

Amsterdam, november 2016
In opdracht van de Nederlandse organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek en het Ministerie
van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap

Astronomische welvaart?

Effecten van Nederlandse deelname aan de Square Kilometre Array radiotelescoop

Carl Koopmans (SEO)
Joost van Barneveld (Technopolis)
David Regeczi (Technopolis)
Tom Smits (SEO)
Geert van der Veen (Technopolis)
Janneke van der Voort (SEO)

technopolis |group|

seo economisch onderzoek

“De wetenschap dat het goed is”

SEO Economisch Onderzoek doet onafhankelijk toegepast onderzoek in opdracht van overheid en bedrijfsleven. Ons onderzoek helpt onze opdrachtgevers bij het nemen van beslissingen. SEO Economisch Onderzoek is gelieerd aan de Universiteit van Amsterdam. Dat geeft ons zicht op de nieuwste wetenschappelijke methoden. We hebben geen winst-oogmerk en investeren continu in het intellectueel kapitaal van de medewerkers via promotietrajecten, het uitbrengen van wetenschappelijke publicaties, kennisnetwerken en congresbezoek.

SEO-rapport nr. 2016-76

ISBN ISBN

Copyright © 2016 SEO Amsterdam. Alle rechten voorbehouden. Het is geoorloofd gegevens uit dit rapport te gebruiken in artikelen, onderzoeken en collegesyllabi, mits daarbij de bron duidelijk en nauwkeurig wordt vermeld. Gegevens uit dit rapport mogen niet voor commerciële doeleinden gebruikt worden zonder voorafgaande toestemming van de auteur(s). Toestemming kan worden verkregen via secretariaat@seo.nl

Samenvatting

Nederlandse deelname aan SKA leidt tot behoud of versterking van de Nederlandse toppositie in de (radio)astronomie, afhankelijk van de omvang van de Nederlandse bijdrage. 80% van de investering komt als opdrachten terug in Nederland. SKA wordt beschouwd als een 'game-changing' project op het terrein van Big Data, een technologieveld met grote economische potentie. Deze kansen op valorisatie zijn 'high risk, high reward', en moeilijk te kwantificeren.

Baten van een grote radiotelescoop

De Square Kilometre Array (SKA) zal 's werelds grootste en meest gevoelige radiotelescoop worden. De Nederlandse overheid overweegt of zij wil investeren in de realisatie van SKA. Daarbij zullen de voordelen en de kosten van Nederlandse deelname tegen elkaar worden afgewogen. De Nederlandse organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) en het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap hebben behoefte aan meer inzicht in de maatschappelijke baten. Aan SEO Economisch Onderzoek en Technopolis hebben zij de volgende onderzoeksvraag gesteld: *Wat zijn de te verwachten wetenschappelijke, economische en bredere maatschappelijke opbrengsten/baten van de Nederlandse deelname aan de SKA-verdragsorganisatie in de periode 2018-2027?*

Wat betekent deelname aan SKA?

Participatie in SKA houdt het volgende in:

- Nederland betaalt mee aan het ontwikkelen, bouwen en beheren van SKA in de periode 2018-2027;
- Nederland maakt vanaf 2018 aanspraak op bouwcontracten. Op basis van gemaakte afspraken valt te verwachten dat circa 80% van de Nederlandse bijdrage als opdrachten terugkomt in Nederland;
- Onderzoekers verbonden aan Nederlandse universiteiten en/of ASTRON kunnen deelnemen aan 'Key Science Projects' die met SKA zullen worden uitgevoerd. De gegunde waarneemtijd op de telescoop is gekoppeld aan de participatie in SKA;
- Er komen SKA Science Data Centres, verspreid over internationale regio's en deelnemende landen. Daarvan zijn er vijf Coördinerende Data Centres. Nederland zal bij participatie waarschijnlijk een eigen Data Centre krijgen. Dit vereist wel een extra investering.

Beleidsalternatieven

De omvang van de Nederlandse investering kan verschillen. We hebben twee alternatieven onderzocht, waarin Nederland respectievelijk 5% en 10% investeert van het totaal benodigd bedrag voor SKA. 10% investeren betekent dat Nederland de leiding kan claimen bij een of meer 'werkpakketten' rond de bouw van SKA en dat Nederland in een sterkere positie komt om een coördinerend Data Center te krijgen. Bij het 10% alternatief zullen Nederlandse astronomen waarschijnlijk meer leidende posities in de Key Science Projecten hebben.

Wetenschappelijke effecten

SKA is het toonaangevende project in de wereld op het terrein van de radioastronomie. SKA wordt de meest krachtige radiotelescoop ter wereld en kan radiogolven waarnemen uit de ruimte die miljoenen tot miljarden lichtjaren van de aarde hun oorsprong hebben. De verwachting is dat SKA daardoor een enorme impuls geeft om met nieuwere technieken (nog) beter astronomisch onderzoek en nieuwe ontdekkingen te doen.

SKA participatie heeft een positief effect op het kennisniveau van de Nederlandse wetenschappers. Momenteel heeft Nederland een toppositie in de radioastronomie. Alle betrokkenen oordelen dat de Nederlandse toppositie in de radioastronomie alleen behouden kan worden als Nederland in SKA participeert. Hoe groter de Nederlandse bijdrage, hoe sterker dit positieve effect.

Participatie in SKA helpt bij het ontwikkelen van een meer coherent wetenschapsprogramma, heeft een positieve impact op andere wetenschappelijke onderzoekscentra en vergroot kennis en kunde voor het beantwoorden van grote wetenschappelijke vragen in multidisciplinaire settings met *big data*. SKA draagt bij aan open science en aan European Research Area doelstellingen van de Europese Commissie. Tot slot is SKA een voorbeeld van mondiale samenwerking en draagt het bij aan goede banden tussen landen die af en toe op andere terreinen stevig tegenover elkaar staan (wetenschapsdiplomatie).

Innovatie en valorisatie

SKA kan leiden tot belangrijke innovaties, die ook buiten SKA toepassingen kunnen vinden en kunnen leiden tot vergroting van omzet bij de betrokken bedrijven. Concreet kan SKA:

- Een belangrijke motor voor innovatie in ICT zijn.
- De vooruitgang in sensortechnologie en real-time monitoring versnellen. Dit is relevant voor verkeersstromen, inlichtingendiensten en de gezondheidszorg.
- Innovaties brengen in de ontwikkeling van *Low Noise Amplifiers*, analoog-digitaalomzetters en fotonica, relevant voor de telecomsector, met name draadloze communicatie.
- Schaa sprongen in de doorvoersnelheid van digitale communicatie teweegbrengen
- De energievraag van computers sterk verlagen.
- De in Nederland aanwezige supercomputer reken capaciteit vergroten.

De Nederlandse industrie is onder meer via het al door ASTRON opgezette DOME project goed gepositioneerd op het vlak van signaalverwerking en datadoorvoer en kan een goede rol spelen bij signaalkalibratie. In de gebruiksfase liggen er kansen voor de Nederlandse ICT industrie een rol te spelen bij het voortdurend verbeteren van de hardware, systeemontwerpen en (niet-wetenschappelijke) software. Dit kan leiden tot allerlei innovaties en verdere versterking van het ICT cluster in (Noord)Nederland.

SKA stelt zulke hoge uitdagingen aan de technologie dat het door geïnterviewden wordt beschouwd als een ‘game-changing project’ op het terrein van big-data en big-data verwerking met een mogelijk zeer grote impact. Doordat nieuwe technologieterrainen betreden worden is bijna niet te voorspellen waar die technologie voor te gebruiken is als hij eenmaal ontwikkeld is en waar economische effecten zullen neerslaan.

Menselijk kapitaal en arbeidsmarkt

Voor de betrokken bedrijven kan SKA in de periode 2018-2027 (en daarna als er voldoende spill-overs worden gerealiseerd vanuit de innovaties) werkgelegenheid opleveren van hoge toegevoegde waarde. Op langere termijn is ook van belang dat werknemers bij de toeleverende bedrijven waardevolle ervaring en nieuwe kennis opdoen en dat nieuwe radioastronomen worden opgeleid. Zij komen veelal niet in de radioastronomie terecht, maar hebben een gewild profiel in voor Nederland belangrijke industrieën en in de opkomende data-intensieve industrie.

Op basis van de ervaringen met het LOFAR project en de opdrachten die Nederland uit SKA kan verwachten, kan de werkgelegenheid rond SKA oplopen tot 100 à 200 banen, afhankelijk van de mate waarin Nederland investeert en van de vraag of er een datacentrum in Nederland komt. Het effect op de totale werkgelegenheid voor inwoners van Nederland is per saldo beperkt, omdat het vooral gaat om een verschuiving van werkenden vanuit andere banen en vanuit het buitenland. Wel kan deze verschuiving gepaard gaan met een toename van de (arbeids)productiviteit, aangezien menselijk kapitaal wordt versterkt en belangrijke innovaties worden gerealiseerd.

Inhoud

Samenvatting	i
1 Inleiding	1
2 Onderzoeksaanpak	3
2.1 Analytisch kader.....	3
2.2 Effecten en beleidsalternatieven	7
3 Wetenschappelijke effecten	13
3.1 Astronomisch onderzoek.....	13
3.2 De Nederlandse positie in radioastronomie	14
3.3 Uitstralingseffecten	15
4 Innovatie-effecten: valorisatie	19
4.1 Directe return via procurement	19
4.2 Outputs & outcomes: Hardware en software.....	19
4.3 Outputs & outcomes: Algoritmen en efficiënte rekenkracht.....	21
4.4 Bedrijven en clusters	23
4.5 Valorisatie van wetenschappelijke output	24
4.6 De omvang van de Nederlandse bijdrage	24
5 Arbeidsmarkteffecten	27
5.1 Menselijk kapitaal	27
5.2 Werkloosheid	29
6 Totaalbeeld en conclusies	35
Literatuur	37
Bijlage A LOFAR	39
Bijlage B Uitwerking arbeidsmarkteffecten	41
Bijlage C Geïnterviewde personen	48

1 Inleiding

De Square Kilometre Array (SKA) zal 's werelds grootste en meest gevoelige radiotelescoop worden. Momenteel wordt gewerkt aan de oprichting van een nieuwe, intergouvernementele verdragsorganisatie die SKA daadwerkelijk zal gaan bouwen. Welke effecten zijn er te verwachten indien Nederland hieraan deelneemt?

In internationaal verband wordt er gewerkt aan de ontwikkeling van de Square Kilometre Array (SKA), een zeer krachtige radiotelescoop voor sterrenkundig onderzoek. Duizenden receptoren zullen aan elkaar worden gekoppeld tot een effectief waarnemingsoppervlak van één vierkante kilometer, wat SKA tot 's werelds grootste en meest gevoelige radiotelescoop zal maken. De telescopen van de eerste fase van de bouw ('SKA1') worden gebouwd in Zuid-Afrika en Australië. Daarnaast zijn er SKA Science Data Centers voorzien in verschillende internationale regio's en deelnemende landen (zie tekstbox).

Nederland participeert momenteel met negen andere landen in de SKA-organisatie die in 2011 werd opgericht. Het doel van de SKA-organisatie is om het design en de organisatie voor de bouw en het beheer van SKA voor te bereiden. De deelnemende landen zijn bezig met onderhandelingen over de oprichting van een nieuwe, intergouvernementele verdragsorganisatie voor SKA (verder: SKA-verdragsorganisatie). Aan toetreding tot deze nieuwe organisatie zal een jaarlijkse (nu nog niet bepaalde, maar te onderhandelen) contributie verbonden zijn, waarmee de benodigde investeringen voor de telescoop worden gefinancierd. De onderhandelingen die nu plaatsvinden hebben betrekking op de periode 2018-2027.

Tekstbox 1 Square Kilometre Array (SKA)

Het idee voor SKA wordt sinds begin jaren 90 uitgewerkt door een internationale werkgroep. In 2011 werd de SKA-organisatie door Nederland en andere landen opgericht. De deelnemende landen zijn: Australië, Canada, China, India, Italië, Nieuw-Zeeland, Zuid-Afrika, Zweden, Nederland en het Verenigd Koninkrijk. De Nederlandse astronomische wetenschap en ASTRON Netherlands Institute for Radio Astronomy zijn vanaf het allereerste begin zowel wetenschappelijk, organisatorisch als technologisch nauw betrokken bij de ontwikkeling van SKA.

In SKA zullen honderden schotels en honderdduizenden antennes aan elkaar worden gekoppeld tot een effectief waarnemingsoppervlak van één vierkante kilometer en verbonden zijn met supercomputers die enorme datastromen verwerken. De bouw zal bestaan uit verschillende fasen. Op dit moment wordt gesproken over de eerste fase ('SKA1'), waarvan de bouw zal plaatsvinden in de periode 2018-2024. Hiervoor zullen telescopen in Zuid-Afrika en Australië worden gebouwd. In een tweede fase ('SKA2') worden de telescopen verder uitgebouwd in Australië en in Zuid-Afrika en andere Afrikaanse landen (Botswana, Ghana, Kenia, Madagaskar, Mauritius, Mozambique, Namibië en Zambia). Naast de telescopen zelf, worden er Science Data Centers ontwikkeld in de deelnemende landen.

SKA zal naar verwachting een grote impuls aan het wetenschappelijk onderzoek geven. Zo zal dankzij de extreme gevoeligheid die met SKA bereikt wordt, de vorming en evolutie van de eerste sterren en sterrenstelsels in het vroege heelal onderzocht kunnen worden. Ook kan, door het detecteren van pulsars, zwarte gaten en gravitatiegolven, Einsteins algemene relativiteitstheorie nog nauwkeuriger worden getest. SKA kan daarnaast via de detectie van niet natuurlijke radiostraling ook onderzoeken of er meer intelligent leven in het heelal is. Naast wetenschappelijke opbrengsten worden economische opbrengsten verwacht, zoals werkgelegenheid die verbonden is aan de bouw van de telescopen, grensverleggende technologische en algoritmische innovaties, en bredere maatschappelijke effecten, zoals publieke belangstelling voor wetenschap en techniek.

Bron: www.astron.nl en <http://wetenschap.infonu.nl>

De Nederlandse overheid wil bepalen of zij deel wil nemen aan de SKA-verdragsorganisatie en derhalve ook in de komende jaren significant wil investeren in de realisatie van SKA. Om tot een afgewogen beslissing te komen, zullen de voordelen en de kosten van Nederlandse deelname tegen elkaar worden afgewogen. De Nederlandse organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) en het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap hebben daarbij behoefte aan meer inzicht in de maatschappelijke baten van Nederlandse deelname aan SKA. SEO Economisch Onderzoek en Technopolis hebben in het kader daarvan een onderzoek uitgevoerd dat antwoord geeft op de volgende onderzoeksvraag:

Wat zijn de te verwachten wetenschappelijke, economische en bredere maatschappelijke opbrengsten/baten van de Nederlandse deelname aan de SKA-verdragsorganisatie in de periode 2018-2027?

De opbouw van dit rapport is als volgt. Hoofdstuk 2 gaat in op de onderzoeks aanpak die is gehanteerd. Hoofdstuk 3 beschrijft vervolgens de effecten van Nederlandse deelname aan SKA op de Nederlandse productie en werkgelegenheid. Hoofdstuk 4 gaat in op de innovatie-effecten en hoofdstuk 5 op de wetenschappelijke en bredere maatschappelijke effecten. Hoofdstuk 6 presenteert ten slotte een totaalbeeld en beschrijft de conclusies.

2 Onderzoeksaanpak

In dit onderzoek worden het stappenplan van de maatschappelijke kosten-batenanalyse als uitgangspunt genomen om de 'impact pathways' van deelname aan SKA in kaart te brengen. De beleidsalternatieven betreffen Nederlandse deelname aan de SKA-verdragsorganisatie. Deelname aan SKA genereert niet alleen wetenschappelijke kennis, maar ook innovatie, economische activiteiten en bredere maatschappelijke effecten.

2.1 Analytisch kader

Stappenplan

Voor dit onderzoek is het 'stappenplan' van de maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) gevolgd (Romijn en Renes, 2013):

1. Probleemanalyse: welke problemen bestaan er zonder het te onderzoeken overheidsbeleid of welke kansen blijven onbenut?;
2. Nulalternatief: de wereld zonder uitvoering van het te onderzoeken overheidsbeleid;
3. Beleidsalternatieven, dat wil zeggen het te onderzoeken overheidsbeleid;
4. Identificeren, kwantificeren (in hoeveelheden uitdrukken) en waarderen (in geld uitdrukken) van effecten;
5. Bepalen van de kosten;
6. Risicoanalyse: het uitvoeren van scenarioanalyses en het variëren van veronderstellingen (onder andere in de vorm van gevoeligheidsanalyses);
7. Opstellen van een overzicht van kosten en baten;
8. Presentatie en interpretatie van de resultaten.

De beperking van de scope van dit onderzoek tot de maatschappelijke baten leidt ertoe dat onderdeel 5 vervalt¹ en dat stap 7 wordt beperkt tot de baten.

'Impact pathways' van grote onderzoeksfaciliteiten

De wetenschappelijke literatuur over effecten van grote onderzoeksfaciliteiten (zoals SKA) is beperkt. Simmonds et al. (2013) concluderen dat veel studies zijn gericht op empirische voorbeelden (cases) van faciliteiten en dat er relatief weinig aandacht is voor een meer conceptuele uitwerking van de mogelijke effecten. De OESO (2016) komt in haar studie naar de sociaaleconomische impact van onderzoeksfaciliteiten tot dezelfde conclusie. Zij stelt dat er overeenkomsten zijn tussen de strategieën en modellen die gehanteerd worden bij het in kaart brengen van de effecten van verschillende onderzoeksfaciliteiten, maar dat de criteria die worden gehanteerd heterogeen zijn en verschillende doelen dienen.

Op basis van uitgevoerde onderzoeken naar verschillende grote onderzoeksfaciliteiten, heeft Technopolis Group (2013, 2014) een model opgesteld om op basis van 'impact pathways' de economische en innovatie-effecten van zulke faciliteiten te onderzoeken. Dit model wordt weergegeven in

¹ De effecten van het beleid kunnen gerelateerd zijn aan de kosten. Bijvoorbeeld de investeringen om de telescoop te bouwen zijn kosten voor de SKA organisatie (en uiteindelijk de deelnemende landen), maar tevens baten voor het bedrijf dat de telescoop bouwt. In dit onderzoek worden de kosten niet afzonderlijk gepresenteerd, maar wel gebruikt bij het in kaart brengen van de baten.

figuur 2.1. Het model gaat per pathway uit van inputs die leiden tot outputs (concrete resultaten), vervolgens tot outcomes (effecten op de direct betrokkenen) en impacts (bredere maatschappelijke effecten). Er is daarbij onderscheid gemaakt tussen de constructiefase, de operationele fase en de uitkomsten van die operationele fase.

Diverse effecten treden reeds op tijdens de *constructiefase*, zowel direct aan de bouw gekoppelde *werkegelegenheid* (die veelal vooral regionaal is, kolom links in bovenstaande figuur), als meer indirect effecten als gevolg van innovatie (ontwikkeling en toepassing van nieuwe technologieën) die nodig is om de onderzoeksinfrastructuur te bouwen. Voor SKA gaat dit om innovaties voor het realiseren van het netwerk van telescopen, de data centers en de telecommunicatieapparatuur: hardware zoals microelektronica voor signaalontvangst en verwerking en de ontwikkeling van technieken van data management, data analyse en beeldverwerkingsalgoritmen. Deze nieuwe technieken kunnen direct of indirect worden toegepast op andere terreinen en hebben daarmee *kennis- en marktspillovereffecten*.

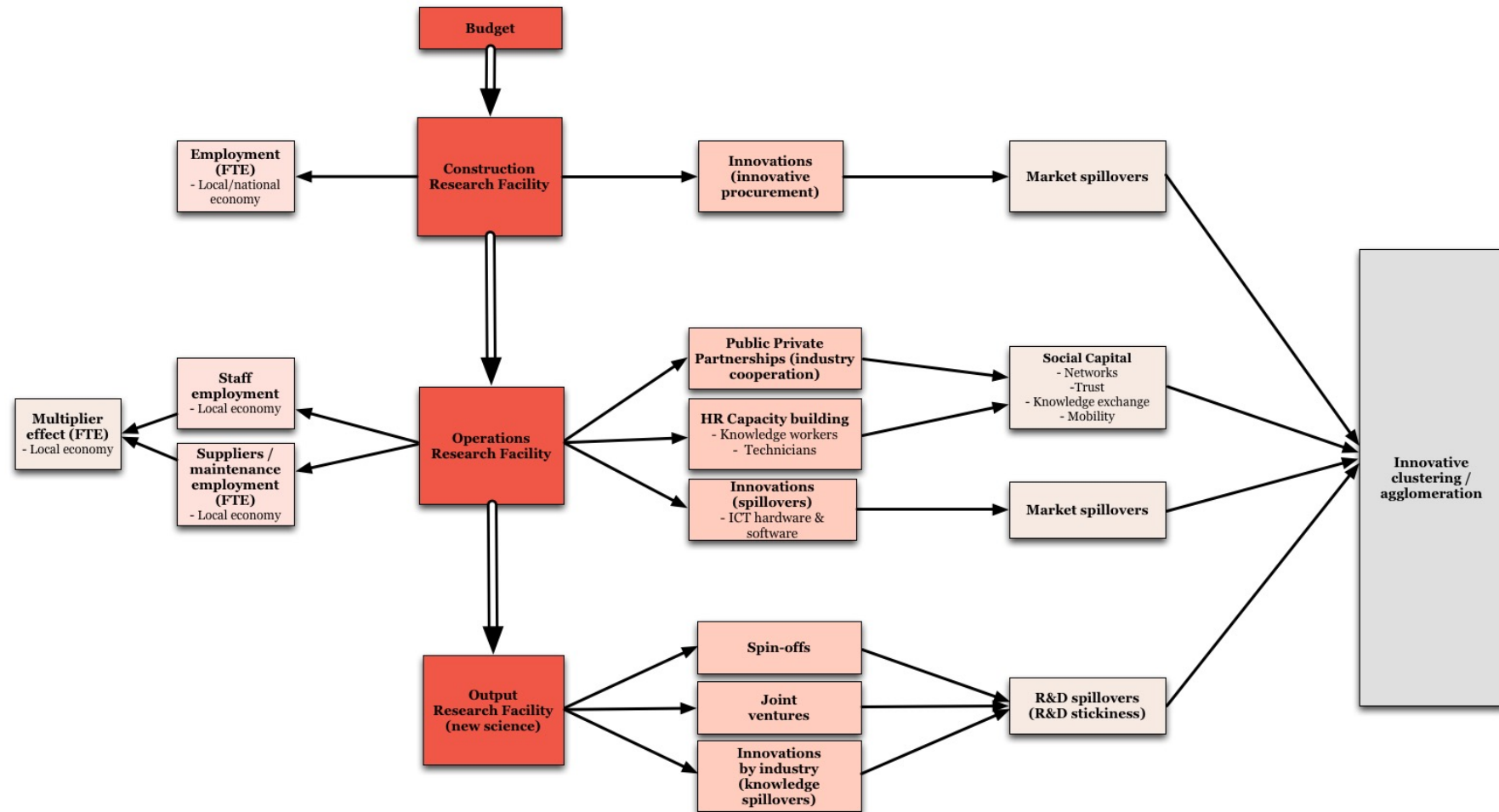
Ook als de onderzoeksinfrastructuur in *gebruik* is treden er effecten op. Op regionaal niveau betreft dit de werkegelegenheid bij onderzoekers en toeleveranciers (en met een *multiplier* effect ook verder in de regionale economie). Op meer macroschaal zijn er ook effecten op sociaal kapitaal (samenwerking, clustering, versterken van menselijke capaciteiten), verdere innovaties en spillovers van innovaties die uit het opereren van de onderzoeksinfrastructuur voortkomen. De opgedane kennis, vaardigheden en contacten leiden tot nieuwe ideeën en activiteiten (human capital en social capital), die al dan niet in samenwerking met het bedrijfsleven verder worden uitgewerkt. Mogelijk leidt dit tot nieuwe diensten of producten (spin-offs) en innovatie in het bedrijfsleven.

Uiteindelijk kunnen ook de *resultaten van het wetenschappelijk onderzoek* leiden tot nieuwe innovaties en bedrijvigheid. Vanwege de gerichtheid op fundamenteel astronomisch onderzoek is de kans hierop bij SKA echter klein. SKA zal vooral fundamentele wetenschappelijke inzichten opdoen die moeilijk vermarktbaar zijn. Ten eerste zijn dit principes gepubliceerd in wetenschappelijke literatuur en daardoor moeilijk octrooieerbaar. Verder is er vaak een lange tijdspanne tussen ontdekking en toepassing die de mogelijkheden tot verwaarding beperkt. Daarnaast is de weg van fundamentele theorie naar commerciële toepassing bezaaid met tussensprongen die elk even ingewikkeld kunnen zijn.

Een concreet voorbeeld van de bijdrage van astronomie aan vermarktbare toepassingen is de toepassing van Einsteins algemene relativiteitstheorie (1916) in het nu alledaagse GPS-systeem. Zonder deze astronomische inzichten in de aard van ruimte en tijd zou het GPS-systeem onbruikbaar zijn. Tussen de ontdekking van de algemene relativiteitstheorie en de toepassing ervan in GPS zitten echter wel nog de ontwikkeling van de atoomklok, de ruimtevaart en de micro-elektronica. Bij LOFAR, een voorganger van SKA, heeft het fundamentele onderzoek op veel kortere termijn diverse toepassingen op het gebied van (voorspelling van) Space Weather opgeleverd.

Onderzoeksfaciliteiten kunnen ook bijdragen aan *maatschappelijke innovaties*. Het kan hierbij gaan om innovaties die in de constructiefase of gedurende de operatie vertaald kunnen worden naar een maatschappelijke toepassing (denk bijvoorbeeld aan innovaties rondom sensor networks of andere ICT-toepassingen).

Figuur 2.1 De effecten van SKA lopen via verschillende 'impact pathways'



Bron: Technopolis Group (2013)

Ten slotte kunnen onderzoeksfaciliteiten een bijdrage leveren aan onderwijs en wetenschapscommunicatie. De resultaten van het onderzoek dat met behulp van SKA wordt gedaan kan nieuwe inzichten bieden en zelfs bestaande paradigma's ter discussie stellen. Die kennis kan vertaald worden in het onderwijs (curricula).

Uit eerdere studies blijkt dat grote onderzoeksfaciliteiten ook een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan wetenschapscommunicatie. CERN kan bijvoorbeeld de vraag naar rondleidingen van (school)jeugd niet aan en ook andere faciliteiten spreken in dit verband tot de verbeelding. De rol van het vakgebied sterrenkunde als middel om scholieren, studenten en publiek te enthousiasmeren is verder niet te onderschatten. Doordat iedereen alleen maar 's nachts omhoog hoeft te kijken om sterren te zien is de drempel voor betrokkenheid laag en zijn de mogelijkheden voor wetenschapscommunicatie groot. Ook ASTRON kan de vraag naar rondleidingen bij haar telescopen niet aan en een uitdagend project als SKA zal dat zeker bestendigen.

LOFAR als referentiescenario

De innovatie-effecten zijn moeilijk te kwantificeren. SKA bestaat nog niet en dit onderzoek probeert dus effecten in de toekomst te beschrijven. Daarnaast is met name de dataverwerking van SKA een uitdaging die de randen van het huidige technologische kunnen te boven gaat

Om de onzekerheid te verkleinen kijken we daarom ook terug naar de ervaringen uit LOFAR, een vergelijkbaar maar kleinschaliger astronomie-project dat hoofdzakelijk in Nederland is uitgevoerd. De logica is dat, vanwege de gelijkenissen uit SKA en LOFAR, de verwachtingen van de betrokkenen bij SKA te toetsen zijn aan behaalde resultaten bij LOFAR. Daarnaast kijken we vooruit met de verwachtingen van betrokkenen bij SKA en beschikbare documentatie over SKA en putten we uit de literatuur die beschikbaar is voor de bepaling van impacts door onderzoeksinfrastructuren. Een beknopte beschrijving van het LOFAR project is te vinden in de bijlage.

Kwantificeren en waarden effecten

Bij het kwantificeren van de effecten is de te hanteren analyseperiode van belang. De onderzoeksvraag heeft betrekking op de Nederlandse deelname aan het SKA-project in de periode 2018-2027. Nederlandse deelname in deze periode kan effecten genereren die ook na deze periode optreden. Het is bijvoorbeeld goed denkbaar dat (fundamentele) kennis die wordt opgedaan bij het SKA-project, pas veel later tot innovatie in het bedrijfsleven leidt. Omdat het veelal niet goed mogelijk is om de effecten van de (fundamentele) kennis die wordt opgedaan bij het SKA-project toe te kennen aan bepaalde jaren, is ervoor gekozen om onderscheid te maken tussen de effecten op korte termijn (2018-2027) en lange termijn (de periode na 2027).

Tijdens het onderzoek is gebleken dat er onzekerheid bestaat over de omvang van diverse effecten. Vanwege deze onzekerheden is er een bandbreedte ('range') in de kwantitatieve resultaten. Daarmee is onderdeel 6 van het stappenplan (Risicoanalyse) geïntegreerd in het onderzoek.

Invulling onderdelen

De onderdelen 1 tot en met 3 van het stappenplan (probleemanalyse, nulalternatief en beleidalternatieven) worden in het vervolg van dit hoofdstuk beschreven. De effecten van Nederlandse deelname aan SKA (onderdeel 4) - de kern van het onderzoek - worden vervolgens beschreven in de hoofdstukken 3 t/m 6. Hoofdstuk 3 gaat in de weenschappelijke effecten en hoofdstuk 4 op de

innovatie-effecten van Nederlandse deelname aan SKA, waarbij aan de hand van figuur 2.1 de ‘impact pathways’ achterhaald zullen worden. Hoofdstuk 5 bevat schattingen van de effecten van deelname aan SKA op Nederlandse productie en werkgelegenheid. Er wordt een input-output analyse uitgevoerd om het ‘multipliereffect’ te berekenen van de extra productie die Nederlandse deelname aan SKA oplevert. Hoofdstuk 6 geeft een totaalbeeld van de resultaten en de conclusies die uit het onderzoek kunnen worden getrokken.

2.2 Effecten en beleidsalternatieven

2.2.1 De potentie van SKA

SKA zal 's werelds grootste radiotelescoop worden, waarmee onderzoek gedaan kan worden naar fundamentele fysica, de oorsprong en evolutie van het heelal, de structuur van de Melkweg, de formatie en distributie van sterrenstelsels, planeten en astrobiologie. SKA is echter niet alleen een astronomieproject, maar wordt ook het meest grensverleggende ICT-project ter wereld, een voorbeeld en testcase voor de toekomst van de telecom en big-data industrie (COST, 2010). Het verleggen van de grenzen levert waardevolle expertise en nieuwe technologie op die zeer waarschijnlijk toepassingen kunnen vinden buiten de wetenschappelijke wereld.

De belangrijkste uitdaging ligt in het transport, opslaan, verwerken en begrijpen/analyseren van de enorme hoeveelheid data die bij SKA vrij zal komen. Deze uitdaging is relevant, omdat ook in het dagelijks leven de hoeveelheid data enorm toeneemt, en het vaak een uitdaging is om uit die grote hoeveelheid data zinnige informatie te halen. Denk aan de hoeveelheid foto's en video's die we in de cloud opslaan en die alleen maar gaat toenemen (opslag), aan de vlucht die 4G telefonie en streaming video neemt (transport), en aan de big-data analytics die worden gebruikt in e-commerce, klimaatmodellen, de financiële sector, geneeskunde en *industrie 4.0*. Het fenomeen van de naderende stortvloed aan data wordt ook wel gevat onder de term ‘Data Deluge’, ofwel ‘datazondvloed’: *“The data deluge [...] means that the sheer volume of new data is overwhelming the capacity of institutions to manage it and researchers to make use of it”* (PCAST, 2007)

In Nederland was ICT verantwoordelijk voor een kwart tot een derde van de economische groei in de afgelopen twee decennia (Ministerie van Economische Zaken, 2016). Om te leren gaan met de datazondvloed is essentieel voor ons land. De digitale transitie betekent een verandering in wat er in de economie wordt geproduceerd, de manier waarop dit gebeurt, de benodigde infrastructuur en de organisatie van productie en dienstverlening (Ministerie van Economische Zaken, 2016).

SKA verlegt daarbij duidelijk huidige grenzen: waar nu het grootste archief maximaal zo'n honderd petabytes aan databestanden omvat, zal SKA al snel honderden petabytes **per jaar** aan data opleveren (bijna twee orde groottes meer dan LOFAR). Door de grensverleggende aard van SKA is er veel werk te verrichten in het ontwerpen van standaarden, het verrichten van R&D en het ontwikkelen van technologie en innovaties op het gebied van dataverwerking. Dat zijn activiteiten die ook economisch de meeste toegevoegde waarde genereren (Wetenschappelijke Raad voor het Regeeringsbeleid, 2013; Raad voor de leefomgeving en de infrastructuur, 2016). Een participatie in SKA kan Nederland dus helpen vroeg betrokken te zijn bij hoogwaardige, sociaal-economisch relevante technologieontwikkeling.

2.2.2 Nulalternatief en beleidsalternatieven

Nulalternatief

Voor deze studie is het nulalternatief de situatie dat Nederland niet toetreedt tot de nieuwe verdragsorganisatie die SKA gaat bouwen en niet langer deelneemt aan het SKA-project (hierna kortweg aangeduid als 'deelname SKA'). Het nulalternatief betreft "de meest waarschijnlijke ontwikkeling die zich zou voordoen zonder nieuw beleid." (Romijn en Renes 2013, p. 72).

In het nulalternatief wordt ervan uitgegaan dat SKA ook wordt gerealiseerd als Nederland besluit niet deel te nemen. De reden is dat de Nederlandse bijdrage een relatief klein aandeel van het totale project betreft (maximaal 10%). Momenteel vinden de onderhandelingen plaats over de (voorwaarden van) deelname van de verschillende landen aan de SKA-verdragsorganisatie. Daarom kan niet met zekerheid worden gezegd of SKA ook zonder Nederlandse deelname wordt gerealiseerd. Mogelijk wordt de plaats van Nederland opgevuld door een ander land, of wordt de bijdrage van de resterende deelnemende landen verhoogd. Een andere mogelijkheid is dat SKA later gebouwd wordt.

Veel van de effecten van SKA worden in het nulalternatief wel gegenereerd maar zullen dan echter niet (denk aan de bouwopdrachten voor SKA) of in mindere mate en/of later (denk aan innovatie-effecten) in Nederland terechtkomen. De Nederlandse astronomische wetenschap heeft in het nulalternatief weinig of geen toegang tot SKA, want waarneemtijd is gekoppeld aan het lidmaatschap van SKA.

Beleidsalternatieven

De beleidsalternatieven betreffen de situatie waarin Nederland deelneemt aan SKA, dat wil zeggen toetreedt tot de nieuwe verdragsorganisatie, investeert in de bouw van SKA en, voor minimaal 10 jaar, bijdraagt aan de operationele kosten. Concreet houdt dit het volgende in:

- Nederland participeert in het ontwikkelen, bouwen en beheren van SKA in de periode 2018-2027.
- Nederland maakt vanaf 2018 aanspraak op bouwcontracten². Het procurement plan van SKA is erop gericht dat deelnemende landen alle niet-infrastructuur gerelateerde kosten (infrastructuur is ca. 25% van totale kosten) die zij voor hun rekening nemen terugkrijgen in opdrachten. Ook op infrastructurele kosten kunnen alle deelnemende landen inschrijven, maar daar is, ondanks dat er mogelijkheden voor Nederlandse bedrijven liggen - indien met name ASTRON hier alert erop blijft - de concurrentiepositie van de vestigingslanden Australië en Zuid-Afrika veel sterker dan die van de andere lidstaten.
- Onderzoekers verbonden aan Nederlandse universiteiten en/of ASTRON kunnen deelnemen aan de 'Key Science Projects' die met SKA zullen worden uitgevoerd en zullen met voorrang toegang tot telescopen en data hebben; daarbij bepalen zij ook precies *wat* er wordt waargenomen, in tegenstelling tot niet-participanten die het moeten stellen met de data van waarnemingen gedaan door participanten.
- Naast de bouw van de radiotelescopen zelf, is er een aantal SKA Science Data Centers voorzien, verspreid over de verschillende internationale regio's en deelnemende landen. In de interviews van dit onderzoek wordt gesteld dat de Nederlandse astronomische gemeenschap "*hoe dan ook*

² Bouwcontracten is hier breed gedefinieerd. Het gaat niet enkel om de bouw van de radiotelescoop zelf, maar ook om de ontwikkeling van (ontwerpen voor) software en hardware.

in enige vorm" een datacentrum in Nederland zal willen vestigen als in SKA wordt geparticipeerd: "Zonder rekencentrum heb je weinig aan de data". De beleidsalternatieven gaan er dan ook vanuit dat de kans groot is er een SKA Science Data Center in Nederland wordt opgericht. De oprichting van een dergelijk centrum vergt wel een extra investering.

Er zijn meerdere alternatieven met betrekking tot de omvang van de investering. Hoe meer wordt geïnvesteerd, hoe groter de kans lijkt te zijn om uit die investering opbrengsten te halen. Voor deze studie hebben we twee beleidsalternatieven gedefinieerd:

- In het **beleidsalternatief 5%** investeert Nederland 5% van het totaal benodigd bedrag in SKA.
- In het **beleidsalternatief 10%** investeert Nederland 10% van het totaal benodigd bedrag in SKA.

10% investeren betekent dat Nederland de leiding kan claimen bij een of meerdere werkpakketten rond de bouw van SKA en dat Nederland in een sterkere positie komt om in een latere fase van SKA een coördinerend datacentrum te krijgen. Dit is onderwerp van onderhandeling. Ook de positie van Nederlandse astronomen is gekoppeld aan het niveau van de bijdrage. Bij het 10% scenario zullen zij waarschijnlijk meer leidende posities (en dus invloed) in de Key Science Projecten kunnen krijgen.

2.2.3 De Nederlandse rol in SKA

Nederland heeft een lange en vooraanstaande traditie in de radioastronomie. Deze gaat terug tot 1956 (de Dwingeloo telescoop) en werd voortgezet met de Westerbork Synthese Radiotelescoop (WSRT) en verschillende verbeteringen daarvan (ASTRON, 2015). SKA past in deze traditie.

Het idee voor SKA werd geboren in 1988, maar destijds waren er nog geen computers en netwerken die krachtig en snel genoeg waren om het werk uit te voeren. Toen de elektronica bijna zover was, rond het jaar 2000, startte het LOFAR project van ASTRON in Nederland: een radiotelescoop met verschillende waarnemstations (sensorvelden met antennes) verspreid over een groot oppervlak om zo gedetailleerde waarneming mogelijk te maken. LOFAR is de eerste radiotelescoop voor astronomisch onderzoek waar gebruik wordt gemaakt van digitale combinatie van vele individuele (kleine) antennes. In dat opzicht is het een baanbrekend project dat voor SKA van groot belang is. Het is dan ook één van de zogenaamde *pathfinders* voor SKA, projecten ter voorbereiding van SKA.

Binnen LOFAR zijn met name Nederlandse sterktes ontwikkeld op het gebied van antenne technologie (het ontvangen en lokaal voorbewerken van radiosignalen), en voor het verwerken van de signalen (het combineren van alle signalen van de duizenden antennes tot één waarneming, en vervolgens het omzetten van deze waarnemingen in wetenschappelijke data). Door het via LOFAR ontwikkelen van technologie en concepten voor SKA, heeft Nederland (middels ASTRON) een hele sterke positie opgebouwd in de voorbereiding van SKA. Dit reikt van ontwerpen op papier tot werkende prototypes, en onderdelen die nu al worden toegepast in teststations. Het internationale SKA-consortium is in meerdere of mindere mate afhankelijk van de technologie die ASTRON in handen heeft en rekent, volgens respondenten, op de inzet van ASTRON bij SKA. Nederland heeft, vanwege haar historische positie in de radioastronomie en haar ervaring in LOFAR, in de huidige ontwerpfasen van SKA een vooraanstaande rol, vergelijkbaar met de rol die de gastheerlanden voor SKA (Australië, Verenigd Koninkrijk en Zuid Afrika) hebben.

De aanzienlijke data-volumes die ASTRON's LOFAR en Westerbork telescopen produceren vormen nu al een grote uitdaging. Er wordt momenteel gewerkt aan de oprichting van een datacentrum om alle gegevens van deze radiotelescopen te (kunnen) verwerken, interpreteren, visualiseren en archiveren. Dit datacentrum biedt Nederland de mogelijkheid om zich voor te bereiden op de komst van SKA data en de leidende positie ten aanzien van de SKA Science Data Centres verder te versterken. Het is te verwachten dat het LOFAR/Westerbork datacentrum zal worden geïntegreerd met een SKA Science Data Centre.

2.2.4 Identificatie van effecten

Tabel 2.1 vat de scope van het onderzoek samen. In dit onderzoek staan de effecten voor Nederland van Nederlandse deelname aan SKA centraal. Twee andere categorieën effecten zullen worden beschreven voor zover deze worden geïdentificeerd tijdens het onderzoek. Zij vormen echter geen centraal onderwerp van onderzoek. De eerste categorie betreft effecten van Nederlandse deelname aan SKA voor andere landen. De tweede categorie betreft effecten van het SKA-project in brede zin (dus niet specifiek als gevolg van de Nederlandse deelname aan SKA) voor Nederland. Hierbij valt te denken aan effecten van SKA op astronomisch onderzoek in Nederland die in elk geval zullen optreden, ook als Nederland niet aan SKA deelneemt. De effecten van het SKA-project voor andere landen vormen nadrukkelijk geen onderdeel van het huidige onderzoek.

Tabel 2.1 De scope van het onderzoek heeft betrekking op de effecten van Nederlandse deelname aan SKA voor Nederland

Effecten van:	Effecten voor:	Nederland	Andere landen
Nederlandse deelname aan SKA		Kern onderzoek	Soms beschreven
SKA-project		Soms beschreven	Geen onderdeel onderzoek

Bron: SEO Economisch Onderzoek (2016)

In tabel 2.2 worden verschillende soorten positieve effecten van Nederlandse deelname aan SKA beschreven. Deze effecten worden uitgewerkt in de volgende hoofdstukken.

Tabel 2.2 De scope van het onderzoek heeft betrekking op de effecten van Nederlandse deelname aan SKA voor Nederland

	Astron/ NWO/ Nederlandse universiteiten	Nederlands bedrijfsleven
Omzet bouw + onderhoud SKA	+	+
Werkgelegenheid bouw + onderhoud SKA	+	+
Kennis/ Human capital	+	+
Innovatie	+	+
Marktspilovers	+	+
Spinoffs		+
Social capital	+	

Bron: SEO Economisch Onderzoek (2016)

3 Wetenschappelijke effecten

SKA schaalt de radioastronomie verder op naar een aanpak waarin wereldwijd wordt samengewerkt om het vakgebied verder te helpen. Door Nederlandse participatie kan de Nederlandse leidende positie in dit veld worden gehandhaafd.

3.1 Astronomisch onderzoek

De ‘*science case*’ van SKA is getoetst door de peer review in het kader van de nationale Roadmap Grote onderzoeksfaciliteiten (NWO, 2016). SKA staat al sinds 2006 op de ESFRI Roadmap en kreeg in 2016 de ‘landmark’ status. Hieraan vooraf is een review georganiseerd door de ESFRI commissie. (European Strategy Forum on Research Infrastructures, 2016). ESFRI looft SKA als meest prestigieuze en – in ontwerp – hoogst presterende infrastructuur ter wereld die ons in staat stelt antwoorden te krijgen op de meest fundamentele astronomische vraagstukken. Als meest krachtige radiotelescoop ter wereld kan SKA radiogolven waarnemen in de ruimte die miljoenen tot miljarden lichtjaren van de aarde hun oorsprong hebben. De verwachting is dat SKA daardoor een enorme impuls geeft aan het astronomisch onderzoek.

Meer in detail zal het doel van SKA zijn:

- Het verschaffen van de eerste beelden en statistisch significante waarnemingen van de re-ionisatie, de fase waarin materie na het ontstaan van het universum genoeg afkoelde om vanuit subatomaire deeltjes weer ionen en vervolgens atomen te vormen.
- Het detecteren van de grootste verzameling pulsars (een snel pulserend soort ster). Hiermee zijn uiterst gevoelige waarnemingen van zwaartekrachtsgolven mogelijk die, wanneer gecombineerd met andere instrumenten, onderzoek naar gravitatie een nieuwe vlucht geven.
- Het uitvoeren van diepe radioband waarnemingen in hoge resolutie, die complementair zijn aan de Euclid³-missie. Hiermee zijn preciezere afschattingen te maken van een heel scala kosmologische fenomenen die te maken hebben met de kosmische achtergrondstraling en daarmee de eerste microseconden van de ontwikkeling van ons heelal.
- Het uitvoeren van hooggevoelige waarnemingen van neutraal waterstof om de evolutie van gassen in melkwegstelsels te bestuderen. Deze waarnemingen zijn ook complementair aan de Euclid-missie en zullen dienen om de waarnemingen van dit toekomstige instrument preciezer te kunnen plaatsen.
- Het verschaffen van de mogelijkheid om meerdere malen per dag nieuwe klassen variabele bronnen waar te nemen en te lokaliseren, waaronder de *fast radio bursts*. De oorsprong van deze flitsen is buiten ons melkwegstelsel en verder onverklaard; mogelijk zijn ze gerelateerd aan zwarte gaten en botsingen van massieve hemellichamen.

³ De Euclid missie van het Europese RuimtevaartAgentschap (ESA) bestaat uit een ruimtetelescoop (te lanceren in 2020) die waarnemingen uitvoert om de relatie tussen de afstand van een melkwegstelsel, en de snelheid van zijn beweging van de aarde af te meten. Met kennis hierover kunnen grote vraagstukken als donkere materie en donkere energie wellicht beter verklaard worden.

SKA is in drie van de vijf bovenstaande missies van grote toegevoegde waarde voor andere astronomische en astrofysische thema's en hun bijbehorende instrumenten. De wetenschappelijke anticipaties voor SKA zijn hoog: volgens betrokkenen kan SKA voor de astronomie zijn wat CERN voor de deeltjesfysica is.

3.2 De Nederlandse positie in radioastronomie

SKA participatie heeft een positief effect op het kennisniveau van de Nederlandse wetenschappers. Momenteel heeft Nederland een topositie in de radioastronomie, zoals ook wordt bevestigd in de interviews en in onafhankelijke kwaliteitsreviews door een internationaal panel (Quality Assurance Netherlands Universities (QANU), 2011). Zoals gezegd dateert deze topositie vanaf het begin van dit wetenschapsterrein en is deze onlangs bestendigd met LOFAR. De huidige leidende positie blijkt daarnaast uit de toekenning van 11 ERC grants in de periode 2010-2014, met een totale waarde van € 27 miljoen aan onderzoekers in het LOFAR project (European Research Council, 2016).

Het hebben van een leidende positie wordt in sterke mate bepaald door het instrument waarmee je kan meten: de wereldtop bereik je door toegang tot de beste instrumenten. LOFAR is op dit moment een van de belangrijkste instrumenten en zal nog zeker enkele jaren van groot belang zijn. SKA wordt het belangrijkste instrument van de volgende generatie (NWO, 2011).

Alle betrokkenen oordelen dat de Nederlandse topositie in de radioastronomie alleen behouden kan worden als Nederland in SKA participeert. Met LOFAR is in het komende decennium nog goede wetenschap te bedrijven is. Echter, als nieuwere, betere methoden beschikbaar komen voor bestudering van de ruimte (lees: als SKA is gerealiseerd) zullen de meest getalenteerde wetenschappers, er voor kiezen om deze methoden te gebruiken, zo niet in Nederland, dan elders. Een participatie in SKA is dus belangrijk voor het in stand houden van de Nederlandse topositie in de radioastronomie en tevens om daarmee Europese onderzoeksgelden te blijven verwerven (NWO, 2011). (Ook wanneer Nederland geen verdere investeringen in SKA doet na 2027 kan met een beperkte jaarlijkse bijdrage de uiteindelijke wetenschappelijke opbrengst binnengehaald worden).

Participatie van Zuid-Afrika in SKA heeft er toe geleid dat het aantal radio-astronomen is gegroeid van drie tot honderden, en dat de astronomie in Zuid-Afrika zich ook internationaal aan het ontwikkelen is. De internationale positie op het gebied van de radioastronomie van de Verenigde Staten die niet in SKA participeren (en ook Duitsland, dat uit de SKA organisatie is gestapt, maar nog wel betrokken is bij SKA en mogelijk op middellange termijn weer mee gaat doen) is volgens enkele geïnterviewden mogelijk aan het verzwakken, met ook een vermindering van het aantal radio-astronomen als gevolg.

Overigens zijn de meeste in Nederland promovierende onderzoekers van niet-Nederlandse herkomst: door de leidende positie worden hoog opgeleide mensen naar Nederland getrokken die hier veelal na hun promotie ook lijken te blijven⁴. Samenwerking met het beste dat de wereld te bieden heeft komt ook het niveau van Nederlandse wetenschappers en ten goede.

⁴ Statistieken zijn niet beschikbaar, maar diverse geïnterviewden merken dit op

3.3 Uitstralingseffecten

3.3.1 Wetenschapsprogramma en andere disciplines

Een participatie in SKA levert ook voordelen voor zowel verwante als niet-verwante wetenschappelijke disciplines. Internationale samenwerkingsverbanden zoals SKA zorgen voor een meer coherent wetenschapsprogramma bij alle participanten, zodat dubbel werk voorkomen wordt en participanten leren van elkaars methoden en standaarden, delen kennis en versterken de Europese en wereldwijde onderzoeksgemeenschap (COST, 2010; Science Business, 2015; Technopolis Group, 2014).

SKA draagt direct bij aan de nationale wetenschapsagenda, aan de routes over de Oorsprong van het leven, de Bouwstenen van materie en Big Data. Meer concreet kan SKA helpen de volgende vragen uit de agenda te beantwoorden:

- Wat zijn de oorsprong, geschiedenis en toekomst van het heelal?
- Wat is de ware aard van zwaartekracht, ruimte en tijd en wat kun je bijvoorbeeld leren van zwarte gaten?
- Wat is donkere materie en wat is donkere energie?
- Hoe ontstaan melkwegstelsels, sterren en planeten?
- Hoe kunnen we met ruimtevaartuigen en telescopen meer begrijpen van het heelal en ons zonnestelsel exploreren?
- Is er leven buiten de aarde?
- Big data: kunnen we data omzetten in waarde, inzichten en antwoorden?
- Hardware: hoe kunnen we ‘dingen’ altijd en overal met elkaar verbinden en de rekensnelheid van processoren verder verhogen bij een lager energieverbruik?
- Hoe bouwen en onderhouden we software die morgen ook nog werkt?
- Wat volgt op het elektronische siliciumtijdperk: “beyond Moore”?
- Hoe kunnen we door nieuwe materialen, technologieën en processen gebouwen en infrastructuur goedkoper, veiliger, en duurzamer maken?

SKA kan verder positief bijdragen aan andere wetenschappelijke onderzoekscentra als ERCET (European Research Center for Exoscale Technology, opgezet als voorbereiding op SKA) en ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, die een locatie zoeken voor hun nieuwe supercomputer). ERCET betreft samenwerking met betrekking tot big data tussen ASTRON, IBM en Rijksuniversiteit Groningen; ERCET omvat ook het DOME project dat elders in dit rapport wordt genoemd.

Participatie in SKA zal Nederlandse wetenschappers toegang verschaffen tot niet alleen een astronomisch instrument, maar ook tot kennis en kunde voor het beantwoorden van grote wetenschappelijke vragen in multidisciplinaire settings met *big data*. Hier werken twee mechanismen:

1. Sommige (natuurkundige) vraagstukken zijn niet meer op te lossen door naar één enkel deel van de fysica te kijken, bijvoorbeeld het radiospectrum. De opkomst van de astrodeeltjesfysica toont dat complexe vraagstukken moeten worden beantwoord door bijvoorbeeld bij zowel CERN als radiotelescopie hypothesen te toetsen (Klößner, 2013).

2. Doordat diverse wetenschappelijke disciplines, waaronder genetica en (bio)medische analyses; geologische en geofysische modellen en *digital humanities*, in toenemende mate rusten op *big data*-methoden om de vragen te beantwoorden, convergeren hun onderzoeksmethoden.

Beide mechanismen leiden ertoe dat er schaalvoordelen te behalen zijn met het participeren in grote wetenschappelijke infrastructuren. Respondenten bij een Nederlands rekencentrum legden uit dat er hoe dan ook een minimum staf nodig is voor een rekencentrum. Als er enkele grote trekkers in het land zijn, zoals SKA, kunnen andere disciplines daar goed op meeliften. De kennis en kunde die *data scientists* bezitten om de infrastructuur te bedienen is namelijk breder inzetbaar dan voor SKA alleen en dat geldt ook voor de hardware. De digitalisering van de wetenschap is daarbij een sterke drijfveer van het *open science*-principe (Ministerie van Economische Zaken, 2016; AWTI, 2016).

3.3.2 Open science

Met de komst van een datacenter in Nederland voor SKA worden methoden, competenties en infrastructuren ontwikkeld om wetenschappelijke data publiek te maken en als Nederland de Europese coördinatie van *transnational access* voor de science data centers op zich kan nemen wordt dit leereffect alleen nog groter.

De data van de SKA *science data centers* wordt namelijk toegankelijk via een *open science* principe. Dat houdt in dat de astronomische hoeveelheden data beschikbaar worden gemaakt aan onderzoekers wereldwijd zij het dat grotere (financiële) betrokkenheid bij SKA sturing geeft aan welke data worden verzameld (hoe worden de telescopen gericht?) en preferentiële toegang geeft tot de data.

Voor het beschikbaar maken van de data zijn niet alleen programmeurs en software-engineers nodig, maar ook experts op het gebied van archivering, metadata en heuristiek. Dit wordt ook wel de ‘zachte kant’ van datawetenschap genoemd. Open Science was één van de speerpunten van het Nederlands Voorzitterschap van de Europese Raad in 2016. Het belang van het ontwikkelen van competenties voor *open science* werd onder andere door de AWTI dit voorjaar benadrukt (AWTI, 2016).

Zulk soort synergie met andere wetenschapsgebieden is aantoonbaar. In Nederland zijn op de LOFAR-infrastructuur meerdere projecten aangesloten, zowel voor datatransport als rekenkracht. (LOFAR, ongedateerd). Betrokkenen bij LOFAR noemen het Target-rekencentrum als concreet voorbeeld van een publiek-private spin-off. Target is een van Nederlands grootste projecten op het gebied van grootschalig databeheer en informatiesystemen waarin ASTRON, het UMCG, de Universiteit Groningen, instituten voor kunstmatige intelligentie en IT samenwerken met bedrijven als IBM en Oracle (Target, 2016). Het functioneert daarmee als brandpunt van multidisciplinair onderzoek.

3.3.3 Bijdrage aan European Research Area

Ook de European Research Area (ERA) doelstellingen (Europese Commissie, 2012) worden gediend met een participatie in SKA. SKA is een belangrijke onderzoeksinfrastructuur, opgenomen

op de ESFRI roadmap. Als internationaal project versterkt het transnationale coöperatie en competitie, voorziet het in optimale circulatie, toegang tot en overdracht van wetenschappelijke kennis en draagt het bij aan een open arbeidsmarkt voor onderzoekers. Ook leidt SKA, door internationale afstemming, tot effectievere nationale onderzoeksinfrastructuren op het terrein van radioastronomie.

3.3.4 Mondiale samenwerking, science diplomacy

In het SKA-consortium zitten, naast Europese landen, Australië en Canada, ook enkele nieuwe, opkomende economische grootmachten zoals China, India en Zuid-Afrika. Wetenschappelijke samenwerking en daaraan gekoppeld wetenschapsdiplomatie, helpt de (in)formele banden met deze landen te versterken. De diplomatieke contacten in verband met SKA hebben ook een sterk effect op andere wetenschappelijke samenwerking tussen de betrokken landen. Bijvoorbeeld Zuid-Afrika geeft aan dat haar wetenschappelijke reputatie door deelname in SKA is versterkt. Omdat het onderwerp SKA niet politiek gevoelig ligt is er veel goodwill tussen de onderhandelaars, hetgeen heeft bijgedragen om de relaties met andere landen te versterken, ook op politiek niveau. Dit helpt weer om gezamenlijke uitdagingen zoals klimaatverandering en mondiale gezondheidsproblematiek te adresseren en om buitenlands beleid te informeren (The Royal Society, 2010) (interviews).

SKA zal het eerste *mega-science* project zijn op het Afrikaanse continent, met een groot potentieel voor ontwikkeling en opleiding (Chalmers University, 2014). In Zuid-Afrika is SKA het leidende wetenschapsproject, met grote populariteit bij politici en bevolking. SKA heeft een positieve impact op de gehele Zuid-Afrikaanse wetenschap in termen van onder meer zelfbewustzijn, internationalisering en kwaliteitsbesef (African European Radio Astronomy Platform, 2013; European Parliament, 2012). Ook zijn er effecten op de Zuid-Afrikaanse economie, zowel door versterkte relatie met multinationals als Intel, IBM en Cisco, als door inschakeling van het Zuid-Afrikaanse midden- en kleinbedrijf, dat daardoor omzet krijgt en internationale referenties. Intel, één van de betrokken bedrijven bij SKA, heeft verder diverse projecten opgestart in Zuid-Afrika met betrekking tot internet en de *information age*, en heeft computers en internettoegang ter beschikking gesteld aan scholen en onderwijzers getraind (Science Business, 2015).

4 Innovatie-effecten: valorisatie

Circa 80% van de investering in SKA komt middels opdrachten vanuit SKA terug in Nederland. De uitdaging van SKA biedt echter mogelijk veel grotere (high risk, high reward) kansen voor valorisatie

4.1 Directe return via procurement

Het ontwerp van SKA is onderverdeeld in tien werkpakketten, variërend van het realiseren van de infrastructuur in Australië en Afrika tot de ontwikkeling van hardware en software. In onderstaande tabel zijn alle SKA-werkpakketten weergegeven.

Tabel 4.1 SKA Werkpakketten (ontwerpfase)

Assembly, Integration and Verification (AIV)	Mid-Frequency Aperture Array (MFAA)
Central Signal Processor (CSP)	Signal and Data Transport (SaDT)
Dish (DSH)	Science Data Processor (SDP)
Infrastructure Australia and Africa (INFRA AU/INFRA SA)	Telescope Manager (TM)
Low-Frequency Aperture Array (LFAA)	Wideband Single Pixel Feeds (WBSPF)

Bron: SKA (2016)

Het procurement plan van SKA is erop gericht dat deelnemende landen in SKA alle niet-infrastructuur gerelateerde kosten (infrastructuur is ca. 25% van totale kosten) die zij voor hun rekening nemen terugkrijgen in opdrachten. Ook op infrastructurele kosten kunnen alle deelnemende landen inschrijven, maar dat ligt vooral in de vestigingslanden Australië en Zuid-Afrika. Dit betekent dat Nederland circa 80% van zijn participatiebedrag in SKA terugkrijgt in opdrachten vanuit SKA. Hoe groter de participatie hoe groter dus de omvang van de opdrachten voor de Nederlandse betrokkenen, in de eerste plaats ASTRON en Nederlandse onderzoekers, maar ook zeker het Nederlandse bedrijfsleven.

4.2 Outputs & outcomes: Hardware en software

Gezien de ambitieuze doelstellingen van SKA en de grote hoeveelheden data die beschikbaar komen en geanalyseerd dienen te worden zullen in vrijwel alle werkpakketten innovaties gerealiseerd moeten worden die leiden tot het verschuiven van de grenzen tot wat momenteel mogelijk is. SKA is derhalve een project dat kan leiden tot ‘game-changing technologies’. De potentiële uitstraling daarvan is groot (zie hieronder).

Nederland heeft, vanuit het werk dat reeds binnen LOFAR gedaan is een sterke positie op het terrein antennetechnologie en is goed gepositioneerd voor de werkpakketten gericht op de constructie van de beide typen *array antennas*. ASTRON leidt momenteel twee multinationale consortia (LFAA en MFAA, zie Tabel 4.1). Daar wordt technologie ontworpen, geproduceerd en vervolgens toegepast voor het ontvangen en lokaal voorbewerken van radiosignalen. De signalen worden vervolgens over glasvezels in plaats van de traditionele metalen coax kabels Bijdragen hieraan heeft een positieve bijdrage voor de Nederlandse fotonica sector. De signalen worden verstuurd naar de

Central Signal Processor. In dit werkpakket worden hard- en software ontwerpen gemaakt voor de technologie die alle signalen van de duizenden antennes recombineert tot één waarneming. Ook op dit terrein heeft Nederland een zeer goede positie.

Tijdens de constructie (tot 2024) zullen de innovatie-effecten voornamelijk plaatsvinden op het vlak van signaalverwerking en datadoorvoer. Het is zeer aannemelijk dat er grote stappen worden gemaakt op de bovenstaande technologische gebieden, doordat het voor een zinvol gebruik van SKA nodig is dat de grenzen van wat technisch haalbaar is verlegd worden.

Binnen het Science Data Processor consortium worden hardware en software ontwikkeld voor de eerste fase van de productie van wetenschappelijke eindproducten. Van de centrale rekenkernen die in Australië en Zuid-Afrika worden geplaatst, waaraan Nederland ook bijdraagt, wordt gezegd dat de hardware simpelweg nog niet bestaat. Deze moet eerst ontwikkeld worden en dat zijn R&D inspanningen die door de SKA-partners wordt uitgevoerd. Nederland is goed gepositioneerd om hieraan bij te dragen door het aan LOFAR ontsproten DOME project. In dit project worden door ASTRON in samenwerking met IBM *microservers* ontwikkeld, waarin de rekencapaciteit van een heel serverrek in een apparaat zo groot als een smartphone past. Deze apparaten zijn veel energiezuiniger en verbruiken minder (zeldzame) materialen dan standaard technologie. Bij de ontwikkeling van DOME zijn zo'n 105 FTE betrokken tussen 2012 en 2017 (ASTRON, IBM, 2012).

DOME is gebaseerd op de samenwerking tussen IBM en ASTRON in LOFAR. De eerste stap in de combinatie van gegevens van alle LOFAR stations vond aanvankelijk plaats op een IBM BlueGene/L supercomputer die bij het begin van LOFAR in het ontwikkelstadium was en in Nederland zijn vuurdoop kreeg. Enkele jaren later is geüpgraded naar een nieuwere, krachtiger versie, de BlueGene/P. Deze krachtiger versie was onder andere gebaseerd op de lessen uit LOFAR en dan met name de ervaring in het omgaan met grote hoeveelheden gelijktijdige datastromen. Voorheen was een supercomputer vooral een grote hoeveelheid rekenkernen die op zich niet zoveel data input kregen. Voor LOFAR moest de computer om leren gaan met een groot aantal verschillende data-inputs. Op dit moment wordt het rekenwerk voor LOFAR alweer grotendeels op een nieuw rekencluster gedaan, gebaseerd op hardware die lijkt op van high-performance grafische kaarten die oorspronkelijk in spelcomputers hun toepassing vonden.

De bovenstaande ontwikkelingen speelden in de afgelopen tien jaar, en bij zowel de ontwikkeling van de hard- en software als het overkoepelende systeemontwerp zijn Nederlandse bedrijven betrokken, die ook in DOME een rol spelen en zich zodoende al warmlopen voor participatie in SKA.

Doordat SKA onderdelen op afgelegen plekken in extreme omstandigheden moeten opereren is het ook nodig dat innovaties worden gerealiseerd in onbemande storingsverhelping en monitoring om zo verhoogde betrouwbaarheid tegen lage kosten te garanderen. Dit kan snel spill-overs leveren voor de (Nederlandse) industrie, zeker in de context van toenemende industriële automatisering (industry 4.0) (Science Business, 2015).

Daarnaast moeten de installaties op locatie energiezuinig zijn in signaalbewerking en signaaltransport, en draaien op lokaal opgewekte zonne- of windenergie. Hiervan kan bijvoorbeeld de telecomsector leren (COST, 2010) (Barbosa, 2014) maar ook de energiesector en procesindustrie

(Science Business, 2015). Nederlandse bedrijven en ASTRON zijn goed gepositioneerd om ook hieraan bij te dragen, vanwege de ervaring in LOFAR met *weatherproofing* van hoog gevoelige elektronica.

De definitieve productie van wetenschappelijke eindproducten, de analyse, het visualiseren en het archiveren van de data vindt plaats in de Science Data Centers. Zoals eerder vermeld is Nederland ook hiervoor zeer goed gepositioneerd. ASTRON is projectleider van het onlangs door de Europese Commissie goedgekeurde Aeneas project voor de ontwikkeling van plannen voor een Europees netwerk van SKA Science Data Centres. In dit project, waarin 28 partners zo'n 300 persoon-maanden werk investeren en de Europese Commissie € 3 miljoen, zal ASTRON in Europees verband - maar met betrokkenheid van belangrijke partners in Australië, Nieuw-Zeeland en Zuid Afrika - de komende drie jaar samenwerken aan het ontwikkelen van een goed model voor de verwerking, archivering, en ontsluiting van SKA data. Het betreft zowel technisch-inhoudelijk werk als ook de ontwikkeling van een geschikt governance model waarbij naast nieuwe investeringen optimaal gebruik wordt gemaakt van resources die reeds beschikbaar zijn. Als uitvloeisel van dit project levert ASTRON bovendien de vertegenwoordiger van alle Europese SKA landen (IT, NL, SE en UK) in de SKA Commissie die de coördinatie zal hebben over de ontwikkeling van het netwerk van SKA Science Data Centres.

4.3 Outputs & outcomes: Algoritmen en efficiënte rekenkracht

Zodra de hardware van de telescopen en de centrale verwerkingseenheden is neergezet in Australië en Zuid Afrika, begint de uitdaging van het optimaliseren. Omdat een dergelijk apparaat nog nooit is gebouwd, weet men niet hoe de data die binnenkomt er werkelijk uit ziet, wat de signaal/ruis verhoudingen zijn en hoe het systeem daadwerkelijk presteert. Eén respondent verwoordde “zodra SKA er staat beginnen we met optimaliseren en dat houdt niet meer op tot SKA stopt met waarnemen”.

In de gebruiksfase zal vooral de Nederlandse ICT industrie een continue rol spelen bij het voortdurend verbeteren van de hardware, systeemontwerpen en (niet-wetenschappelijke) software: Er zijn hoog geavanceerde algoritmes nodig voor beeld- en patroonherkenning die pas na oplevering van de hardware echt getoetst en vervolgens geoptimaliseerd worden. De optimalisatie gebeurt aan de ene kant om sneller betere beelden te krijgen. Dit biedt een enorme potentie: *“If we consider what may be a representative transfer rate at that time (wanneer SKA operationeel is) of 10 Gigabytes per second (most computers now access the internet at rates that are 1000 times slower), such a file would take 30 hours of uninterrupted movement...Clearly the SKA represents more than a telescope. It is also a model for the future of global communication and information technology”* (COST, 2010, p. 10).

Anderzijds wordt geoptimaliseerd om energie-efficiënter hetzelfde werk te kunnen verrichten (“green low power computing”). Voor het bedrijven van SKA is al snel meer dan 100 megawatt aan elektrische energie nodig (Barbosa, 2014). De motivatie om in energiebesparing (algoritmes) te investeren is groot. Energievoorziening on-site is beperkt (moet ter plekke opgewekt worden of over grote afstanden getransporteerd worden). Daarnaast dreigt het anders een grote operationele kostenpost te zijn. Impacts: potentiële spillovers van de ontwikkelingen in SKA

Zulke algoritmische verbeteringen kunnen **significante spill-overs** leveren. Dergelijke spill-overs hebben een enorme economische potentie, maar ook de risico's zijn enorm groot. Niet alleen moet de innovatie technisch slagen, vervolgens moet daar ook nog, sneller dan dat de concurrentie dat doet, het juiste businessmodel bij gevonden worden om de daadwerkelijke economische vruchten te kunnen plukken. Kwantificeren van de omvang van dergelijke spillovers is koffiedik kijken vanwege het grote aantal onzekerheden dat er mee verbonden is. Dat betekent echter niet dat er geen spillovers zijn, of dat hun effecten verwaarloosbaar zijn.

Belanghebbende sector is in de eerste plaats de telecom sector, maar vanwege de leereffecten met big-data die in hoge snelheid verwerkt moet worden zijn ook de (in toenemende mate digitaliserende) (proces)industrie, energiedistributienetwerken, de financiële sector, logistiek en de medische sector relevant.

Op dit moment is de big-data industrie vooral geïnteresseerd in patroonherkenning en predictive analytics. De algoritmen die SKA zal gebruiken zullen dat soortalgoritmen toepassen. Een voorbeeld van een algoritme dat nu breed wordt toegepast in (alledaagse) technologie is een op de Fast Fourier Transform (FFT) gebaseerde methode die destijds bij ASTRON als eerste werd toegepast om snel contrast te verhogen bij waarnemingen. Een afgeleide van dit algoritme zit nu in iedere Wifi chip om energie-efficiënt netwerksignalen te ontvangen.

Ook kan een participatie in SKA zeker leiden tot spin-off bedrijven en intellectueel eigendom. Zo heeft LOFAR het afgelopen decennium geleid tot meerdere spin-offs in videostreaming, waarbij techniek werd gebruikt die bij LOFAR was ontwikkeld om de hoge datavolumes aan te kunnen en op het gebied van systeemontwerp voor high-performance computing. Op specifiek dit aspect waren twee spin-offs betrokken die nu zo'n 20 FTE in dienst hebben. Het SKA IP beleid met betrekking tot intellectueel eigendom (Intellectual Property, IP) respecteert het IP eigendom van de bedenkers, biedt partijen de gelegenheid om deze kennis binnen het SKA project te delen, maar biedt ontwikkelaars nadrukkelijk de mogelijkheid om kennis buiten het project te gelde te maken. Dit is een belangrijke mogelijkheid tot valorisatie van de investeringen in ontwerp en innovatie rondom het SKA project

Hierbij moet wel het belang van een goed valorisatiebeleid worden benadrukt. Hoewel de hierboven genoemde op FFT gebaseerde methode bij de Westerbork Synthese Radiotelescoop werd ontwikkeld, is het de Australische evenknie van TNO (CSIRO) die de patenten op afgeleide implementaties in Wifi uitbaat. Ook moet opgemerkt worden dat de feitelijke toepassing van FFT in Wifi enkele decennia op zich heeft laten wachten⁵. Aan de andere kant toont dit voorbeeld aan dat een wetenschapper bij een installatie in het buitenland ontwikkelingen mee naar zijn thuisland kan nemen en daar 'verwaarden'. Die kans ligt er voor Nederland, met zijn expertise in signaalverwerking en antennetechnologie, dus ook.

Concreet kan SKA (geen limitatieve opsomming, maar voorbeelden):

- Een belangrijke motor voor innovatie in ICT zijn (bijvoorbeeld voor het verwerken van de grote hoeveelheden data die de radiotelescoop zal opleveren, die brede toepassingen hebben; in retail analytics; industry 4.0 en energie-efficiënt computergebruik).

⁵ Dit voorbeeld dateert uit de jaren '70. Momenteel is ASTRON veel alerter op commerciële mogelijkheden dan toen.

- De vooruitgang in sensortechnologie en real-time monitoring versnellen (waaronder patroonherkenning in grote volumes), wat relevant is voor verkeersstromen, inlichtingendiensten, de gezondheidszorg.
- Innovaties brengen in de ontwikkeling van *Low Noise Amplifiers* en analoog-digitaalomzeters, relevant voor de telecomsector, met name draadloze communicatie.
- Energievraag van computers sterk verlagen en een nieuw model vormen voor het gebruik van hernieuwbare energie (als plaatselijk opgewekte zonne-energie gebruikt kan worden voor afgelegen antennes, zal dat dure distributienetwerken voorkomen).
- De in Nederland aanwezige supercomputer reken capaciteit vergroten. Met name als deze, samen met de benodigde kennis om deze te gebruiken, (deels) beschikbaar kan komen voor andere rekentaken dan SKA heeft dit mogelijk ook spill-overs naar andere wetenschapsterreinen en naar bedrijven. Inrichting van de SKA-rekeninfrastructuur zodat deze ook makkelijk geschikt te maken voor andere gebruikers kan de spill-overs vergroten.

4.4 Bedrijven en clusters

4.4.1 Werkwijzen en reputatie toeleverende industrie

Een participatie in SKA kan ook de werkwijze van toeleverende industrie sterk verbeteren. Bij alle geïnterviewde bedrijven die samen met ASTRON producten hebben ontwikkeld voor LOFAR zijn verbeteringen opgetreden in het productieproces of in de ontwerpmethoden. Het mechanisme hierachter is dat ASTRON nieuwe producten vraagt, in hoge volumes, met hoge kwaliteitseisen. Daarvoor wordt nieuwe productieapparatuur gekocht of nieuwe vaardigheden geleerd. Een bijkomend effect is dat branchegenoten en klanten nadien weten dat partijen die succesvol met ASTRON samenwerken kwaliteit en innovatie kunnen leveren. De verbinding met een prestigieus instituut dat hoge eisen stelt aan de geleverde producten straalt af op de onderneming zelf en functioneert als een soort kwaliteitsstempel.

Dit kan ook in het buitenland zijn effect hebben. In een interview wordt bijvoorbeeld gesuggereerd dat SKA dusdanige standing heeft in Zuid-Afrika dat betrokken bedrijven uit Nederland als ze de Zuid-Afrikaanse markt op willen hun SKA participatie zeker als positief marketing element kunnen gebruiken.

4.4.2 Clustervorming en bijdrage aan topsectoren

In voorgaande hoofdstukken over de innovatie-effecten is beschreven dat ASTRON vaak samenwerkt met zowel MKB als grootbedrijf op grensverleggende technologieprojecten. Genoemde bedrijven zijn onder meer IBM, Oracle, Triopsys, S&T Corp, Neways, Inspiro, Variass en KxA. Deze partijen geven aan dat er nu echt een cluster is dat er tien jaar geleden niet was. Genoemde partijen komen elkaar steeds tegen en werken soms samen, maar concurreren ook weer op andere momenten. Het merendeel van de activiteiten is innovatief en hoogtechnologisch, dus met een hoge toegevoegde waarde.

Door de samenwerking met ASTRON en haar gerelateerde toeleveranciers op projecten komen de bedrijven in contact met elkaar en starten zij nieuwe ondernemingen of kunnen zij nieuwe klanten bereiken. Dit effect wordt versterkt door ASTRON's verbindingen met de topsector HTSM (HTSM Noord). Meer in brede zin draagt een cluster rond SKA positief bij aan de uitstraling van NL als kennisland en big data/datacentrum locatie.

Een participatie in SKA en bijkomend datacentrum is voor technologiebedrijven, zeker in Noord Nederland, een garantie van langdurige, lokale vraag naar hoogwaardige oplossingen. De geïnterviewde bedrijven merken op dat het Public Private Partnership werk dat ze voor ASTRON doen niet per se een 'vetpot' is, omdat er vanuit subsidies wordt betaald en daardoor de tarieven vaak laag zijn. De technische complexiteit zorgt daarnaast ook voor kostenoverschrijdingen. Maar, deze magere financiële returns worden geaccepteerd, omdat de toegang tot relevante netwerken, de uitstraling van samenwerking met ASTRON, en het ontwikkelen van nieuwe vaardigheden ruimschoots compenseren. Dit effect is waargenomen bij zowel de elektronica producenten (lager in de waardeketen) als ook de system engineers, van MKB tot grootbedrijf. Bedrijven in Nederland krijgen daarmee een kans om tegen kosten lager dan de marktprijs hoogwaardige technologie te ontwikkelen en er ervaring mee op te doen (Technopolis Group, 2014).

4.5 Valorisatie van wetenschappelijke output

Waarnemingen met telescopen zoals LOFAR leveren wetenschappelijke data voor het wetenschappelijk onderzoek over het heelal aan astronomen. Gebruik van deze data voor commerciële doeleinden vindt momenteel nog weinig plaats. Specifiek voor LOFAR en het Australische deel van SKA (SKA LOW) is er echter een kans om deze wetenschappelijke data te exploiteren voor het verbeteren van voorspellingen op het gebied van Ruimteweer (Space Weather). Grote zonnevlammen, een van de fenomenen in ruimteweer, kunnen enorme schade aanrichten in elektriciteitsnetwerken. Vrij recent is een nieuwe methode ontwikkeld die gebruik maakt van radio-astronomische data en die een enorme potentie heeft om de voorspellingen van ruimteweer te verbeteren en daarmee veel maatschappelijke schade te voorkomen (Schrijver et al., 2015).

4.6 De omvang van de Nederlandse bijdrage

SKA heeft - zoals in de voorgaande hoofdstukken beschreven - significante effecten op wetenschap en innovatie. Hoewel het moeilijk is om de omvang van deze effecten te kwantificeren is het wel duidelijk dat deze omvang ook afhangt van de mate waarin Nederland participeert in SKA.

In het **Beleidsalternatief 5%** zijn de kansen voor Nederland om werkpakketten uit SKA te kunnen leiden aanwezig vanwege de sterke ervaringen bij LOFAR. Maar omdat de omvang van werk gerelateerd is aan de bijdrage, liggen die kansen vooral bij ASTRON, omdat ASTRON over de kennis van LOFAR beschikt. Er zal in mindere mate ruimte zijn voor participatie van het Nederlandse bedrijfsleven in de werkpakketten dan bij de 10% optie. Op de terreinen signaalelektronica en specialistische softwareontwikkeling ligt enig perspectief voor bedrijfs participatie vanwege de LOFAR ervaringen. Het is waarschijnlijk dat er in dit beleidsalternatief geen rol zal zijn voor het zojuist in Eindhoven gestarte fotonica cluster: de hardware is nog redelijk generiek en er zijn meer concurrerende initiatieven in Europa en de rest van de wereld. Doordat er in dit beleidsalternatief minder

ruimte is om Nederlandse bedrijven te betrekken om publiek-private samenwerkingen te starten, zal de kans op spill-over effecten beperkt zijn.

In het beleidsalternatief 10% kan ASTRON in alle drie de bovengenoemde relevante werkpakketten participeren en is er ook ruimte om de relaties met de Nederlandse toeleverende bedrijven voort te zetten en uit te breiden. De kans dat Nederland één of meerdere constructiewerkpakketten leidt is ook groter. Dankzij de gegarandeerde return die de deelnemende landen in de vorm van constructiecontracten zullen krijgen betekent dit dat Nederland meer invloed heeft op de ontwikkeling binnen die werkpakketten en beter kan sturen op aansluiting bij de sterkten en potentie van de nationale industrie. Daardoor is er, naast de kansen op antennegebied die er in het 5% scenario zijn ook een toegenomen kans voor Nederlandse bedrijven die fotonica hardware leveren. Overall maakt de grotere (absolute) omvang van de procurement van SKA in het 10% beleidsalternatief meer publiek-private samenwerkingen mogelijk, ook in beginnende sectoren, waardoor de kans op spill-overs vergroot wordt t.o.v. het 5% alternatief.

De Nederlandse astronomische gemeenschap zal "*hoe dan ook in enige vorm*" een **datacentrum** in Nederland willen vestigen als in SKA wordt geparticipeerd, want "*Zonder rekencentrum heb je weinig aan de data*". De omvang van zo'n centrum schaal direct met de omvang van de Nederlandse participatie in SKA, mede doordat de gegunde waarneemtijd op de telescoop gekoppeld is aan de participatie in SKA.

Per continent is één coördinerende rol voor een rekencentrum weggelegd. Op dit moment is Nederland, door de ervaring met rekencentra voor LOFAR, goed gepositioneerd om de Europese leiding over de SKA-datacentra op zich te nemen. Ook daarvoor is de goodwill van buitenlandse partners en de kennis in Nederland aanwezig. De kans om zo'n coördinerend centrum te krijgen neemt toe bij een hogere participatie van Nederland.

5 Arbeidsmarkteffecten

Nederlandse deelname aan SKA levert bruto veel banen op, maar veel minder als rekening wordt gehouden met de inzet van buitenlandse werknemers, verdringing van ander werk en langetermijneffecten op de arbeidsmarkt.

Dit hoofdstuk gaat in op arbeidsmarkteffecten die door Nederlandse deelname aan SKA ontstaan. Paragraaf 5.1 beschrijft de effecten op menselijk kapitaal, waarna paragraaf 5.2 ingaat op de gevolgen voor de werkloosheid.

5.1 Menselijk kapitaal

5.1.1 Werkgelegenheid

Positieve werkgelegenheidseffecten van de Nederlandse participatie in SKA worden, gedurende de looptijd van het project, vooral gerealiseerd in sectoren gerelateerd aan het ontwerp en de productie van antenne- en signaalverwerkende elektronica; ontwerp van hardware en software voor datacentra, en het ontwerp en de productie van fotonica. Het merendeel van de werkgelegenheid is van hoge toegevoegde waarde omdat het hoogwaardige R&D betreft: er worden veel uren besteed aan technisch ontwerp, door onder andere promovendi in de elektrotechniek, data-science en software ontwikkeling en fotonica. Een kleiner maar significant deel van de werkgelegenheid zal ontstaan in de vervaardiging van hoogwaardige elektronica en fotonica.

Na afloop van het project treden spill-overs op: bedrijven passen dan de kennis die zij opgedaan hebben bij SKA toe in andere producten waardoor hun concurrentiepositie kan worden versterkt en hun omzet (en werkgelegenheid) vergroot. Een dergelijk effect trad ook op bij LOFAR. Alle geïnterviewde bedrijven bevestigen dat hun bedrijf een grote impuls heeft gekregen door het uitvoeren van opdrachten voor ASTRON. Hoewel de directe impact in de meeste bedrijven op zo'n 1-5 FTE lag, zijn bedrijven in staat geweest door reputatie-effecten meer opdrachten te verwerven, ook uit het buitenland en ook in 'veeleisende' markten als defensie en lucht- en ruimtevaart. ASTRON werkt zo als aanjager van bedrijvigheid in (Noord-)Nederland. Enkele gesproken bedrijven claimen dat zij zonder LOFAR niet hadden bestaan; het launching customer effect van ASTRON is belangrijk geweest.

In totaal (analyse Technopolis, op basis van interviews) zijn bij LOFAR direct zo'n 100 FTE betrokken, maar geven alle betrokken MKB-bedrijven aan dat LOFAR een zeer belangrijk project was voor hun groei en verbreding naar andere high-tech toepassingsterreinen van hun expertise. Alles bij elkaar zijn daar mee enkele honderden banen gemoeid.

Effecten van spill-overs zijn echter moeilijk te voorspellen. SKA biedt echter de mogelijkheid voor Nederlandse ondernemers vooraan te staan bij een potentieel 'gamechanging' project en zo een voorsprong te krijgen bij valorisatie van die kennis. Het hangt dan van onder meer van hun vaardigheden die kennis in een goed businessmodel te vertalen af hoe groot de effecten zullen zijn.

5.1.2 Kenniswerkers

Ook de leereffecten op de personen zelf die werken aan SKA zijn belangrijk. De werknemers bij de toeleverende bedrijven doen waardevolle ervaring en nieuwe kennis op: er moet bijvoorbeeld nieuwe software of hardware op hogere kwaliteit dan gebruikelijk worden ontwikkeld. Daarnaast hebben (radio)astronomen een gewild profiel in een aantal voor Nederland belangrijke industrieën, zoals de procesindustrie, de financiële en verzekeringswereld, de energie-industrie, de elektronica en fotonica sector, en de opkomende data-intensieve industrie, waaronder e-commerce, big-data analytics en aan smart-cities gerelateerde sectoren.

ASTRON en concreet LOFAR hebben in het afgelopen decennium een grote en belangrijke bijdrage geleverd aan het afleveren van (radio)astronomen. De door LOFAR bestendigde vooraanstaande positie van Nederland lokt slimme, jonge mensen van over de hele wereld naar Nederland en inspireert ook Nederlandse studenten om astronomie te gaan sturen. In het afgelopen decennium hebben alle relevante faculteiten (Leiden, UVA, RUG, RUN) hun eerstejaars studentenaantallen zien toenemen van zo'n 10-20 studenten per jaar tot ca. 80 per jaar. Deze toename schrijft NOVA, de Nederlandse Onderzoeksschool voor Astronomie, toe aan een combinatie van verbeterd wervingsbeleid en de aantrekkingskracht van een project als LOFAR. De wereld van de radio-astronomie in Nederland is ook enorm verjongd: niet meer gedomineerd door grijze haren, maar met veel mensen van 20-35 jaar. Geïnterviewde professoren zeggen ook te merken, dat het publiek dat met de opleidingen start is veranderd naar een mengsel van computer-science enthousiastelingen en inhoudelijk geïnteresseerden.

Participatie in SKA als voortzetting en uitbreiding van de activiteiten met LOFAR zorgt ervoor dat astronomie een aantrekkelijke studierichting blijft die werknemers met gewilde vaardigheden aflevert. Van de personen die afstuderen in de astrofysica blijft maar een fractie in de academische wereld (ca. 25%). De rest komt vaak te werken in de bovengenoemde sectoren (meestal in een data/ICT gerelateerde functie) en levert zo een bijdrage aan de Nederlandse economie. Ook buitenlandse studenten en promovendi blijven, volgens respondenten, regelmatig in Nederland werken nadat ze de radioastronomie hebben verlaten.

De kennis die wordt opgedaan in het project zal ook bijdragen aan academisch onderzoek buiten de astronomie. Om die transitie te faciliteren en te benutten wordt in Groningen, met betrokkenheid van ASTRON, bijvoorbeeld een nieuw curriculum aangeboden dat big-data methoden uit computer science combineert met diverse thema's die te maken hebben met *systems complexity*, waaronder de astrofysica. Ook liggen er mogelijkheden aan te sluiten bij onderzoeksprojecten van de Graduate School die in september 2016 start in 's-Hertogenbosch. Deze tweejarige mastersopleiding is een gezamenlijk initiatief van de Technische Universiteit Eindhoven en de Tilburg University. Het zwaartepunt ligt op Big Data alsmede op governance en ondernemerschap.

Een meer expliciete bijdrage aan het actualiseren van onderwijs is mogelijk via het Smart Industry programma dat zich richt op lectoraten aan hogescholen. Vanuit de Smart Industry beweging zijn inmiddels meer dan tien technologische Fieldlabs tot stand gekomen. Het ligt zeer voor de hand dat Astron haar kennis deelt –brengen en halen- met een aantal van deze Fieldlabs. Overigens begint het effect dat SKA heeft op de arbeidsmarkt mogelijk al ver voor de universiteit. Iconische

projecten zoals SKA kunnen namelijk helpen bij het “inspireren van jonge mensen om geïnteresseerd te raken en betrokken te worden bij wetenschap” (COST, 2010).

5.2 Werkloosheid

Deze paragraaf gaat in op de mate waarin deelname aan SKA de werkloosheid in Nederland verlaagt en daardoor de productie van de Nederlandse economie verhoogt. De paragraaf begint met het bepalen van de beleidsalternatieven en de verschillende scenario's in paragraaf 5.2.1. In paragraaf 5.2.2 worden de effecten termen van netto werkgelegenheid en netto productie-effecten gepresenteerd. De globale aanpak van de berekeningen, en de tussenstappen die hierbij zijn gevolgd om van bruto tot netto effecten te komen, staan beschreven in Bijlage B.

5.2.1 Beleidsalternatieven

De productie-impuls die ontstaat, en uiteindelijk leidt tot effecten op de Nederlandse economie, is afhankelijk van het beleidsalternatief dat wordt gekozen. Nederland heeft binnen de mogelijkheid om deel te nemen aan SKA ook keuze in het bijdrageaandeel. In dit onderzoek wordt daarom onderscheid gemaakt tussen een bijdrage van 5 procent en een bijdrage van 10 procent aan de totale kosten van SKA, wat naar schatting overeenkomt met respectievelijk € 58,25 miljoen en € 116,5 miljoen in de periode van 2018 t/m 2027. Omdat een deel van de kosten nodig zijn voor lokale besteding, komt deze kostenbijdrage naar schatting 80 procent ten goede van extra activiteiten voor het Nederlandse bedrijfsleven. Hierdoor resteert een productie-impuls van € 46,6 miljoen in het alternatief waarin Nederland 5 procent van de kosten van SKA bijdraagt, en € 93,2 miljoen wanneer Nederland een kostenaandeel van 10 procent voor haar rekening neemt.

Wanneer SKA operationeel is, genereert de telescoop een grote hoeveelheid data die verwerkt dient te worden. Dit gebeurt naar verwachting in een of meerdere datacentra in de landen die bijdragen aan SKA. Wanneer in Nederland een datacentrum wordt gebouwd om de output van SKA te verwerken, levert dit ook extra productie op die niet zou zijn ontstaan wanneer Nederland niet aan SKA zou deelnemen. Op basis van informatie van ASTRON schatten we de investering in het datacentrum (ruw) op € 100 miljoen. ASTRON verwacht dat het Science Data Centrum onder andere kan worden gefinancierd uit eigen middelen, EC (Horizon 2020 en volgende kaderprogramma's), regionale bijdragen en nationale financiering ter versterking en ondersteuning van de ICT-behoefte van de Nederlandse wetenschap (HPC en Big Data).

Wanneer Nederland 5 procent van de SKA bekostigt, biedt dit naar verwachting niet de mogelijkheid om mee te dingen naar een groot datacentrum om de gegevens van SKA te verwerken. Wel kan er een kleiner datacentrum in Nederland komen wanneer de activiteiten rondom dataverwerking over meerdere landen worden verdeeld. Er is daarom toch een alternatief in het onderzoek opgenomen waarin Nederland weliswaar een relatief kleine bijdrage levert van 5 procent maar wel middels een (kleiner) datacentrum een deel van de dataverwerking kan uitvoeren. Aangenomen is dat de investering in dit datacentrum half zo groot is als in het alternatief met een kostenaandeel van 10 procent.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat de komst van een datacentrum geen onderdeel uitmaakt van de werkpakketten die met SKA1 gemoeid zijn. Een eventuele bijdrage van de Nederlandse

overheid aan een datacentrum komt nog bovenop de 5 dan wel 10 procent van de totale kosten die Nederland bijdraagt aan SKA.

Tabel 5.1 De vraagimpuls bedraagt € 46,6 tot € 193,2 miljoen

Alternatief	Omschrijving	Productie-impuls 2018-2027 (mln euro)		
		SKA	Datacentrum	Totaal
5% zonder datacentrum	Kostenbijdrage 5 procent, geen datacentrum	€ 46.6	€ 0.0	€ 46.6
10% zonder datacentrum	Kostenbijdrage 10 procent, geen datacentrum	€ 93.2	€ 0.0	€ 93.2
5% met datacentrum	Kostenbijdrage 5 procent, klein datacentrum	€ 46.6	€ 50.0	€ 96.6
10% met datacentrum	Kostenbijdrage 10 procent, groot datacentrum	€ 93.2	€ 100.0	€ 193.2

Bron: SEO Economisch Onderzoek

Productie-impuls

De vraagimpulsen die in de verschillende beleidsopties ontstaan, komen in verschillende sectoren terecht. Bij een Nederlandse deelname aan SKA gaat ongeveer 25 procent van de extra productie naar kennisinstituten. Deze vallen onder de research sector. De overige 75 procent van de extra productie komt grotendeels in de ontwikkeling van hardware en software (respectievelijk de SBI-sectoren ‘Elektrotechnische industrie’ en ‘Diensten op het gebied van informatie’) terecht. In het 10% alternatief is er ook ruimte voor extra activiteiten in de glasvezeltechniek (SBI-sector ‘Elektrische apparatenindustrie’).

Wanneer er ook een datacentrum wordt gebouwd ontstaat er nog meer extra productie van hardware en software. Daarnaast ontstaat er in de bouwsector extra productie ten behoeve van de constructie van het gebouw. Aangenomen wordt dat dit 20 procent van de totale extra productie van het datacentrum beslaat. Tabel 5.2 geeft voor elk alternatief een overzicht van de verdeling van de productie-impuls over verschillende sectoren.

Tabel 5.2 In alle alternatieven vormt de vervaardiging van hardware (Elektrotechnische industrie) en software (Diensten op het gebied van informatie) de meeste extra productie.

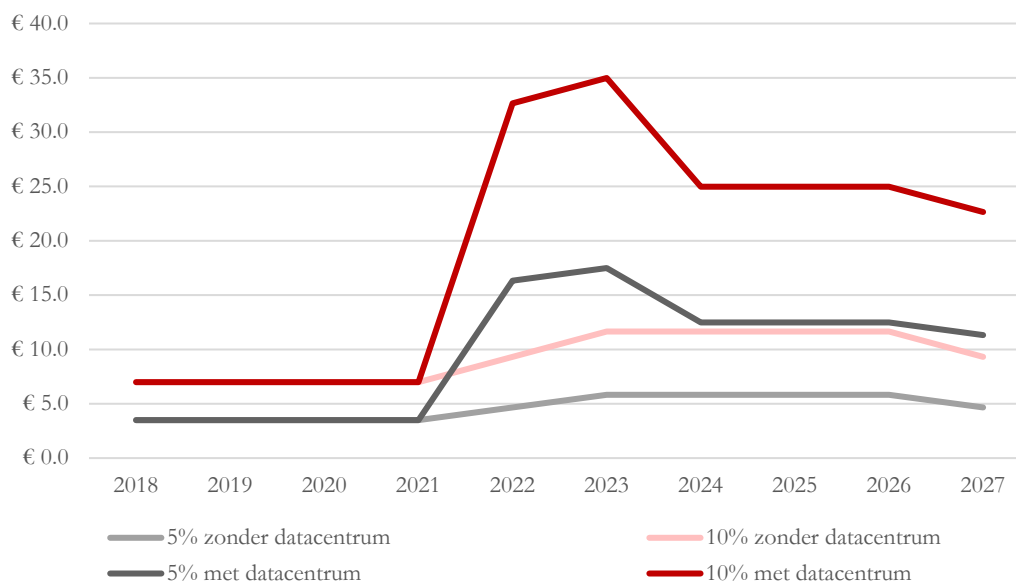
Productie-impuls per sector	Alternatief			
	Zonder datacentrum		Met datacentrum	
	5%	10%	5%	10%
Elektrotechnische industrie	€ 17.5	€ 28.0	€ 37.5	€ 68.0
Elektrische apparatenindustrie	-	€ 14.0	-	€ 14.0
Algemene bouw en projectontwikkeling	-	-	€ 10.0	€ 20.0
Diensten op het gebied van informatie	€ 17.5	€ 28.0	€ 37.5	€ 68.0
Research	€ 11.7	€ 23.3	€ 11.7	€ 23.3
Totaal	€ 46.6	€ 93.2	€ 96.6	€ 193.2

Bron: SEO Economisch Onderzoek

Tot slot is het van belang op welk moment de productie-impuls plaatsvindt. Een korte, grote productie-impuls werkt niet op dezelfde manier door in de economie als een productie-impuls die meer is uitgesmeerd over de tijd. De productie-impuls die ontstaat door deelname aan SKA is het grootst in de jaren 2021 t/m 2024, het midden van de periode 2018-2027. Het datacentrum zal op zijn vroegst in 2020 worden gerealiseerd. De bouwimpuls valt dan in 2020 en 2021. De productie

van hardware en software voor het datacentrum is voortdurend, en start in 2020. In Figuur 5.1 is de totale productie-impuls van de verschillende alternatieven te zien. Ook is in deze figuur de productie van een klein datacentrum (verschil tussen alternatief 5% zonder en 5% met datacentrum) en een groot datacentrum (verschil tussen alternatief 10% zonder en 10% met datacentrum) af te lezen.

Figuur 5.1 De meeste productie door Nederlandse deelname aan SKA vindt plaats tussen 2021 en 2024, terwijl een datacentrum in 2020 en 2021 voor veel extra productie zorgt.



Bron: SEO Economisch Onderzoek

Scenario's

Omdat er onzekerheid bestaat over het moment waarop de productie door SKA en het datacentrum plaatsvinden, is ervoor gekozen om verschillende scenario's te berekenen. Ook zijn er verschillende scenario's gekozen voor de exacte verdeling waarin de ontwikkeling van hardware en software plaats zal vinden in Nederland. De verschillende scenario's leiden tot verschillende uitkomsten. Activiteiten op het gebied van software ('Diensten op het gebied van informatie') zorgen bijvoorbeeld voor een hogere toegevoegde waarde dan hardware-activiteiten.

Concreet is rekening gehouden met (combinaties van) de volgende scenario's:

- Activiteiten vinden vroeg in de periode 2018-2027 plaats: ten opzichte van het in figuur 5.2 geschetste tijdsplan vindt de piek van de productie-impuls rondom SKA twee jaar eerder plaats. De activiteiten rondom het datacentrum zullen naar verwachting niet eerder plaats kunnen vinden; het tijdsplan van deze activiteiten is in dit scenario daarom gelijk aan figuur 5.2. De totale omvang van alle activiteiten blijft gelijk.
- Activiteiten vinden laat in de periode 2018-2027 plaats: ten opzichte van het in figuur 5.2 geschetste tijdsplan vindt de piek van de productie-impuls rondom SKA twee jaar later plaats. De activiteiten rondom het datacentrum vinden ook twee jaar later plaats. De totale omvang van de activiteiten blijft wel gelijk.

- Verschuiving van de verdeling hardware/software naar meer hardware: De verdeling tussen hardware en software is in dit scenario respectievelijk 75 procent om 25 procent in plaats van beide 50 procent.
- Verschuiving van de verdeling hardware/software naar meer software: De verdeling tussen hardware en software is in dit scenario respectievelijk 25 procent om 75 procent in plaats van beide 50 procent.

De uitkomsten van de combinaties van deze scenario's resulteren in bandbreedtes en worden ook als zodanig gepresenteerd in de volgende paragraaf.

5.2.2 Netto effecten

De netto effecten, in termen van werkgelegenheid dan wel toegevoegde waarde, zijn de uiteindelijke effecten van de Nederlandse deelname aan SKA op de Nederlandse economie. Onderstaande tabellen laten deze effecten zien voor alle alternatieven. In bijlage B zijn de voorafgaande rekenstappen om tot de netto effecten te komen opgenomen. In deze bijlage zijn telkens de resultaten van het alternatief '10% met datacentrum' gepresenteerd.

Netto effect op de werkgelegenheid

Tabel 5.3 laat zien dat in het alternatief '10% met datacentrum' de meeste banen worden gecreëerd. Opgeteld over een periode van 10 jaar (2018-2027) gaat het om zo'n 147 tot 264 arbeidsjaren, oftewel gemiddeld jaarlijks bijna 15 tot ruim 26 extra voltijdbanen. Een groot deel van de banen komt terecht bij de diensten op gebied van informatie. Dit geldt ook voor de andere alternatieven, waarvoor het effect minder groot is. Zo is het effect voor het alternatief '5% met datacentrum' met 73 tot 134 voltijdbanen in de periode 2018-2027 en in het alternatief '5% zonder datacentrum' 32 tot 56 voltijdbanen, oftewel 3 tot 6 per jaar.

Tabel 5.3 Het netto werkgelegenheidseffect van de vraagimpuls in alternatief '10% met datacentrum' is in de periode van 2018 tot 2027 opgeteld 147 tot 264 arbeidsjaren.

Netto productie (mln. euro)	Alternatief			
	Zonder datacentrum		Met datacentrum	
	5%	10%	5%	10%
Elektrotechnische industrie	2 - 8	3 - 13	5 - 21	10 - 39
Elektrische apparatenindustrie	0	8 - 11	0	8 - 11
Algemene bouw en projectontwikkeling	0	0	2 - 5	3 - 9
Diensten op het gebied van informatie	6 - 23	9 - 37	15 - 61	29 - 113
Research	9 - 12	17 - 24	9 - 13	17 - 25
Overig	12 - 18	21 - 33	31 - 49	60 - 94
Totaal	32 - 56	65 - 109	73 - 134	147 - 264

Bron: SEO Economisch Onderzoek

Netto effect op de toegevoegde waarde

Het effect op de toegevoegde waarde wordt berekend door de netto werkgelegenheid te vermenigvuldigen met de productie per werknemer (arbeidsproductiviteit). Tabel 5.4 geeft de omvang van beide effecten voor alle beleidsscenario's weer over de periode van 2018 t/m 2027. Het netto effect is in deze periode in totaal € 9,5 tot € 19,6 miljoen, oftewel € 1 á 2 miljoen per jaar, voor het

alternatief '10% met datacentrum'. De grootste bijdrage wordt in dit alternatief geleverd door diensten op het gebied van informatie. De toegevoegde waarde als percentage van de productie is in deze sector relatief groot. Ook is te zien dat de bouw van het datacentrum nauwelijks bijdraagt aan de netto productie in de periode 2018-2027. De verklaring hiervoor is dat de impuls die hiermee gepaard gaat na 2 jaar alweer stopt.

Tabel 5.4 laat zien dat het effect in de andere alternatieven zo'n 2 tot 5 keer zo klein is. De verdeling van de effecten over de verschillende sectoren laat voor alle alternatieven een vergelijkbaar beeld zien; zo draagt de sector 'Diensten op het gebied van informatie' in alle alternatieven voor een relatief groot deel bij aan het totale netto effect op de toegevoegde waarde.

Tabel 5.4 Het netto effect op de toegevoegde waarde is in het alternatief '10% met datacentrum' bijna 5 keer zo groot als in het alternatief '5% zonder datacentrum'

Netto toegevoegde waarde (mln. euro)	Alternatief			
	Zonder datacentrum		Met datacentrum	
	5%	10%	5%	10%
Elektrotechnische industrie	€0.2 - €0.7	€0.3 - €1.2	€0.5 - €2.0	€0.9 - €3.6
Elektrische apparatenindustrie	€0.0 - €0.0	€0.3 - €0.5	€0.0 - €0.0	€0.3 - €0.5
Algemene bouw en projectontwikkeling	€0.0 - €0.0	€0.0 - €0.0	-€0.1 - €0.1	-€0.2 - €0.2
Diensten op het gebied van informatie	€0.4 - €1.7	€0.6 - €2.7	€1.1 - €4.8	€2.1 - €8.9
Research	€0.5 - €0.8	€1.1 - €1.7	€0.6 - €0.9	€1.1 - €1.8
Overig	€0.6 - €1.3	€1.1 - €2.4	€1.8 - €3.6	€3.4 - €7.0
Totaal	€2.0 - €4.1	€4.0 - €7.7	€4.8 - €10.0	€9.5 - €19.6

Bron: SEO Economisch Onderzoek

6 Totaalbeeld en conclusies

Nederlandse deelname aan SKA leidt tot behoud of versterking van de Nederlandse toppositie in de (radio)astronomie, afhankelijk van de omvang van de Nederlandse bijdrage. 80% van de investering komt als opdrachten terug in Nederland. SKA wordt beschouwd als een 'game-changing' project op het terrein van Big Data, een technologieveld met grote economische potentie. Deze kansen op valorisatie zijn 'high risk, high reward', en moeilijk te kwantificeren.

Wetenschap

Uit het onderzoek blijkt dat Nederlandse deelname aan SKA de sterke Nederlandse positie in de radioastronomie bestendigt (zie tabel 6.1). SKA is het toonaangevende project in de wereld op het terrein van de radioastronomie; het wordt de meest krachtige radiotelescoop ter wereld. Nederland zal bij participatie waarschijnlijk een eigen Data Centre krijgen; dit vereist wel een extra investering. De verwachting is dat SKA daardoor een enorme impuls geeft om met nieuwere technieken (nog) beter astronomisch onderzoek en nieuwe ontdekkingen te doen. Participatie in SKA helpt bij het ontwikkelen van een meer coherent wetenschapsprogramma, heeft een positieve impact op andere wetenschappelijke onderzoekscentra en vergroot kennis en kunde voor het beantwoorden van grote wetenschappelijke vragen in multidisciplinaire settings met *big data*. SKA draagt bij aan *open science* en aan European Research Area doelstellingen van de Europese Commissie. Tot slot is SKA een voorbeeld van mondiale samenwerking en draagt het bij aan goede banden tussen landen.

Valorisatie en innovatie

Deelname aan SKA leidt tot valorisatie in de vorm van diverse innovaties in de Nederlandse economie. Naar verwachting komt 80 procent van de Nederlandse bijdrage terug in opdrachten voor het Nederlandse bedrijfsleven. Dit kan leiden tot belangrijke innovaties, die ook buiten SKA weer hun toepassingen kunnen vinden en kunnen leiden tot vergroting van omzet bij de betrokken bedrijven.

SKA stelt zulke hoge uitdagingen aan de technologie dat het een 'game-changing' project kan zijn op het terrein van big-data en big-data verwerking met een mogelijk zeer grote impact. Doordat nieuwe technologieterrinen betreden worden is bijna niet te voorspellen waar die technologie voor te gebruiken is als hij eenmaal ontwikkeld is en waar economische effecten zullen neerslaan.

Tijdens de constructie (tot 2024) zullen de innovatie-effecten vooral plaatsvinden op het vlak van signaalverwerking en datadoorvoer. Het is zeer aannemelijk dat er grote stappen worden gemaakt op de bovenstaande technologische gebieden, doordat voor een zinvol gebruik van SKA de grenzen van wat technisch haalbaar is verlegd worden. Nederland is goed gepositioneerd om hieraan bij te dragen door het aan LOFAR ontsproten DOME project. Ook voor innovaties in onbemande storingsverhelping en monitoring en in energiebesparing bij signaalbewerking en signaaltransport en voor signaalkalibratie zijn Nederlandse bedrijven en ASTRON goed gepositioneerd.

In de gebruiksfase zal vooral de Nederlandse ICT industrie een continue rol spelen bij het voortdurend verbeteren van de hardware, systeemontwerpen en (niet-wetenschappelijke) software. Er

liggen kansen voor de Nederlandse ICT industrie om een rol te spelen bij het voortdurend verbeteren van de hardware, systeemontwerpen en (niet-wetenschappelijke) software. Dit kan leiden tot allerlei innovaties en verdere versterking van het ICT cluster in (Noord)Nederland.

Voor de betrokken bedrijven kan dat gedurende het project (en na het project als er voldoende spill-overs worden gerealiseerd vanuit de innovaties) werkgelegenheid opleveren van hoge toegevoegde waarde. Op langere termijn is ook van belang dat werknemers bij de toeleverende bedrijven door het werk voor SKA waardevolle ervaring en nieuwe kennis opdoen en dat nieuwe radioastronomen worden opgeleid. Zij komen veelal niet in de radioastronomie terecht, maar hebben een gewild profiel in voor Nederland belangrijke industrieën en in de opkomende data-intensieve industrie.

Het effect op de werkgelegenheid is deels afhankelijk van de vraag of er ook wordt geïnvesteerd in een datacentrum in Nederland, en hoe groot dit datacentrum wordt. Het totale werkgelegenheidseffect voor inwoners van Nederland is per saldo beperkt, omdat het vooral gaat om een verschuiving van werkenden vanuit andere banen en vanuit het buitenland. Wel kan deze verschuiving gepaard gaan met een toename van de (arbeids)productiviteit, afhankelijk van de mate waarin menselijk kapitaal wordt versterkt en innovaties worden gerealiseerd.

Tabel 6.1 Deelname aan SKA heeft belangrijke baten voor de astronomische wetenschap en leidt tot innovaties

Belangrijkste effecten voor	Beleidsalternatief	
	5% bijdrage	10% bijdrage
Radioastronomie in Nederland	Handhaving van de huidige Nederlandse toppositie Verwerving van Europese onderzoeks-subsidies Positieve uitstralingseffecten naar andere disciplines en andere landen	Versterking van de huidige Nederlandse toppositie Verwerving van meer Europese onderzoeks-subsidies Sterkere positieve uitstralingseffecten naar andere disciplines en andere landen
Valorisatie: Innovaties in de Nederlandse economie	Antennetechnologie, signaalverwerking, datadoorvoer Efficiënte rekenkracht (hardware, algoritmen) Schaal- en reputatievoordelen bij toeleveranciers Versterking cluster signaalelektronica en specialistische software Versterking cluster fotonica PPS (spill-over-effecten)	
Arbeidsmarkteffecten		
Menselijk kapitaal	Toegenomen kennis en ervaring bij werknemers, verhoogde kwaliteit van arbeid met hogere toegevoegde waarde, versterking van clusters.	
Lagere werkloosheid (netto effecten, totaal 2018-2027)	32 tot 134 fte*	65 tot 264 fte*

* Dit effect is deels afhankelijk van de vraag of er in deze variant ook een datacentrum in Nederland komt
Bron: SEO Economisch Onderzoek en Technopolis

Literatuur

- African European Radio Astronomy Platform. (2013). AERAP Framework Programme for Cooperation. Brussels.
- ASTRON. (2015, 3 27). ASTRON . Opgeroepen op 7 14, 2016, van ASTRON timeline - 65+ years of making discoveries in radio astronomy happen!: <http://www.astron.nl/dailyimage/index.html?main.php?date=20150327>
- ASTRON, IBM. (2012). Projet DOME, projectvoorstel. Dwingeloo.
- AWTI. (2016). Durven Delen. Den Haag: AWTI.
- Barbosa, B. B. (2014). A Sustainable approach to large ICT Science based infrastructures; the case for Radio Astronomy.
- Chalmers University. (2014). Swedish Science Case for SKA.
- COST. (2010). Benefits of Research Infrastructures beyond Science.
- European Parliament. (2012). WRITTEN DECLARATION pursuant to Rule 123 of the Rules of Procedure on Science Capacity Building in Africa: promoting European-African radio astronomy partnerships. Brussels.
- European Research Council. (2016, 07 07). ERC Funded Projects. Opgeroepen op 07 07, 2016, van European Research Council website: <https://erc.europa.eu/projects-and-results/erc-funded-projects>
- European Strategy Forum on Research Infrastructures. (2016). Strategy report on research infrastructures: Roadmap 2016. Brussels.
- Europese Commissie. (2006). Communautaire kaderregeling inzake staatssteun voor onderzoek, ontwikkeling en innovatie (2006/C 323/01). Brussel.
- Europese Commissie. (2012). A Reinforced European Research Area Partnership for Excellence and Growth (COM(2012) 392 final). Brussel: Europese Commissie.
- Klöckner, K. F. (2013, 1 16). Pathway to the Square Kilometre Array. Max Planck institut für Radioastronomie.
- LOFAR. (2016). LOFAR website. Opgeroepen op 07 07, 2016, van <http://www.lofar.org>
- Ministerie van Economische Zaken. (2016). Digitale Agenda: Vernieuwen, vertrouwen, versnellen. Den Haag.
- Koopmans, C., T. Smits, B. Ubbels & J. van der Voort (2015). Terugverdieneffecten van overheidssteun aan zeehavens, rapport 2015-09, Amsterdam: SEO Economisch Onderzoek.
- NWO (2011). Evaluation 2005-2010. ASTRON Netherlands Institute for Radio Astronomy, Den Haag: NWO.
- NWO. (2016). Projecten Nationale Roadmap grootschalige onderzoeksfaciliteiten 2014. Opgeroepen op 07 12, 2016, van NWO: <http://www.nwo.nl/onderzoek-en-resultaten/programmas/nationale+roadmap+grootschalige+onderzoeksfaciliteiten/projecten/projecten+2014>
- OESO Global Science Forum (2016), Establishing a reference Framework for assessing the socio-economic impact of research infrastructures.

- PCAST. (2007). Leadership under challenge: Information Technology R&D in a Competitive World. Presidential Council of Advisors on Science and Technology, Washington, DC.
- Quality Assurance Netherlands Universities (QANU). (2011). Research Review NOVA and Astronomy 2010. Utrecht.
- Raad voor de leefomgeving en de infrastructuur. (2016). Mainports Voorbij. Den Haag.
- Romijn, G. en G. Renes (2013). Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyse, Den Haag: Centraal Planbureau en Planbureau voor de Leefomgeving (Kamerstukken II, 2013-2014, 33 750 IX, nr. 9).
- Science | usiness. (2015). Big Science: What's it worth?
- SKA. (2007). Preliminary Specifications for the Square Kilometre Array.
- Schrijver, C. J., Kauristie, K., Aylward, A. D., Denardini, C. M., Gibson, S. E., Glover, A., ... & Jakowski, N. (2015). Understanding space weather to shield society: A global road map for 2015–2025 commissioned by COSPAR and ILWS. *Advances in Space Research*, 55(12), 2745-2807.
- Target. (2016, 07 07). About Target. Opgeroepen op 07 07, 2016, van Target: <http://www.rug.nl/society-business/target/overtarget/>
- Technopolis Group. (2014). Evaluation of Pertinence and Impact of Research Infrastructure Activity in FP7. Brussels: European Commission.
- The Royal Society. (2010). New frontiers in science diplomacy. Londen.
- Tingay, S. J. (2012). The Murchison Widefield Array: The Square Kilometre Array Precursor at Low Radio Frequencies. *Publications of the Astronomical Society of Australia (PASA)*, 30, 21.
- Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid. (2013). Naar een lerende economie. Amsterdam: Amsterdam University Press.

Bijlage A LOFAR

LOFAR is het acroniem van Low Frequency Array – een type radio-antenne dat geschikt is voor radioastronomie in de laagfrequente band van het spectrum. Hiermee kan tot miljarden lichtjaren terug het universum in gekeken worden, waardoor men kennis verzamelt over de vroegste tijden van het ontstaan ervan.

De telescoop opereert sinds 2012 en is een verzameling van duizenden kleine antennes die lokaal de signalen bewerken, comprimeren, en versturen naar het centrale rekencentrum in Groningen. LOFAR betekende een revolutie in de radioastronomie. In plaats van grote schotels gebruikt men een groot aantal kleine, relatief goedkope antennes. Alle signalen worden continu opgenomen uit alle richtingen. In essentie bepaalt de astronoom met software en krachtige hardware welke signalen uit welke richting afkomstig moeten worden meegenomen in zijn analyse.

LOFAR was oorspronkelijk alleen gebaseerd in Nederland en is met Nederlandse middelen vanuit EZ (m.n. het ICES-KIS programma), het Samenwerkingsverband Noord Nederland (SNN) en EFRO bekostigd - naast natuurlijk de bijdragen vanuit de wetenschappelijke instituten. Na een succesvolle start breidde LOFAR zich uit naar andere landen in Europa (zie kaartje).

Figuur A.1 LOFAR breidde zich uit naar andere landen



Bron: Astron website (2016)

Omdat LOFAR een geheel nieuw concept was, moest er veel nieuwe technologie ontwikkeld worden: signaalcompressie en ruisonderdrukking op de basisstations en antennes; recombinitie op het computercentrum bij de Rijksuniversiteit Groningen, en datatransport tussen deze punten. Daarvoor heeft ASTRON samen met haar partners, waaronder grote bedrijven als IBM en diverse kleine bedrijven en spin-offs de nodige technologie ontwikkeld en uitgerold.

Ook nu nog, tijdens de gebruiksfase, vindt er technologieontwikkeling plaats bij LOFAR op het gebied van bijvoorbeeld high-performance computing. De IBM Blue-Gene/L supercomputer, tijdens levering in 2004 de op 1 na snelste in Europa, is in 2014 vervangen door een snellere en goedkopere BlueGene/P supercomputer en in 2014 door een cluster met krachtige grafische kaarten. Ondertussen wordt in het aan LOFAR ontsproten DOME-project gewerkt aan nog veel zuinigere, kleinere en krachtigere computers, die toegepast kunnen worden binnen SKA als ook in datacentra voor bedrijfstoepassingen (Project DOME, 2012).

LOFAR was een kans om de radio-astronomie expertise in Nederland voort te zetten en tegelijk ervaring op te doen om voor SKA, als een van de eerste officiële *pathfinder* missies, de ICT infrastructuur te ontwikkelen. LOFAR is een ongekend wetenschappelijk succes en wordt beschouwd als een van de meest succesvolle SKA pathfinder missies (Tingay, 2012)

LOFAR heeft een grote impact gehad op de radio-astronomie in Nederland. Het heeft Nederland in staat gesteld om topwetenschap te blijven bedrijven, als top-3 speler in de wereld. LOFAR heeft bijgedragen aan de ontwikkeling van innovaties op het gebied van hard- en software en LOFAR heeft meerdere bedrijven doen ontstaan en groeien. Ook heeft het mogelijke een grote spin-off gehad. Er zijn respondenten die menen dat het datacentrum van Google in Eemshaven mede daar is opgericht vanwege de kennis ontwikkeld rond het LOFAR-cluster in Noord-Nederland.

Bijlage B Uitwerking arbeidsmarkteffecten

Deze bijlage beschrijft globaal de aanpak die is gevolgd om arbeidsmarkteffecten te berekenen van Nederlandse deelname aan SKA. Ook worden hier de tussenberekeningen weergegeven voor een van de beleidsalternatieven.

B.1 Globale aanpak berekeningen

Directe en indirecte productie-effecten

De economische waarde die voortkomt uit Nederlandse deelname aan SKA, is een samenstelling van twee effecten:

- **Directe effecten:** effecten op de vraag naar producten en diensten van Nederlandse bedrijven die actief zijn in de sectoren waarin extra activiteiten ontstaan door SKA;
- **Indirecte effecten:** effecten op de vraag naar producten en diensten van Nederlandse bedrijven die producten en diensten leveren aan de direct betrokken bedrijven (toeleveranciers).

Wanneer Nederland meewerkt aan SKA, dingen Nederlandse bedrijven mee naar een deel van de extra activiteiten die ontstaan door de komst van SKA. Dit is een direct effect. We spreken ook wel over een vraagimpuls, productie-impuls of directe productie. Door de vraagimpuls naar producten en diensten uit de relevante sectoren stijgt ook de vraag naar producten en diensten uit toeleverende sectoren (die op hun beurt ook weer toeleveranciers hebben, etc.). Dit zijn indirecte effecten, ofwel indirecte productie.

De indirecte effecten worden berekend met behulp van een input-output tabel.⁶ Een input-output tabel beschrijft de productie-samenhang tussen sectoren in de Nederlandse economie. In deze tabel staat hoeveel eenheden producten of diensten een bepaalde sector afneemt van andere sectoren (inputs) en hoeveel eenheden producten of diensten deze sector produceert (outputs). Met een input-output tabel kan men berekenen hoe een vraagimpuls in een bepaalde sector doorwerkt in toeleverende sectoren.

Bruto werkgelegenheid

Om productie te leveren zijn mensen nodig. De vraagimpuls (directe productie) leidt dus niet alleen tot indirecte productie, maar heeft ook als gevolg dat er mensen worden ingezet om de directe en indirecte productie te realiseren. Het aantal arbeidsjaren dat nodig is om aan de gestegen productievraag te voldoen kan worden berekend aan de hand van de arbeidsproductiviteit per sector.

Netto werkgelegenheid

De werkgelegenheid die ontstaat bij Nederlandse bedrijven die aan SKA-gerelateerde projecten werken en bij toeleveranciers is niet automatisch extra werkgelegenheid voor de Nederlandse economie, om twee redenen:

1. **Verdringing.** De mensen die deze nieuwe banen vervullen, komen deels uit andere banen en laten daar vacatures achter. Deze vacatures worden ook weer deel vervuld door mensen uit

⁶ Het CBS publiceert jaarlijks een input-output model voor de gehele Nederlandse economie.

andere banen. Per saldo wordt slechts een deel van de nieuwe banen vervuld door mensen die anders werkloos zouden zijn geweest. Dit deel noemen we de *netto werkgelegenheid*. Hierin zit ook het effect van de inzet van buitenlandse werknemers opgesloten. In sectoren waarin veel buitenlandse werknemers actief zijn, zal de vacaturegraad ook lager zijn.

2. **Lange termijn effecten op de arbeidsmarkt.** Een lagere werkloosheid maakt het voor werkgevers moeilijker om geschikte werknemers te vinden. Dit leidt met enige vertraging tot extra loonstijgingen, bijvoorbeeld in CAO's. Deze loonstijgingen leiden tot het verdwijnen van extra banen elders in de economie. Volgens de gangbare 'algemeen evenwichtstheorie' zal daardoor op lange termijn de werkloosheid even groot zijn als wanneer er geen extra investering had plaatsgevonden (nulalternatief). Dit impliceert dat er op lange termijn geen werkgelegenheidsbanen zijn⁷.

De netto werkgelegenheidseffecten voor de Nederlandse economie worden ingeschat door de bruto werkgelegenheidseffecten te corrigeren voor deze twee factoren.

Netto effecten op de productie

De netto extra productie die per saldo ontstaat in de Nederlandse economie wordt berekend door de netto werkgelegenheid te vermenigvuldigen met de productie per werknemer (arbeidsproductiviteit).

Rekenstappen

Samengevat betekent dit dat de economische waarde wordt berekend in de volgende stappen:

1. Directe bruto productie (omzet) inschatten op basis van externe bronnen;
2. Met behulp van input-output tabellen de indirecte bruto productie en de directe en indirecte bruto effecten op de toegevoegde waarde berekenen;
3. Bruto werkgelegenheidseffecten berekenen met behulp van arbeidsproductiviteitscijfers;
4. Netto werkgelegenheidseffecten inschatten door te corrigeren voor verdringing en lange termijn arbeidsmarkteffecten;
5. Productiviteitsveranderingen inschatten die optreden bij verdringing;
6. Netto effecten op de toegevoegde waarde berekenen met behulp van arbeidsproductiviteitscijfers.

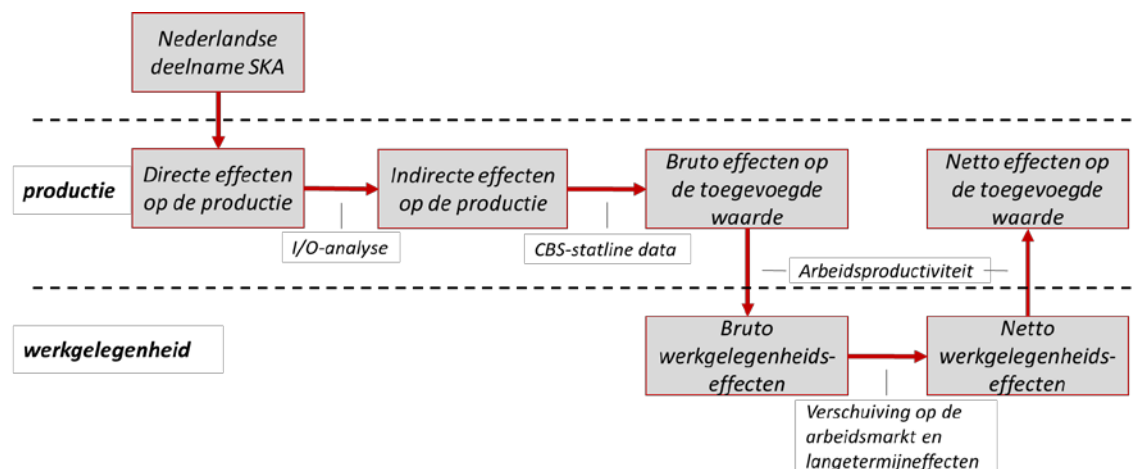
Op deze stappen wordt nader ingegaan in de navolgende paragrafen; daarbij worden tevens de resultaten getoond. Figuur B.1 geeft deze stappen schematisch weer.

Effecten na 2027

Als de projecten rondom SKA afgerond zijn, treedt als het ware een negatieve productie-impuls op, met een (weliswaar tijdelijk) verlies aan werkgelegenheid als gevolg. Hierdoor is op lange termijn, opgeteld over alle jaren, het netto effect op het aantal banen nul. Als er na 2027 nog steeds werkgelegenheid voortkomt uit de investering in SKA, wordt dit effect uitgesteld.

⁷ Mogelijk zullen de hogere lonen leiden tot een hogere arbeidsparticipatie, maar dat effect is naar verwachting relatief klein.

Figuur B.1 Nederlandse deelname aan SKA zorgt voor een productie-impuls, waarmee via verschillende stappen een netto effect op de toegevoegde waarde wordt berekend.



Bron: SEO Economisch Onderzoek

B.2 Berekeningen bruto effecten

Productie

De omvang van de totale extra productie is berekend door naast de directe effecten ook de indirecte effecten van deelname aan SKA op de productie van de Nederlandse bedrijven te berekenen. De productie-impuls in de bovengenoemde sectoren heeft als gevolg dat de vraag in die sectoren stijgt. Door deze stijging stijgt ook de vraag naar inputs voor deze sectoren bij toeleveranciers van de deze sector. Zo ondervinden bedrijven in de elektrotechnische industrie en de elektrische apparatenindustrie beiden extra productie als gevolg van de vraagimpuls die ontstaan, maar nemen zij daarvoor ook weer onderling producten af.

In de onderstaande tabellen worden resultaten weergegeven voor het alternatief '10% met datacentrum', omdat in dit alternatief de effecten het grootst zijn. Hierin levert Nederland een kostenbijdrage van 10 procent en komt er een groot datacentrum in Nederland te staan. laat de totale productie-effecten, d.w.z. directe en indirecte effecten, zien voor dit alternatief.

De productie-impuls bedraagt in de periode 2018-2027 in totaal ruim € 193 miljoen. Tabel B.2 laat zien dat dit inclusief effecten bij toeleveranciers in totaal resulteert in ruim € 300 miljoen euro productie (omzet). Van dit bedrag valt, afhankelijk van de verhouding tussen software en hardware, € 205 tot € 216 miljoen in de sectoren waar ook de productie-impuls ontstaat (de sectoren 'Elektrotechnische industrie' t/m 'Research' bij elkaar opgeteld) en valt € 89 tot € 99 miljoen in de overige sectoren van de Nederlandse economie.

Tabel B.2 Ruim € 300 miljoen omzet in het alternatief '10% met datacentrum'

Productie (omzet)	2018-2020	2021-2024	2025-2027	Totaal 2018-2027
Elektrotechnische industrie	€ 4 - € 25	€ 18 - € 55	€ 12 - € 51	€ 39 - € 117
Elektrische apparatenindustrie	€ 3 - € 5	€ 6	€ 3 - € 5	€ 15
Algemene bouw en projectontwikkeling	€ 0 - € 12	€ 12 - € 24	€ 0	€ 24
Diensten op het gebied van informatie	€ 3 - € 22	€ 16 - € 48	€ 11 - € 45	€ 34 - € 103
Research	€ 5 - € 9	€ 10 - € 11	€ 6 - € 9	€ 25
Overig	€ 8 - € 27	€ 42 - € 54	€ 22 - € 36	€ 89 - € 99
Totaal	€ 31 - € 84	€ 142 - € 161	€ 79 - € 112	€ 304 - € 305

Bron: SEO Economisch Onderzoek

In plaats van omzet kunnen bovenstaande cijfers ook weergegeven worden in termen van toegevoegde waarde. De toegevoegde waarde is de omzet minus de waarde van de inputs die geleverd worden door andere bedrijven. Daarmee is de toegevoegde waarde een meting van de economische waarde die deelname aan SKA genereert.

Tabel B.3 Toegevoegde waarde ruim € 100 miljoen (alternatief '10% met datacentrum').

Effect Toegevoegde waarde	2018-2020	2021-2024	2025-2027	Totaal 2018-2027
20 Elektrotechnische industrie	€ 1 - € 4	€ 3 - € 9	€ 2 - € 8	€ 6 - € 19
21 Elektrische apparatenindustrie	€ 1	€ 1	€ 1	€ 3
31 Algemene bouw en projectontwikkeling	€ 0 - € 3	€ 3 - € 7	€ 0	€ 7
48 Diensten op het gebied van informatie	€ 2 - € 12	€ 9 - € 27	€ 6 - € 25	€ 19 - € 57
56 Research	€ 3 - € 4	€ 5 - € 6	€ 3 - € 5	€ 13
Overig	€ 4 - € 13	€ 20 - € 26	€ 11 - € 18	€ 42 - € 49
Totaal	€ 11 - € 36	€ 48 - € 69	€ 26 - € 51	€ 103 - € 134

Bron: SEO Economisch Onderzoek

De toegevoegde waarde omvat, afhankelijk van de verhouding tussen software en hardware, 34 tot 44 procent van de totale productie (omzet). Er bestaan behoorlijke sectorale verschillen: de toegevoegde waarde in de elektrotechnische industrie is bijvoorbeeld kleiner dan in de informatiedienstensector, terwijl de totale productie in de elektrotechnische industrie juist hoger uitvalt.

Werkgelegenheid

Voor het realiseren van de beschreven productie zijn mensen nodig. Deze paragraaf beschrijft de effecten op de arbeidsmarkt. Tabel B.4 geeft het aantal bruto arbeidsjaren dat nodig is in de periode 2018-2019. Wanneer er met name activiteiten in de elektrotechnische industrie (hardware) zullen plaatsvinden en de activiteiten relatief laat in de periode 2018-2027 zullen plaatsvinden, resulteert dit *bruto* in 1327 extra arbeidsjaren. Wanneer er met name extra software-activiteiten zijn (Diensten op het gebied van informatie) en het zwaartepunt van de activiteiten eerder in de betreffende periode plaatsvindt, levert dit bruto 1772 arbeidsjaren op. Deze cijfers zijn gecorrigeerd voor arbeidsproductiviteitsgroei (naar sector).

Een groot deel (18 tot 41 procent) van de bruto arbeidsjaren is nodig in de informatiedienstensector. Daarnaast is 25 tot 44 procent van de bruto arbeidsjaren nodig in de overige sectoren waar de

productie-impuls valt (de elektrotechnische industrie, elektrische apparatenindustrie, de bouwsector en in de research-sector), terwijl de overige 34 tot 39 procent van de benodigde arbeidsjaren worden ingezet in andere sectoren van de Nederlandse economie.

Tabel B.4 Totale bruto werkgelegenheid van circa 1500 arbeidsjaren in de periode 2018-2027 (alternatief '10% met datacentrum').

Bruto werkgelegenheid	2018-2020	2021-2024	2025-2027	Totaal 2018-2027
Elektrotechnische industrie	7 - 45	32 - 95	21 - 87	68 - 203
Elektrische apparatenindustrie	16 - 26	30 - 31	16 - 25	71 - 73
Algemene bouw en projectontwikkeling	0 - 64	63 - 121	1	121 - 128
Diensten op het gebied van informatie	24 - 170	114 - 343	71 - 298	238 - 726
Research	41 - 66	76 - 79	39 - 63	177 - 186
Overig	52 - 171	248 - 317	124 - 206	510 - 600
Totaal	155 - 510	632 - 915	315 - 617	1327 - 1772

Bron: SEO Economisch Onderzoek

B.3 Van bruto naar netto werkgelegenheid

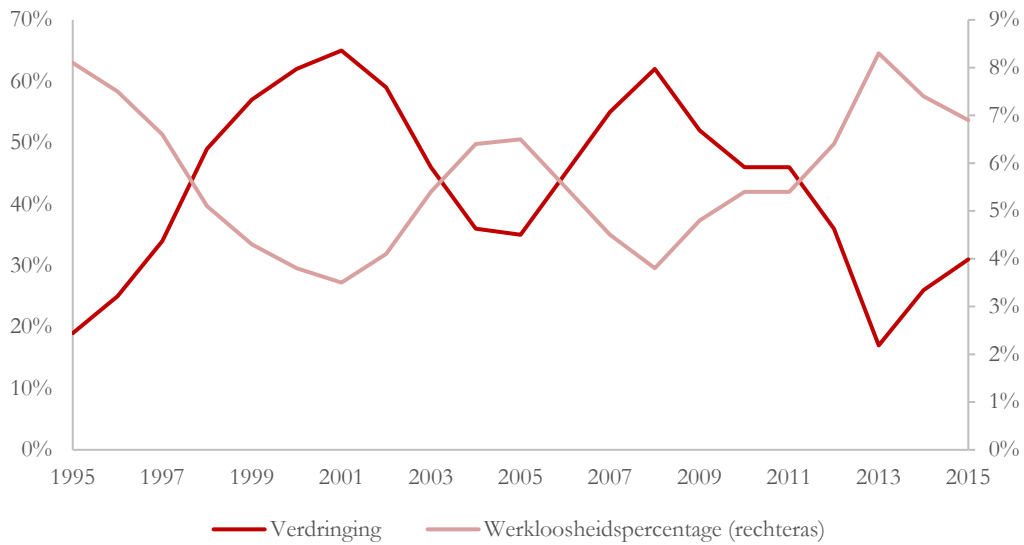
Een belangrijk onderscheid moet gemaakt worden tussen bruto en netto werkgelegenheid. De bruto werkgelegenheid is de werkgelegenheid die nodig is om de productie-impuls te realiseren. Deze hoeveelheid werkgelegenheid wordt 'bruto' genoemd omdat een deel van deze 'mensen' elders in de economie werk zouden hebben gevonden indien de productie-impuls niet had plaatsgevonden. Er wonen en werken mensen in Nederland die op een bepaald moment slechts op één plek tegelijk kunnen werken. Een arbeidsplaats bij de ene werkgever gaat in bepaalde mate dus ten koste van een arbeidsplaats bij een andere werkgever. Ook zal een deel van de nieuwe arbeidsplaatsen worden vervuld door buitenlandse werknemers. Om het netto werkgelegenheidseffect te berekenen moet worden gecorrigeerd voor deze effecten. Het gaat hierbij enerzijds om verdringing van ander werk op korte termijn en anderzijds om lange termijn effecten op de lonen en de werkgelegenheid. Deze aspecten worden hieronder afzonderlijk beschreven.

Verdringing

In hoogconjunctuur is de verdringing hoger dan in laagconjunctuur omdat er minder werklozen zijn. Werkgevers die nieuwe werknemers nodig hebben, zullen deze dan vooral onder werkenden zoeken. Daarnaast reageren sectoren verschillend op conjuncturele schommelingen. Op de arbeidsmarkt zullen er bijvoorbeeld in de bouwsector ten tijden van een laagconjunctuur in verhouding meer werklozen ontstaan dan in de economie als geheel, omdat de bouw zeer conjunctuurgevoelig is.

Figuur B.2 laat de samenhang zien tussen verdringing en het werkloosheidspercentage. Hierin is aangenomen dat er 50 procent verdringing is bij een werkloosheidspercentage van 5 procent (Volkerink et al, 2012). De sectorale verschillen in verdringing in zijn bepaald aan de hand van de vacaturegraad (aantal vacatures per arbeidsjaar) per sector. Hierin zit ook het effect van de inzet van buitenlandse medewerkers besloten; in sectoren waarin veel buitenlandse werknemers actief zijn, zal de vacaturegraad ook lager zijn. De berekende mate van verdringing is weergegeven in tabel B.5.

Figuur B.2 Meer verdringing bij lage werkloosheid



Bron: CBS, berekening SEO Economisch Onderzoek

Tabel B.5 Mate van verdringing van ander werk verschilt per sector en per periode

Verdringing naar jaar en sector (gemiddeld)	%
Landbouw, bosbouw en visserij	31
Delfstoffenwinning	43
Industrie	40
Energievoorziening	43
Waterleidingbedrijven en afvalbeheer	38
Bouwnijverheid	36
Handel	44
Vervoer en opslag	40
Horeca	49
Informatie en communicatie	49
Financiële dienstverlening	45
Verhuur en handel van onroerend goed	41
Specialistische zakelijke diensten	45
Verhuur en overige zakelijke diensten	38
Openbaar bestuur en overheidsdiensten	14
Onderwijs	20
Gezondheids- en welzijnszorg	38
Cultuur, sport en recreatie	38
Overige dienstverlening	38
Gemiddeld	41

Bron: SEO Economisch Onderzoek

Tendens naar evenwicht op de arbeidsmarkt

Naast verdringingseffecten moet er ook rekening gehouden worden met de loonvorming en de dynamiek van het werkloosheidsbestand. Een deel van de banen die nodig zijn om de productie-impuls te realiseren zal worden vervuld door werklozen. Als de werkloosheid daalt, wordt de arbeidsmarkt krappere. Werkgevers hebben dan meer moeite om mensen te vinden, en gaan hogere

lonen bieden. Hogere lonen leiden ertoe dat elders banen verdwijnen. Op deze wijze tendert de arbeidsmarkt naar een natuurlijk werkloosheidsevenwicht (natural rate of unemployment), dat bestaat ongeacht conjuncturele schommelingen. De natuurlijke werkloosheid ligt in Nederland op 4 à 5 procent (Lusing, 2011). Dit impliceert dat een productie-impuls in de Nederlandse economie zal zorgen dat er tijdelijk minder werklozen zijn. Uiteindelijk gaat de werkloosheid echter terug naar het natuurlijk evenwicht.

Netto werkgelegenheid

Tabel B.6 geeft de netto arbeidsjaren weer die overblijven na bovengenoemde correcties voor het alternatief '10 procent met datacentrum'. Opgeteld over een periode van 10 jaar (2018-2027) gaat het om zo'n 147 tot 264 arbeidsjaren, oftewel gemiddeld jaarlijks bijna 15 tot 26 extra banen (fte). Wanneer de productie-impuls stopt na deze periode gaan er banen verloren. Het negatieve effect in de periode 2025 tot 2027 wordt veroorzaakt door activiteiten die al gestopt zijn of in omvang afnemen. Met name de bouw van het datacentrum (algemene bouw en projectontwikkeling) draagt hier in negatieve zin aan bij.

Tabel B.6 Het netto werkgelegenheidseffect van de vraagimpuls in het alternatief '10% met datacentrum' is in de periode van 2018 tot 2027 opgeteld 147 tot 264 arbeidsjaren.

Netto werkgelegenheid	2018-2020	2021-2024	2025-2027	Totaal 2018-2027
21 Elektrotechnische industrie	2 - 20	3 - 27	-1 - 5	10 - 39
31 Elektrische apparatenindustrie	6 - 10	0 - 5	-2 - 0	8 - 11
31 Algemene bouw en projectontwikkeling	0 - 41	-27 - 31	-22 - -11	3 - 9
48 Diensten op het gebied van informatie	7 - 64	9 - 81	-7 - 10	29 - 113
56 Research	14 - 23	0 - 12	-4 - 0	17 - 25
Overig	18 - 80	0 - 81	-14 - -7	60 - 94
Totaal	53 - 223	-8 - 217	-38 - -18	147 - 264

Bron: SEO Economisch Onderzoek

Deze netto effecten zijn de uiteindelijke effecten van de Nederlandse deelname aan SKA op de Nederlandse economie. De effecten kunnen met behulp van arbeidsproductiviteitscijfers per sector ook worden weergegeven in termen van toegevoegde waarde. In paragraaf 5.2.2 zijn deze effecten van alle alternatieven weergegeven; zowel de effecten in termen van werkgelegenheid als in termen van toegevoegde waarde.

Bijlage C Geïnterviewde personen

Voor dit onderzoek zijn de volgende personen geïnterviewd:

Maarten Angenent	ISNPIRO / LOFAR
Michel Postma	Neways Electronics
Kjeld van der Schaaf	KxA
Erik Zoutman	ST Corp
Maurice Bouwhuis	SurfSara
Alexander J. Brink	IBM
Heino Falcke	Radboud Universiteit Nijmegen
Leon Koopmans	Rijksuniversiteit Groningen
Huub Röttgering	Universiteit Leiden
Ralph Wijers	Universiteit van Amsterdam
At Hijwegen	Triopsys
Phil Diamond	The international SKA telescope organisation
Joy Ong	Triopsys
Cornelis Bochoven	CWTS
Wilfred Boland	NOVA directeur
Michiel van Haarlem	ASTRON
Anwar Osseyran	SurfSara