbranding van biomassa, die een belangrijke bijdrage levert aan de globale aerosol inhoud van de atmosfeer. De metingen van SRON zijn cruciaal om de regionale modellen van de VU voor biomassa-verbranding te valideren en de modellen zelf te verbeteren. Vervolgens zal, in samenwerking met IMAU, deze informatie verwerkt worden in mondiale chemie- en transportmodellen.

Voor het begrijpen van de koolstofcyclus zijn satellietmetingen van essentieel belang. Het vormt het belangrijkste onderzoeksfocus van VU-SRON. CO₂ is weliswaar de grootst bekende antropogene bron van klimaatverandering, maar ook CH₄ (methaan), dat een 20 keer sterker broeikasgas is dan CO₂, speelt een belangrijke rol. Naast actieve bronnen, zoals moerassen, rijstvelden en veeteelt, is een enorme bron van potentieel vrijkomend methaan de ontdooiende permafrost. Dat gebeurt mede ten gevolge van de opwarming van de aarde (een zogenaamde positieve terugkoppeling). De impact op het klimaat is potentieel groot, maar nog onvoldoende begrepen. Zeer nauwkeurige satellietmetingen zijn nodig om de relatief zeer kleine variaties in de concentraties van CO₂ en CH₄ voldoende nauwkeurig te bepalen, zodat die vervolgens kunnen worden gebruikt voor zowel regionale processtudies als mondiale budgetstudies. SRON heeft een internationaal vooraanstaande positie op dit gebied (satellietinstrumentatie, bepaling van concentraties sporengassen uit satellietmetingen). De samenwerking met de VU (regionale proces modellering), het IMAU (mondiale modellering) en het KNMI (nationaal klimaatcentrum), leidt tot een ijzersterk consortium dat nieuwe mogelijkheden heeft voor zowel de interpretatie van bestaande datasets als de participatie in toekomstige missies (bijvoorbeeld met het TROPOMI-instrument).

De bepaling van de atmosferische concentraties van CO, CO₂ en CH₄ moet gebeuren op basis van zeer precieze spectroscopische gegevens. Wanneer in de toekomst de remote sensing instrumenten nauwkeuriger informatie gaan verschaffen zullen ook de moleculaire data bases, die als referentie worden gebruikt, een grotere nauwkeurigheid moeten hebben. Naast breedbandige spectroscopie zal laserspectroscopie van atmosferische moleculen daarvoor nodig zijn en daarin excelleert het VU Laser Centrum. Het belang van metingen door het VU Laser Centrum is in het verleden al gedemonstreerd bij de interpretatie van spectrale profielen van waterdamp verkregen met het GOME-instrument. De daarbij gebruikte technieken kunnen goed geëxtrapoleerd worden naar toekomstige metingen. De samenwerking met het lasercentrum biedt ook veelbelovende kansen voor nieuwe ontwikkelingen op het gebied van op lasertechnologie gebaseerde remote sensing activiteiten van zowel de aard-atmosfeer als het aard- en zeeoppervlak.

Het belang van het VU Laser Centrum voor dit onderzoek wordt ook geïllustreerd door de vele instrumentatiefysici die na een doctoraat bij de VU hun weg vonden naar SRON, waar een grote vraag is naar ervaring op het gebied van optische instrumentatie en (laser) spectroscopie. Het stimuleert de ontwikkeling in de toekomst van een gemeenschappelijk opleidingsprogramma.



Foto KNMI

2. Planeten en de condities voor leven; zijn we alleen in het universum?

Het bestaan van leven in het universum en de vraag of dat leven uniek is, of dat er leven elders bestaat, is een van de meest existentiële vragen die ons mensen bezig houdt. Het is niet alleen een vraag die onderwerp van astronomisch onderzoek is, maar die de wetenschap in een veel bredere zin bezig houdt. In het ESA Cosmic Vision strategisch plan 2015-2025 staat de vraag "wat zijn de omstandigheden waaronder planeten zich vormen en wat zijn de omstandigheden voor het ontstaan van leven" dan ook centraal. Uiteindelijk zal het antwoord op die vraag afhangen van een gemeenschappelijke inspanning van astronomen, aardwetenschappers, biologen en chemici. Het wetenschappelijke ecosysteem dat daarvoor nodig is wordt door de komst van SRON naar het Science Park gecompleteerd. Amsterdam kan daarmee een belangrijke rol krijgen bij de beantwoording van deze ultieme vraag. De basis wordt gelegd in een gemeenschappelijke inzet van astronomen en wetenschappers die zich bezighouden met het onderzoek van de aarde en van planeten, bij de beide universiteiten en bij SRON. Later zullen ook (bio) chemici, biologen en ecologen hierbij betrokken kunnen worden.

In de afgelopen twee decennia zijn er zo'n 850 exoplaneten ontdekt, veel daarvan in zonnestelsels met meerdere planeten. Het blijkt dat rond de meerderheid van sterren zoals de zon planeten draaien. Er moeten daarom, alleen in ons eigen Melkwegstelsel, honderden biljoenen andere potentiële werelden zijn. De planeten en planetenstelsels die zijn waargenomen, zijn er in een verbijsterende verscheidenheid. Aanzienlijk meer divers dan we konden hebben vermoed op basis van de studie van ons eigen zonnestelsel. Deze diversiteit weerspiegelt verschillen in hun ontstaansgeschiedenis en evolutie en kan ons iets vertellen over ons eigen planetaire stelsel. Dankzij steeds betere instrumenten en detectietechnieken zullen we geleidelijk in staat zijn de belangrijkste eigenschappen van die waargenomen planeten te bepalen. Dat betreft niet alleen meer hun baan, grootte, massa en dichtheid maar ook hun chemische samenstelling en de structuur en dynamische eigenschappen van hun atmosfeer. De planeten van ons eigen zonnestelsel, inclusief de aarde, kunnen daarbij dienen als vergelijkingsmateriaal. Het ultieme doel van exoplanet studies is de ontdekking en karakterisering van een aardachtige planeet en het vinden van aanwijzingen voor "leven" in zijn atmosfeer of op zijn oppervlakte. Nieuwe ontwikkelingen op het gebied



Dankzij een slimme nieuwe techniek zijn astronomen er voor het eerst in geslaagd om de atmosfeer van een exoplanet die vanaf de aarde gezien niet voor zijn moederster langs beweegt gedetailleerd te onderzoeken. Met ESO's Very Large Telescope heeft een internationaal onderzoeksteam, onder wie SRON-onderzoeker Remco de Kok, de zwakke gloed van de planeet Tau Boötis b rechtstreeks weten te detecteren. Hierdoor hebben de onderzoekers voor het eerst de atmosfeer van de planeet kunnen onderzoeken en exact zijn baan en massa kunnen bepalen, waarmee een vijftien jaar oud vraagstuk is opgelost. Hierboven een artist's impression van Tau Boötis (foto ESO/L. Calçada).

van instrumentatie en analyse van waarnemingen zullen de kansen daarop in de komende jaren doen toenemen. Dit interdisciplinaire onderzoeksgebied kan daarom in de komende jaren internationaal op bijzondere aandacht rekenen.

De studie van planeten buiten ons eigen zonnestelsel kan ook licht werpen op vragen die de ontstaansgeschiedenis van onze eigen planeet betreffen, zoals omgekeerd de kennis van onze eigen planeet de kennis van die exoplaneten kan helpen ontrafelen. Ook de methodieken om atmosferen van exoplaneten te ontrafelen en de instrumenten die daarvoor nodig zijn hebben gelijkenis met methodieken en instrumenten om de samenstelling van de aardatmosfeer te bepalen. Dat legt de verbinding met de eerste hoofdlijn van onderzoek: het systeem aarde. Het illustreert tegelijkertijd de wetenschappelijke potentie die de samenwerking van SRON met de twee universiteiten en de andere wetenschappelijke instellingen op Science Park heeft. De wisselwerking tussen kennis en instrumentatie is ook hier cruciaal voor het genereren van nieuwe kennis. Daarnaast speelt de innovatieve verwerking van gegevensstromen een belangrijke rol. Het Amsterdamse ecosysteem biedt daarvoor de juiste voedingsbodem.

Met de grote en complementaire expertise bij VU, UvA en SRON zal Amsterdam een unieke uitgangspositie hebben voor ontdekkingen van wereldklasse: de VU op het gebied van de atmosfeer en het klimaat op aarde en de evolutie van het oppervlakte en het inwendige van planeten; SRON op het gebied van de atmosfeer van planeten (de aarde, andere planeten in ons zonnestelsel en exoplaneten); de UvA op het gebied van exoplaneten en planeetvorming. Een verdere uitbreiding wordt voorzien in de richting van de exobiologie en wel in het bijzonder van leven onder extreme omstandigheden. Bij de UvA bestaan plannen om de expertise op dit gebied verder uit te breiden.

3. Terug naar de bron. Het vroege universum: oorsprong, ontwikkeling en de fundamentele natuurwetten die dat sturen.

Wat is de oorsprong en geschiedenis van het heelal, de oorsprong van sterren, van planeten en uiteindelijk het leven? Dat zijn de meest fundamentele vragen die de mens zich kan stellen. En hij doet dat al millennia. In de afgelopen paar honderd jaar komt er in steeds rapper tempo inzicht in wat zich bij de geboorte en de ontwikkeling van het universum voltrok. Daartoe werden instrumenten ontwikkeld om dieper in het heelal te kunnen kijken en werden theorieën gepostuleerd om de daarmee gemaakte observaties te verklaren. De reikwijdte van die ontdekkingen gaat veel verder dan het bevredigen van menselijke nieuwsgierigheid. Ze hebben ons wereld- en mensbeeld fundamenteel veranderd en zijn daarmee een drijvende kracht geweest achter culturele, economische, maatschappelijke en politieke ontwikkelingen.

De spectaculaire groei van onze kennis van het (vroege) universum is voor een belangrijk deel te danken aan de reuzenstappen die op het gebied van instrumentatie werden gezet. Over een breed gebied van het elektromagnetische spectrum zijn steeds geraffineerdere,

grootschaliger en krachtiger instrumenten beschikbaar gekomen. Die hebben onze blik in letterlijke zin verruimd. We plaatsen grote telescopen in de barre Atacama-woestijn in Chili, een geavanceerde radiotelescoop in Noord-Nederland en aanpalende grensgebieden en zenden satellieten omhoog, die zowel in het optische deel van het spectrum als in het infrarood- en in het röntgengebied metingen doen. Nederland speelt in dit fundamentele onderzoek en in de instrumentatie daarvan internationaal een vooraanstaande rol. Er zijn een aantal sterke universitaire onderzoeksgroepen, waaronder die in Amsterdam en twee NWO-instituten: de één ASTRON, waar het accent van het onderzoek ligt op waarnemingen in het radiostralingsgebied, de ander SRON, gericht op het ontwikkelen van instrumenten in satellieten en het analyseren van de daarmee vergaarde waarnemingen.

Het onderzoek naar het vroege universum raakt aan het onderzoek naar de meest fundamentele wetten van de natuur. In dat onderzoek worden óók grootschalige instrumenten gebouwd, deeltjesversnellers zoals de Large Hadron Collider van CERN in Geneve, in feite een zeer krachtige microscoop die de wereld op de allerkleinste lengteschaal bestudeert. Het op Science Park gevestigde NIKHEF (een samenwerkingsverband van FOM, UvA, VU, Utrecht en Nijmegen) vormt op dit onderzoeksterrein een internationaal vooraanstaand onderzoeks- en instrumentatiecentrum. Een deel van het onderzoeksprogramma van het instituut richt zich bovendien op de deeltjesastrofysica (astronomie met kosmische neutrino's, zwaartekrachtgolven), de innige verwevenheid van deeltjesfysica en astronomie onderstrepd.

Moderne instrumenten genereren steeds grotere hoeveelheden data. De kennis en kunde die nodig is om die gegevens te verwerken en te vertalen in zinvolle informatie bepalen in toenemende mate de slagkracht van deze *big science* wetenschapsgebieden. Die kennis en kunde is in Nederland voor een belangrijk deel belichaamd in instituten als het CWI, het NLeSC en organisaties als SURF en zijn HPC-centrum SARA. Specifiek voor de sterrenkunde zijn ASTRON en NOVA daarin actief. Maar ook SRON zal steeds meer te maken krijgen met grote gegevensstromen. In interactie met de in Amsterdam aanwezige e-science deskundigheid ontstaan daardoor nieuwe onderzoeksperspectieven.



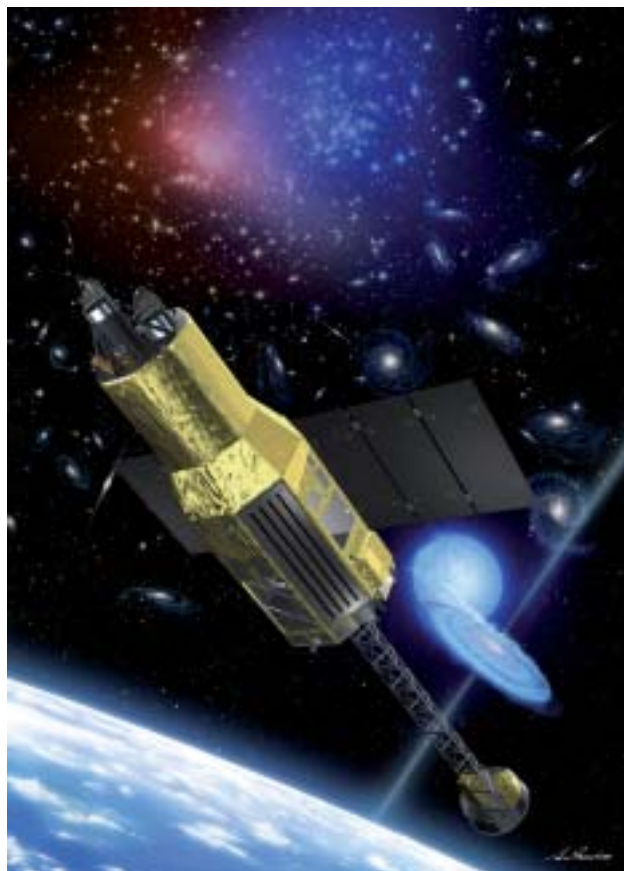
Een opname van de Hubble-ruimtetelescoop. De foto toont zo'n 10.000 sterrenstelsels die nog geen miljard jaar na de oerknal zijn ontstaan. Daarmee keek Hubble zo'n 13 miljard jaar terug in de tijd. De Japans-Europese missie SPICA-SAFARI gaat de geschiedenis van het heelal verder onderzoeken. SPICA-SAFARI gaat vermoedelijk rond 2022 de ruimte in. Een van instrumenten in het hart van de ruimtetelescoop is de Europese supercamera SAFARI, die onder leiding van SRON wordt ontwikkeld. Door de extreem gekoelde spiegel van SPICA kan SAFARI de allerzwakste infraroodbronnen waarnemen. En zo de geschiedenis van het heelal herschrijven (foto NASA, ESA, S. Beckwith, HUDF Team).

De telescopen van de sterrenkundigen, de supermicroscopen van CERN en de experimenten van de deeltjesastrofysici, leggen de experimentele basis voor fundamentele theorieontwikkeling over het ontstaan en de ontwikkeling van ons universum. Ook op dat front is de Amsterdamse wetenschap zeer sterk aanwezig. In het center of excellence GRAPPA (GRavitation and AstroParticle Physics in Amsterdam) werken onderzoekers van UvA (Instituut voor Hoge Energie Fysica, IHEF; Sterrenkundig 'Anton Pannekoek' Instituut, API; Instituut voor Theoretische Fysica Amsterdam, ITFA) samen op het gebied van de deeltjesastrofysica en de kosmologie.

Astronomie, (astro)deeltjesfysica, instrumentatie, *big data*. Het zijn de ingrediënten waarmee Amsterdam zich in de internationale voorhoede van een fascinerend, de verbeelding prikkelend, fundamenteel onderzoeksterrein heeft geplaatst. Nieuwe inzichten ontstaan als gevolg van waarnemingen met nieuwe geavanceerde instrumentatie en de mogelijkheid om uit de stortvloed van gegevens die daarmee wordt gegenereerd, wetenschappelijke kennis te extraheren. Het is in die wisselwerking tussen theorie en praktijk dat nieuw wetenschappelijk inzicht ontstaat. De komst van SRON zal hieraan een extra impuls geven en maakt Amsterdam internationaal een *place to be*. Meer SRON promovendi zullen in Amsterdam promoveren en meer studenten zullen worden aangetrokken door de uitdagingen die in de synergie tussen SRON en Amsterdam ontstaan. Ze zullen tot nieuwe aantrekkelijke onderwijspaden leiden. Daarbij wordt voortgebouwd op de al sterke banden tussen SRON en Amsterdam. Die hebben geleid tot promoties van SRON-promovendi in Amsterdam en SRON-medewerkers die een deelaanstelling als hoogleraar hebben.



Een van de raadsels rond zwarte gaten is hoe ze precies materie opslokken, energierijke röntgenstraling uitstoten en sterke jets produceren (foto NASA/CXC/M. Weiss).



Ruimteonderzoekers kunnen -ondanks de enorme afstanden- gedetailleerde foto's van het heelal maken. Bijvoorbeeld van stervende sterren (supernova's) of van grote groepen oeroude sterrenstelsels. Dat is precies wat de geplande Japanse ruimtetelescoop ASTRO-H gaat doen. Sterrenkundigen kunnen zo onderzoeken welke chemische elementen voorkomen in het heelal (foto JAXA).

In zijn strategisch plan Cosmic Vision 2015-2025 vat ESA samen wat, voor de komende decade, de belangrijkste wetenschappelijke uitdagingen zijn met betrekking tot het ontstaan en evolutie van het universum:

- Wat is de aard en de oorsprong van de Donkere Energie die de expansie van het universum lijkt te drijven en wat is de aard van donkere materie;
- Detectie van gravitatiegolven;
- Welke fysische processen leidden tot de snelle inflatoire expansie van het vroege universum;
- Hoe hebben de huidige (clusters van) melkwegstelsels zich ontwikkeld;
- Hoe worden de superzwarte zwarte gaten gevormd in de kernen van melkwegstelsels;
- Wat is de, voor ons eigen bestaan zo relevante, chemische evolutie van het universum en de cyclus van verdwijnen en ontstaan van materie in het universum;
- Zoek naar minieme afwijkingen in het standaardmodel van fundamentele krachten door hoge-precisie experimenten te ontwerpen, die gebruik maken van de speciale karakteristieken van satellietobservatie (stabiel, geen gravitatie).

De bovengenoemde uitdagingen weerspiegelen de steeds inniger relatie tussen astronomie, fundamentele natuurkunde en instrumentatie. Ze bepalen dan ook in belangrijke mate de gemeenschappelijke wetenschappelijke agenda van SRON, zijn (toekomstige) Amsterdamse partners en het GRAPPA-zwaartepunt. GRAPPA is een weerspiegeling van die vervagende grenzen. De kennis en expertise die SRON toevoegt, leidt tot een uniek en internationaal gezien bijzonder sterk wetenschappelijk cluster voor de bestudering van het ontstaan en de evolutie van het universum.

Op alle gebieden is er sprake van aanzienlijke synergie tussen SRON en de in Amsterdam gevestigde groepen en instellingen. Met NIKHEF vormt het astrodeeltjesfysica-onderzoek een belangrijk raakvlak. NIKHEF is o.a. betrokken bij laboratorium experimenten die de aard van donkere materie proberen te ontrafelen. Op het gebied van de detectie van gravitatiegolven is er bij NIKHEF al een onderzoekslijn. Samenwerking met SRON wordt interessant in het licht van plannen voor een in de ruimte gebaseerde detector, die de krachtige gravitatiegolven moet detecteren die ontstaan bij o.a. het samensmelten van zwarte gaten. Met het CWI, waar het Anton Pannekoek Instituut (API) al intensief mee samenwerkt, en het NLeSC ligt een versterking van de samenwerking voor de hand bij de complexe modellering van astrofysische verschijnselen en bij het analyseren van grote datavolumes. Met de astrofysici van het API zal de bestaande samenwerking op o.a. het gebied van compacte objecten (neutronsterren, zwarte gaten) een extra impuls krijgen evenals de studie van de chemische evolutie en de stervormingsgeschiedenis van het universum.

In neutronsterren en nog meer in zwarte gaten is er sprake van een bijna onvoorstelbare concentratie van massa. Ze spelen een sleutelrol bij het bestuderen van materie onder extreme omstandigheden en van de evolutie van melkwegstelsels. Zowel in Amsterdam als bij SRON zijn zwarte gaten onderwerp van studie. Zwarte gaten zijn er in allerlei maten. Superzwarte zwarte gaten worden ook wel Active Galactic Nuclei (AGN) genoemd. Hoe vormen die zwarte gaten zich? Wat is de relatie met zogenaamde Gamma Ray Bursts (GRB), extreem lumineuze röntgenbronnen die zijn geobserveerd? Vertellen die zwarte gaten ons iets over de fundamentele aard van ruimte en tijd? De extreme eigenschappen, zoals hun massadichtheden en magneetvelden testen immers de natuurwetten onder de meest extreme omstandigheden. Het arsenaal aan kosmische raadsels blijkt overigens nog lang niet uitgeput. Nieuwe raadselachtige, vaak violente fenomenen van kortstondige aard zijn recent ontdekt en creëren nieuwe uitdagingen. De bestudering van al deze kosmische processen vereist observaties over een breed gebied van het elektromagnetische spectrum en vaak ook de koppeling van observaties op aarde met die vanuit satellieten. De verbinding van de grote instrumentele expertise bij SRON, de wetenschappelijke kennis over dit soort verschijnselen bij SRON en API en de fundamenteel fysische onderbouwing daarvan in GRAPPA biedt ongekende kansen om in dit vaak nog onontgonnen terrein vernieuwend onderzoek te beginnen en nieuwe wetenschappelijke ontdekkingen te doen.

SRON is de leidende partij in een Europees consortium dat een bijdrage levert aan de in 2015 te lanceren Japanse Astro-H satelliet voor röntgenspectroscopie. Met deze satelliet ontstaan nieuwe wetenschappelijke mogelijkheden om informatie te verzamelen over de spectra van uitgebreide kosmische bronnen, zoals clusters van melkwegstelsels en restanten van supernova's. Dit sluit aan bij de interesses in Amsterdam op het gebied van de chemische evolutie van het universum. Chemische evolutie is een van de belangrijkste processen in het universum. We danken er immers ons bestaan aan. De informatie over deze bronnen kan vergeleken worden met modelvoorspellingen en geeft ons inzicht in de rol van verschillende kosmische processen. Astro-H maakt het ook mogelijk informatie te verkrijgen over het kosmische web, gaslierten die de melkwegclusters verbinden. Om een verdere fundamentele stap te maken zijn er plannen voor een groot Europees röntgenobservatorium. SRON speelt in die planvorming een centrale rol. Spectroscopie in het (verre) infrarood vormt een lange traditie bij de UvA en bij SRON-Groningen. In de afgelopen eeuw was Nederland intensief betrokken bij de IRAS-satelliet, een satelliet voor observaties in het infraroodgebied van het spectrum. Met IRAS werd een volledig nieuwe klasse van ultralumineuze infrarood stralende melkwegstelsels ontdekt (ULIRG's). Dankzij onder meer SRON's ISO-SWS instrument kon worden aangetoond dat zowel een AGN als intense stervorming (*star-bursts*) tot deze lumineuze infraroodstraling leidt. Met instrumenten zoals Herschel-SPIRE's FTS en het SAFARI-instrument op de SPICA-satelliet (met SRON in een leidende rol), wordt in samenhang met de observaties vanaf de aarde met ALMA (de nieuwe millimetertelescoop die door Europa, de VS en Japan in Chili in bedrijf wordt genomen) in veel groter detail opheldering verkregen over de rol van deze processen.

Het onderwijs

Bij de uitwerking van de AFS is onderwijs een centraal aandachtspunt. In de universitaire context dient excellent onderzoek gepaard te gaan met excellent onderwijs. De samenvoeging van de bètafaculteiten van UvA en VU betekent voor zowel onderzoek als onderwijs meer dan een simpele optelling van capaciteit. Het effect is aanzienlijk groter. Nieuwe kansen ontstaan, niet alleen door het vergroten van de massa, maar ook doordat meer ontmoetingen, meer dwarsverbanden ontstaan, waardoor het creatieve proces dat leidt tot vernieuwend onderzoek en onderwijs wordt geprikkeld. De komst van SRON betekent, voor met name de astrofysica en de aard- en klimaatwetenschappen, een belangrijke versterking van dit proces. Dat geldt ook voor het onderwijs en wel in beide richtingen. Voor SRON is de inbedding in een brede bètaomgeving van belang omdat het daarmee toegang krijgt tot master- en doctoraalstudenten. Die vormen het reservoir waaruit de toekomstige wetenschappelijke staf wordt gerekruteerd. Omgekeerd is de expertise die SRON aanreikt een verrijking voor het onderwijsprofiel van de AFS. Dat geldt i.h.b. op het snijvlak van wetenschap en techniek, waar de meer toegepaste hightech onderzoeksomgeving van SRON kansen geeft om vaardigheden te ontwikkelen waar in onze samenleving grote vraag naar bestaat. Het is de intentie om met name deze instrumentatie georiënteerde onderwijsambities in een breder kader te plaatsen, samen met de andere NWO-onderzoeksinstituten, en daar ook de HvA bij te betrekken. SRON heeft met de komst naar Amsterdam nadrukkelijk de ambitie om meer masterstudenten bij haar onderzoek te betrekken. In de Amsterdamse context ontstaat toegang tot een aanzienlijk en gevarieerd reservoir van studenten met interesse in de fysica, astrofysica, aardwetenschappen, wiskunde en informatica. Wat het onderwijs zelf betreft kan SRON een bijdrage leveren aan colleges en practica, die aansluiten op de onderwerpen waar het over een bijzondere en grote expertise beschikt.



In de Amsterdamse context ontstaat toegang tot een aanzienlijk en gevarieerd reservoir van studenten met interesse in de fysica, astrofysica, aardwetenschappen, wiskunde en informatica. SRON kan een bijdrage leveren aan colleges en practica die aansluiten op de onderwerpen waar het ruimteonderzoeksinstituut over een bijzondere en grote expertise beschikt (foto VUmc).

De rol van SRON in het onderwijs moet gezien worden in de context van de ambities van de AFS om opleidingen aan te bieden over de volle breedte van de exacte wetenschappen. Ze wil dat bovendien doen in een omgeving waarin nieuwe interdisciplinaire kansen worden gekoesterd en vertaald worden in actueel en uitdagend onderwijs, dat appelleert aan studenten met vaak een brede, hun eigen disciplinaire kader overstijgende interesse. Het streven naar een brede uitdagende onderwijsomgeving die talentontwikkeling stimuleert wordt door VU en UvA gekoesterd. Het heeft onder meer geleid tot de oprichting van het Amsterdam University College, dat in zijn nieuwe gebouw op Science Park Amsterdam met succes die ambitie op bachelorniveau vorm geeft. De komst van SRON leidt op dit front tot een additionele impuls. Faculteitsbreed zal het leiden tot colleges over thema's die de kern van de toekomstige samenwerking vormen, zoals: systeem aarde en zijn klimaat; leven in het universum, zijn we alleen; een duik in het zwarte gat, de fundamentele aard van ruimte en tijd.

Er liggen naast de versterking van bestaande graduate schoolprogramma's aanzienlijke kansen voor nieuwe initiatieven. In het kader van de ontwikkeling van de AFS zal bekeken worden hoe die het best kunnen worden geïmplementeerd. Voorbeelden zijn:

- Aardobservatie en klimaatstudies;
- De vorming en evolutie van planeten en planetaire systemen en hun atmosferen, mogelijk uit te breiden in de richting van de astrobiologie met gezondheid- en levenswetenschappen;
- De kosmische geschiedenis van sterren en melkwegstelsels, daarbij de vorming van planeten en leven (lage energie astrofysica) verbindend met die van de geboorte en evolutie van melkwegstelsels, zwarte gaten en individuele sterren (hoge energie astrofysica);
- De fysica van zwarte gaten, waarbij de meest fundamentele vragen aan de orde komen over de aard van ruimte en tijd en de evolutie van het universum;
- Geavanceerde technologie en instrumentatie op het gebied van de astrofysica en detectie van sporengassen en aerosolen in de aardatmosfeer.

De potentie van de samenwerking tussen SRON, AFS en andere regionale kennisinstellingen is ook op onderwijsgebied groot. Het brede veld van excellentie dat beschikbaar is legt de basis voor een unieke broedplaats voor talent dat weinig gelijken in Europa kent. Er ontstaat een omgeving die, met Engels als voertaal, een magneet kan zijn voor internationaal talent, daarmee voortbouwend aan een reputatie die op bachelorniveau al door het AUC wordt gevoed.

In het onderwijs op master- en PhD-niveau zal aangesloten worden bij de gemeenschappelijke onderzoeksthema's die door AFS, SRON en andere partners zijn geïdentificeerd als (groei)kernen van het onderzoekprogramma. Die omvatten o.a.:

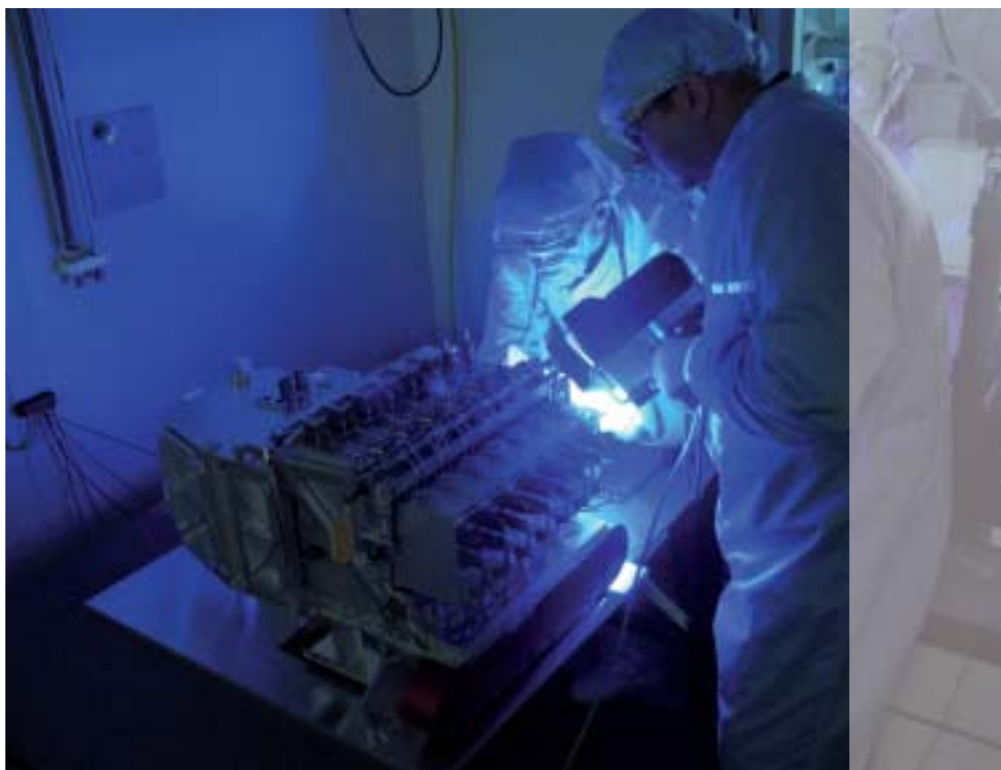
- de studie van compacte objecten (neutronsterren en zwarte gaten) en hun rol bij de ontwikkelingsgeschiedenis van het universum;
- planetaire systemen, hun ontstaansgeschiedenis en de vraag naar de condities voor het ontstaan van leven;
- de rol van antropogene factoren bij klimaatverandering.

Bestaande graduate schoolprogramma's als Astronomy and Astrophysics (A&A), GRAPPA (fysica en A&A en Earth and Ecology (E&E)) zullen worden versterkt door de vergroting en verbreding van de beschikbare expertise, de mogelijkheid praktische opdrachten uit te voeren in de SRON-laboratoria en het benutten van expertise in aanpalende vakgebieden. Er is sprake van aanzienlijke overlap tussen bovengenoemde thema's en dat geeft het onderwijsprogramma dat in de Amsterdamse context kan worden aangeboden een grote interdisciplinaire kwaliteit. De voor het onderzoek ontwikkelde instrumentatie en de steeds grotere rol van *remote sensing* bij het bewaken en sturen van duurzame oplossingen voor onze samenleving zullen daarnaast leiden tot aandacht in het onderwijs voor maatschappelijke toepassingen. De aandacht die in het brede onderzoekprogramma van de Amsterdamse kennisinstellingen bestaat voor milieu- en duurzaamheidsonderwerpen met daarin zowel een rol voor de biologie, de ecologie, aardwetenschappen, e-science, als de natuurkunde en chemie zal die ontwikkeling bevorderen. Het werken in grotere interdisciplinaire teams wordt voor het onderzoek een steeds vanzelfsprekender karakteristiek. Het onderwijs moet hier op inspelen en het is daarom de intentie dit bij het verdere ontwerp van het onderwijsprogramma een belangrijk aandachtspunt te doen zijn. In het bijzonder wordt gedacht aan projectopdrachten voor bachelor- en masterstudenten, waarin teamopdrachten worden uitgevoerd door studenten uit verschillende disciplines. Naast de individuele scripties wordt voor dit soort opdrachten een rapportage van de groep als geheel verwacht, waarbij de individuele bijdragen onderdeel zijn van het totaalresultaat.

Instrumentatie

De kern van de missie van SRON is: de ontwikkeling, bouw en het gebruik van instrumenten die, in satellieten geplaatst, wetenschappelijke doorbraken mogelijk maken op het gebied van de astrofysica en de aard- en klimaatwetenschappen. Die instrumenten, ontwikkeld in grote internationale consortia, maken gebruik van zeer geavanceerde technologie en moeten bovendien voldoen aan de zeer stringente eisen die door ruimtevaartorganisaties als ESA aan satellietmissies worden gesteld. Er is sprake van een keten van hoogwaardige activiteiten: ontwikkeling van nieuwe sensortechnologie, gebruikmakend van de allernieuwste kennis op het gebied van bijvoorbeeld nanotechnologie, vertaling daarvan in instrumentontwerpen, de constructie en het testen van de uiteindelijke instrumenten, het implementeren daarvan in de satellieten, de controle op het goed functioneren van de instrumenten tijdens de vlucht en mocht dat aan de orde komen, het analyseren van problemen en het zoeken naar oplossingen daarvan. Die opdracht houdt een breed spectrum van expertises in en vereist een kostbare infrastructuur zoals cleanrooms. Instrumentatie legt daarmee een groot beslag op de personele en financiële middelen van het instituut. Het is ook in dit technische domein van belang gehuisvest te zijn in een omgeving waarin ervaringen kunnen worden gedeeld, kennis kan worden uitgewisseld en complementaire expertise kan worden aangeboord. Dat zijn precies de kwaliteiten die Science Park Amsterdam biedt en het is dan ook één van de belangrijke factoren geweest voor de keuze van SRON zich daar te vestigen. Het instrumentatieprofiel van Science Park Amsterdam is met NIKHEF, AMOLF en de FNWI al sterk. De ontwikkelingen rond de AFS en de vermoedelijke vestiging van het lasercentrum van de VU, met zijn technisch ondersteunende diensten, geeft daar een extra impuls aan. SRON zal daar nog een aanzienlijk palet aan expertises en competenties aan toevoegen. Het resultaat is een concentratie van expertise op het gebied van hightech instrumentatie voor fundamenteel wetenschappelijk en maatschappelijk relevant onderzoek, die zijn weerga in Nederland niet kent. De vraag hoe de expertise van de NWO-instituten in Nederland maatschappelijk kan worden benut heeft geleid tot een roadmap van die

instituten voor de topsector High Tech Systems en Materials. De concentratie in Amsterdam is aanleiding voor een separate discussie over de positionering van instrumentatie als kenmerkend element van het profiel van Science Park. Hier wordt ingegaan op de specifieke rol van instrumentatie in het SRON-programma en de meerwaarde die ontstaat bij vestiging in Science Park. Vestiging in Amsterdam verbreedt en versterkt de instrumentatie-expertise van SRON. Dat geldt omgekeerd voor de nu al in Amsterdam gevestigde kennisinstellingen. Ook het infrastructurele palet van apparatuur en faciliteiten wordt verrijkt. Dat biedt ook kansen op efficiencywinst. De voorgenomen vestiging van SRON is daarom de trigger voor een discussie hoe instrumentatie een meer gezichtsbepalend element kan zijn bij het etaleren van de kwaliteiten van de Amsterdamse regio. Dit is onderwerp van een separaat strategiedocument.



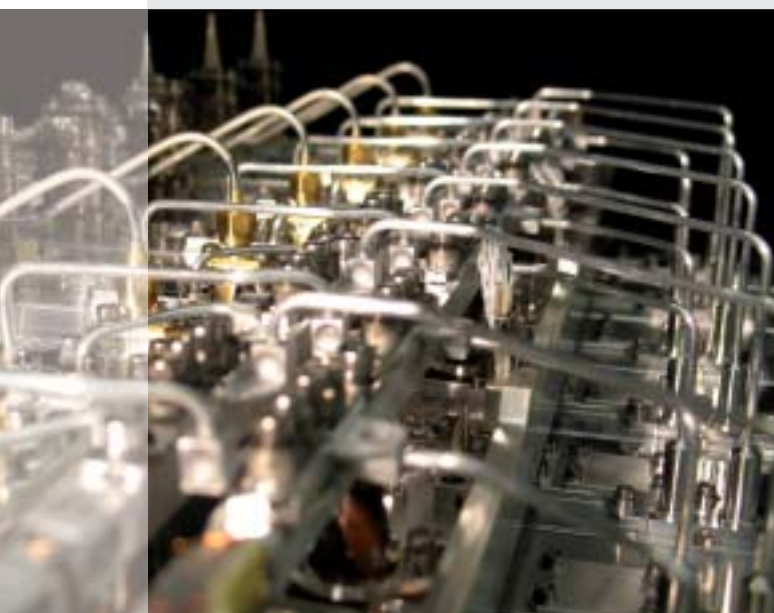
SRON-onderzoekers controleren in de cleanroom van het instituut van het HIFI-instrument, de Nederlandse moleculenjager aan boord van de ruimtetelescoop Herschel, stofvrij is. De lancering vond plaats in mei 2009 (foto SRON).

De instrumentatieactiviteiten van SRON zijn verdeeld over twee afdelingen: Performance Critical Technology (PCT) en Engineering. In PCT vindt R&D plaats voor nieuwe instrumentatie. Het probeert de brug te slaan tussen nieuwe ontwikkelingen in het fysisch onderzoek en de mogelijke toepassing voor missies waarin SRON wil of kan participeren. De afdeling Engineering bouwt hierop voort en zorgt ervoor dat mede op basis van deze technologieën de instrumentatie verder wordt ontwikkeld tot het niveau dat door ESA vereist wordt voor de in satellieten te plaatsen instrumenten (overigens vraagt ook de ontwikkeling van performance critical technology engineering ondersteuning). De technische competenties die in deze keten worden gevraagd kunnen in veel gevallen alleen bij SRON zelf worden gevonden. Waar mogelijk en relevant wordt samengewerkt met andere instituten en met de industrie. SRON heeft daartoe in de loop van de jaren een netwerk van vaak kleine high tech bedrijven opgebouwd. Ook bij uitbesteding van taken ligt de uiteindelijke verantwoordelijkheid voor het resultaat bij SRON en dat maakt dat eigen expertise in alle gevallen nodig is om extern uitgevoerde opdrachten te superviseren. Het versterken van de samenwerking met vooral kleine high tech bedrijven is overigens onderdeel van de SRON-strategie.

Voor de astrofysische missies ambieert SRON, waar mogelijk, een principal investigator (PI) rol binnen de internationale consortia, die voor dit grootschalig onderzoek gevormd worden. Dat houdt in dat het niet alleen betrokken is bij het ontwerp maar ook bij het bouwen, integreren en testen van de instrumentmodules, zowel van SRON zelf als van haar internationale partners. In die missies worden waarnemingen gedaan over een golflengtegebied dat zich uitstrekt van het infrarood- tot het röntgendeel van het spectrum en bovendien over een zo breed mogelijk gebied van de hemel. Dat vereist ultragevoelige sensorarrays (die bij cryogene temperaturen werkzaam zijn) met daarbij behorende uitleeselektronica. Voor de studie van de aard-atmosfeer is het de industrie die in open Europese competitie verantwoordelijk is voor de bouw van de instrumenten. De focus van

SRON ligt hier bij de ontwikkeling van nieuwe concepten voor instrumenten en subsystemen tot op het niveau waar een technologie bewezen is uitvoerbaar te zijn. De industrie moet dit vervolgens naar een vluchtwaardig instrument vertalen. Voor een aantal missiekritische elementen op elektronisch en optisch gebied moet SRON dit overigens zelf doen. Dit alles vereist een brede engineering expertise en SRON heeft hierin samen met TNO, NLR en de Nederlandse industrie een sleutelpositie. Vestiging in Amsterdam geeft toegang tot complementaire expertise en zal de slagkracht van SRON in de internationaal competitieve wereld van de satellietinstrumentatie een nog steviger basis geven.

Satellietmissies zijn zeer kostbare ondernemingen. Van instrumenten aan boord van de satellieten wordt daarom geëist dat ze de grootst mogelijke effectiviteit hebben bij het verzamelen van informatie. Dat betekent dat ze prestaties moeten leveren op de grens van wat technologisch mogelijk is. De ontwikkeling en realisering van innovatieve sensor technologie is daarom een integraal onderdeel van het SRON programma. De afdeling Performance Critical Technology (PCT) beschikt daarvoor onder meer over een gespecialiseerde lithografische afdeling, waarin tot bijna het absolute nulpunt gekoelde detectoren gemaakt kunnen worden. De ontwikkelingen lopen van Technology Readiness Level (TRL) 1 (waar wetenschappelijk onderzoek wordt vertaald naar toegepaste R&D) tot TRL 4 (integratie en validatie van de componenten in het laboratorium) en betreft alle aspecten van het detectorsysteem, de detector zelf, de uitlezing en de optische componenten. Dat proces kan vanzelfsprekend niet los worden gezien van de uiteindelijke toepassing en dat maakt een intensieve wisselwerking nodig met de engineeringafdeling. Aan het begin van het traject, waar nieuwe fundamentele kennis wordt geëvalueerd op zijn toepassingsmogelijkheden wordt nauw samengewerkt met universitaire teams. Aan het eind van het traject levert PCT de levensvatbare concepten af waarmee SRON zich kandideert voor een leidende rol in toekomstige missies. Het kenmerk van PCT is de integratie van excellentie op het gebied van de fysica, de instrumentatie en de engineering om daarmee de best mogelijke verbindingen te leggen tussen wetenschap en technologie. Cleanrooms behoren tot de standaarduitrusting van de afdeling. De hiervoor genoemde PCT levert op niveau TRL 4 een breed scala van instrumentatie aan. Om uiteindelijk een vluchtwaardig instrument te maken is vervolgens nog een lange weg te gaan. De betrouwbaarheidseisen in de ruimtevaart zijn exceptioneel hoog en dat geldt ook voor de eisen t.a.v. massa, volume en energieverbruik. De instrumenten moeten bovendien de extreme omstandigheden, die tijdens de lancering optreden (vibratie, akoestische schokgolven, temperaturen, etc.) kunnen overleven. Dat stelt zeer hoge eisen aan de engineering kwaliteiten van SRON en zijn technische staf. Zonder dat kan de SRON ambitie niet worden gerealiseerd. Het gaat om een breed scala van competenties: mechanica met kerntechnologieën als cryogene instrumentatie, magnetische, thermische en trillingsanalyses; analoge elektronica die extreem kleine signalen moet kunnen detecteren; embedded intelligentie met de daarbij behorende software en firmware; de integratie van analoge en digitale elektronica in zogenaamde ASICs. Bovendien moet veel aandacht worden besteed aan product- en kwaliteitsborging. In alle gevallen is er sprake van een zodanig hoog technisch niveau, dat de industrie er vaak niet in kan voorzien.



De onder leiding van SRON ontwikkelde en gebouwde infraroodspectrometer HIFI is het meest geavanceerde Nederlandse ruimte-instrument ooit (foto SRON).

Lijst van afkortingen

AFS	Amsterdam Faculty of Science
AGN	Active Galactic Nuclei
ALMA	Atacama Large Millimeter/submillimeter Array
AMA	Amsterdam Metropolitan Area
AMOLF	FOM instituut voor Atoom en MolecuulFysica
AMSIX	Amsterdam Internet Exchange
ASIC	Application-Specific Integrated Circuit
ASTRO-H	Japane geplande Röntgenstraling astronomie satelliet
ASTRON	Netherlands Institute for Radio Astronomy
AUC	Amsterdam University College
CWI	Centrum voor Wiskunde en Informatica
ESA	European Space Agency
FOM	Stichting Fundamenteel Onderzoek der Materie
GOME	Global Ozone Monitoring Instrument
GRAPPA	GRavitation and AstroParticle Physics in Amsterdam
GRB	Gamma Ray Bursts
Herschel Spire FTS	SPIRE Fourier-Transform Spectrometer on Herschel Space Observatory
HPC	High Performance Computing
IMAU	Institute for Marine and Atmospheric research Utrecht
ISO-SWS	Short Wavelength Spectrometer on Infrared Space Observatory
ITFA	Instituut voor Theoretische Fysica Amsterdam
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NIKHEF	Nationaal Instituut voor Kern- en Hoge Energie Fysica
NLeSc	Netherlands eScience Center
NLR	Nederlands Lucht en Ruimtevaart Laboratorium
NOVA	Nederlandse Onderzoekschool voor Astronomie
NWO	Nederlandse organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek
PCT	Performance Critical Technology
SAFARI	SPICA FAr Red Instrument
SPICA	SPace Infrared telescope for Cosmology and Astrophysics
SRON	Netherlands Institute for Space Research
SURFSara	Stichting Universitaire RekenFaciliteiten (Academisch Rekencentrum Amsterdam)
TRL	Technology Readiness Level
TROPOMI	TROPOspheric Monitoring Instrument
ULIRG	Ultra Luminous Infra Red Galaxy
UvA	Universiteit van Amsterdam
VU	Vrije Universiteit Amsterdam

3D-weergave van het Science Park Amsterdam
(illustratie Science Park Amsterdam)



Colofon

SRON Netherlands Institute for Space Research is het Nederlands expertise-instituut voor ruimteonderzoek. Het instituut ontwikkelt en gebruikt innovatieve technologie voor grensverleggend onderzoek vanuit de ruimte en legt zich daarbij toe op astrofysisch onderzoek, aardgericht onderzoek en exoplaneetonderzoek. Daarnaast heeft SRON een onderzoekslijn naar nieuwe en gevoeliger sensoren voor röntgen- en infraroodstraling, die nu tot de gevoeligste ter wereld behoren. SRON maakt deel uit van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO).

Tekst

Prof. dr. Walter Hoogland

Lay-out en druk

Drukkerij Badoux, Houten

Uitgave

SRON Netherlands Institute for Space Research
Sorbonnelaan 2
3584 CA Utrecht
T 088 777 5600
F 088 777 5601

Landleven 12
Postbus 800
9700 AV Groningen
T 050 363 4074
F 050 363 4033

info@sron.nl
www.sron.nl

SRON

Netherlands Institute for Space Research