



# Beschrijving en evaluatie Ruimteonderzoek in Nederland

**In opdracht van:**

Ministerie van Onderwijs, Cultuur en  
Wetenschap

**Publicatienummer:**

2020.013-2103

**Datum:**

Utrecht, 22 april 2021

**Auteurs:**

Drs. Robbin Tevelde / Adriaan Smeitink  
MSc. / Anna Grond MSc. / Dr. Max  
Kemman / Ir. Wazir Sahebali / Pim  
Verhagen MSc. / Dr. Pim den Hertog  
(projectleider)

*De onderzoekswerkzaamheden voor deze evaluatie vonden plaats in de maanden maart – december 2020 in opdracht van het Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap. Graag bedanken wij hier onderzoeksgroepen die de fiches met informatie over hun ruimteonderzoek hebben aangevuld en gevalideerd en onze interviewpartners voor hun tijd en openheid. De leden van de klankbordgroep en begeleidingscommissie zijn we erkentelijk voor hun tijd, suggesties en commentaren op tussenversies van dit rapport. Radboud Koop (NSO) zijn we dank verschuldigd voor de aanlevering van data en het delen van inzichten.*

# Inhoudsopgave

<b>Managementsamenvatting .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Inleiding .....</b>	<b>9</b>
1.1 Aanleiding.....	9
1.2 Afbakening en perspectieven.....	9
1.3 Onderzoeksaanpak.....	16
1.4 Leeswijzer .....	18
<b>2 Overzicht onderzoeksgroepen ruimteonderzoek .....</b>	<b>19</b>
2.1 Procedure fiches & interviews .....	19
2.2 Overzicht onderzoeksgroepen ruimteonderzoek .....	20
2.3 Positionering binnen het ruimteonderzoek.....	25
2.4 Financiering Nederlandse onderzoeksgroepen.....	28
2.5 Samenwerkingspartners .....	36
2.6 Bijdrage aan brede maatschappelijke thema's .....	37
<b>3 Resultaten bibliometrische analyses: verdichtingspunten in het Nederlandse ruimteonderzoek.....</b>	<b>40</b>
3.1 Toelichting bibliometrische analyses.....	40
3.2 Internationale positie Nederland .....	41
3.3 Thematische samenhang Nederlands ruimteonderzoek .....	45
3.4 Samenwerking binnen Nederland in het ruimteonderzoek .....	49
3.5 Trends in ruimteonderzoek .....	51
<b>4 Belangrijkste bevindingen .....</b>	<b>54</b>
<b>Bijlage 1. Toelichting 7 thema's ruimteonderzoek .....</b>	<b>61</b>
<b>Bijlage 2. Items fiches .....</b>	<b>64</b>
<b>Bijlage 3. Lijst van steekwoorden voor nadere afbakening publicaties</b>	<b>65</b>
<b>Bijlage 4. Scores per Topic Cluster (ruime afbakening) .....</b>	<b>80</b>
<b>Bijlage 5. Netwerkvisualisaties (ruime afbakening).....</b>	<b>82</b>
<b>Bijlage 6. Trends 2014-2019 per Topic Cluster .....</b>	<b>84</b>
<b>Bijlage 7. Vragenlijst interviews .....</b>	<b>86</b>
<b>Bijlage 8. Overzicht interviewrespondenten .....</b>	<b>88</b>
<b>Bijlage 9. Overzicht leden begeleidingscommissie en klankbordgroep.</b>	<b>89</b>



# Managementsamenvatting

## Aanleiding en doel

Als eerste stap ter voorbereiding op de European Space Agency ministeriële conferentie in 2022, heeft de stuurgroep NSO besloten dat het ruimteonderzoek in Nederland dient te worden beschreven en geëvalueerd. Die behoefte is ook verwoord in de Nota ruimtevaartbeleid uit 2019, waarin het voornemen is uitgesproken "in 2020 een evaluatie [te] laten uitvoeren van het ruimteonderzoek in Nederland". De onderhavige rapportage voorziet in die behoefte. De stuurgroep NSO bestaat uit vertegenwoordigers van de ministeries EZK, OCW en IenW, en NWO. OCW was opdrachtgever voor deze opdracht tot een beschrijving en evaluatie van het ruimteonderzoek in Nederland. In 2011 werd voor het laatst een evaluatie van het wetenschappelijke ruimteonderzoek in Nederland uitgevoerd.<sup>1</sup> De hier gepresenteerde beschrijving en evaluatie van ruimteonderzoek<sup>2</sup> in Nederland biedt een actueel inzicht in hoe het ruimteonderzoek er begin 2021 voorstaat. Dat is van belang met het oog op besluitvorming over het stimuleren van ruimteonderzoek (nationaal, Europees), eventuele prioritering binnen het ruimteonderzoek en ook als eerste stap ter voorbereiding van de ministeriële conferentie van de ESA in 2022.

## Onderzoeksaanpak

Voor de evaluatie is informatie over 56 onderzoeksgroepen bijeengebracht die in meer of mindere mate actief zijn in het ruimteonderzoek en waar het merendeel van het ruimteonderzoek in Nederland plaatsvindt. Van deze onderzoeksgroepen hebben 39 groepen een fiche met informatie over hun onderzoeksgroep/instituut gevalideerd en aangevuld. Daarnaast is een uitgebreide bibliometrische analyse uitgevoerd. Tot slot hebben 15 interviews met ruimteonderzoekers plaatsgevonden. De evaluatie is begeleid door een ambtelijke begeleidingscommissie en kende daarnaast een klankbordgroep met vertegenwoordigers uit het veld. De evaluatie is afgerond in maart 2021.

## Belangrijkste bevindingen

De evaluatie heeft een groot aantal feitelijke bevindingen opgeleverd over de stand van zaken in het ruimteonderzoek in Nederland. De belangrijkste bevindingen zijn de volgende:

1. Nederland kent 56 onderzoeksgroepen op het gebied van ruimteonderzoek. Dat duidt erop dat ruimteonderzoek in het wetenschappelijke onderzoek breed is ingebed. Er zijn veertien onderzoeksgroepen met meer dan 20 FTE die zich bezighouden met ruimteonderzoek. In totaal gaat het bij deze 14 onderzoeksgroepen om circa 850 FTE. Opgeteld gaat het om circa 1000 FTE bij de 39 onderzoeksgroepen die hebben bijgedragen aan de evaluatie.
2. Elf van deze onderzoeksgroepen zijn aan te merken als gespecialiseerde onderzoeksgroepen/instituten die zich exclusief of in belangrijke mate toeleggen op ruimteonderzoek en waarvan 50% of meer van de onderzoekers werkzaam is als ruimteonderzoeker.

---

<sup>1</sup> Zie KNAW (2011), Evaluatie Wetenschappelijke Ruimteonderzoek in Nederland 2006-2011, Amsterdam.

<sup>2</sup> Onder ruimteonderzoek verstaan we hier "onderzoek in of vanuit de ruimte" (ruimteonderzoek in enge zin, ruimtegebonden). In de praktijk is dit niet altijd strikt te scheiden van ruimteonderzoek dat vanaf de aarde (grondgebonden) plaatsheeft. Wanneer we het over beide hebben spreken we over ruimteonderzoek in ruime zin.

3. Het ruimteonderzoek neemt toe in omvang en is steeds breder verankerd binnen het kennislandschap. Zowel het aantal ruimteonderzoekers in Nederland als de multidisciplinariteit van het ruimteonderzoek is toegenomen sinds 2014. Naast de 11 kernspelers bestaat een grote groep van ruim 40 groepen/instituten waar wordt bijgedragen aan de beschikbaarheid van ruimtevaarttechnologie en ruimtevaarttoepassingen of die toeleverancier zijn van ruimteonderzoek of een afhankelijkheid kennen van ruimteonderzoek.
4. De onderscheiden onderzoeksgroepen kennen een verschillende financieringsmix. Daar waar een deel van de onderzoeksgroepen voor bijna tweederde structureel is gefinancierd, is de derde geldstroom met name belangrijk voor de TO2-groepen, de NWO-instituten en in iets mindere mate de universitaire groepen.
5. Het aandeel R&D-bestedingen van de overheid gericht op exploratie en exploitatie van Space (OECD GBOARD indicator, thema Space) voor Nederland bedroeg in 2019 2,3%. Qua rangorde neemt Nederland op deze ruwe, maar enig beschikbare indicator daarmee binnen de EU een positie in de middenmoot in. De verschillen met landen aan de top van de rangorde, zoals Duitsland, Japan, Spanje, de VS, België en met name Italië en Frankrijk zijn echter groot. Gemiddeld ligt het Europese aandeel (EU28) bijna een factor twee hoger dan het Nederlandse aandeel.
6. Horizon 2020-financiering voor Nederlands ruimteonderzoek komt minder uit het specifieke programma Space en meer uit generieke programma's.
7. Het lid zijn van internationale ruimtevaartorganisaties is goed voor het Nederlandse ruimteonderzoek.
8. In het ruimteonderzoek worden faciliteiten gedeeld en wordt er veelvuldig (internationaal) samengewerkt met ruimtevaartagentschappen, kennisinstellingen, bedrijven en overheden.
9. Nederlands ruimteonderzoek kent in internationaal vergelijk een grote wetenschappelijke impact in termen van bibliometrie. In vergelijking tot de output van de 20 grootste landen heeft Nederland in de afgelopen jaren (2014-2019) relatief zeer veel gepubliceerd in Astronomie/Astrofysica (1<sup>e</sup> plek), Aardobservatie (3<sup>e</sup> plek) en Microgewicht (6<sup>e</sup> plek). Naast bibliometrische metingen van publicaties, geven ook andere indicatoren (zoals samenwerking, zie ook andere conclusies) een beeld van wetenschappelijke kwaliteit.
10. Aardobservatie is uitgegroeid tot een tweede, brede Nederlandse wetenschappelijke sterkte binnen het ruimteonderzoek naast Astronomie/Astrofysica. Gemiddeld genomen heeft het Nederlandse ruimteonderzoek (ruime afbakening) een grote citatie-impact (~5e plaats wereldwijd) ten opzichte van de output (~15e plaats wereldwijd). In de grote thema's Astronomie/Astrofysica (-6%) en Aardobservatie (-8%) is het verschil met de hoogste score het kleinst en is de citatie-impact dus het grootst.
11. Het Nederlandse ruimteonderzoek verbreedt zich en levert een relevante bijdrage aan het aanpakken van een steeds bredere set van maatschappelijke vraagstukken. Dit is veelal nog niet bekend bij het grotere publiek, beleidsmakers en uitvoeringsorganisaties. Voor het maatschappelijk draagvlak voor investeringen in ruimteonderzoek verdient het aanbeveling deze bijdrage (nog) explicieter te benoemen.
12. Een analyse van de thematische samenhang toont dat de top down indeling van de bestaande acht thema's in het Nederlandse ruimteonderzoek redelijk overeenkomt met de feitelijke thematische verbondenheid van het ruimteonderzoek op basis van bottom up clustering. Wel biedt de bottom up clustering een meer gedetailleerd inzicht in de uiteenlopende specialisaties binnen het Nederlandse ruimteonderzoek.
13. Analyses van de samenwerking binnen Nederland in het ruimteonderzoek (eng afgebakend) toont weliswaar duidelijk afgebakende clusters in het Nederlandse ruimteonderzoek, maar laat ook zien dat er samenwerking tussen (onderzoekers

actief op) verschillende thema's bestaat. Ook is ruimteonderzoek in toenemende mate interdisciplinair en deels afhankelijk van toeleverende disciplines.

14. Op enkele thema's zijn duidelijke hotspots aan te wijzen, maar op andere thema's zijn de onderzoeksinspanningen verspreid over een groter aantal spelers. De 'hittekaarten' die op basis van de bibliometrische analyse per thema zijn opgesteld, geven hiervan een goed beeld. De mate van spreiding verschilt niet alleen binnen de acht thema's, maar ook binnen de individuele thema's op het niveau van subthema's (of zogenaamde *topic clusters*). De hittekaarten zouden een nuttig hulpmiddel kunnen zijn om te bezien waar onderzoekssamenwerking – voor zover nog niet aanwezig – verder versterkt zou kunnen worden.
15. Bibliometrische en alternatieve indicatoren laten zien dat het Nederlandse ruimteonderzoek zich kan meten met de wereldtop.
16. Het onderscheid tussen ruimteonderzoek in of vanuit de ruimte en aardgebonden ruimteonderzoek is soms moeilijk te maken, maar blijft relevant voor discussies over de afbakening en financiering van onderzoeksprogramma's.

De bevindingen uit deze beschrijving en evaluatie van het ruimteonderzoek kunnen behulpzaam zijn bij de inrichting en vormgeving van het beleid op het gebied van ruimteonderzoek. Dit kan bijvoorbeeld gaan over de toekomstige financiering van het zich uitbreidende ruimteonderzoek, de vraag naar de balans tussen doorgaan op bestaande sterktes in het ruimteonderzoek en het inzetten op opkomende thema's of de rol van de toeleverende disciplines in het ruimteonderzoek. Ook de vraag of moet worden ingezet op grote ruimte-instrumenten of juist op meerdere kleinere ruimte-instrumenten en de vraag wat de verhouding zou moeten zijn tussen upstream, downstream en toepassingen in het ruimteonderzoek is relevant. Tot slot zal waarschijnlijk ook het toenemend aantal spelers in het ruimteonderzoek en de vraag of meer samenwerking wenselijk en mogelijk is in het Nederlandse ruimteonderzoek (en hoe) aan de orde komen.





# 1 Inleiding

*In dit hoofdstuk beschrijven we de aanleiding en context voor de in deze rapportage te presenteren evaluatieve beschrijving van het Nederlandse ruimteonderzoek (paragraaf 1.1). Vervolgens bakenen we de reikwijdte ervan af, schetsen we kort de perspectieven op ruimteonderzoek die mogelijk zijn en behandelen we de doelstelling en onderzoeksvragen van deze evaluatie (paragraaf 1.2). presenteren we de onderzoeksaanpak op hoofdlijnen (paragraaf 1.3). We sluiten af met een leeswijzer (paragraaf 1.4).*

## 1.1 Aanleiding

Er is behoefte aan een onafhankelijke beschrijving en evaluatie van ruimteonderzoek in Nederland met het oog op het stimuleren van ruimteonderzoek (nationaal, Europees) en ook als eerste stap ter voorbereiding van de ministeriële conferentie van de European Space Agency (ESA) in 2022. Op verzoek van het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap heeft Dialogic een beschrijving en evaluatie gemaakt van het wetenschappelijke ruimteonderzoek zoals dat in Nederland plaats heeft. Onder ruimteonderzoek wordt verstaan onderzoeksactiviteiten in en vanuit de ruimte, dus met gebruikmaking van – gegevens afkomstig van – ruimte-infrastructuur en de ontwikkeling daarvan.<sup>3</sup> Het verzoek was ook hierbij een onderscheid te maken naar onderzoeksgroepen die in de kern opereren (ruimteonderzoek is hier het primaire aandachtspunt) en onderzoeksgroepen die meer in de schil opereren (ruimteonderzoek is voor hen secundair). Dit vanuit de aanname dat het aantal onderzoeksgroepen dat een rol speelt in het ruimteonderzoek in de tijd is toegenomen en mogelijk wel eens groter zou kunnen zijn dan op voorhand gedacht. Gevraagd is een evaluatieve beschrijving van het veld als geheel en nadrukkelijk niet van individuele onderzoeksgroepen. Die behoefte is ook verwoord in de Nota ruimtevaartbeleid uit 2019 waarin voor het Nederlandse ruimte(vaart)beleid een aantal keuzes wordt gepresenteerd en ook het voornemen is uitgesproken “in 2020 een evaluatie [te] laten uitvoeren van het ruimteonderzoek in Nederland” (p.7). De onderhavige rapportage voorziet in die behoefte.

## 1.2 Afbakening en perspectieven

Ruimteonderzoek vinden we terug binnen diverse wetenschappelijke disciplines, zoals de astronomie, de aard- en milieuwetenschappen, technische wetenschappen en de planeetwetenschappen. Volgens de hierboven gegeven definitie gaat het bij ruimteonderzoek binnen die wetenschapsvelden alleen om het deel dat daadwerkelijk betrekking heeft op de ruimte-infrastructuur (“in/vanuit de ruimte”). Het ruimteonderzoek-veld wordt dus gevormd door de optelsom van die delen van de genoemde wetenschappelijke disciplines die aan die definitie voldoen. Daarmee is ruimteonderzoek een veelzijdig en moeilijk af te bakenen veld, ook al omdat binnen die wetenschappelijke disciplines het ruimteonderzoek veelal in synergie met ander onderzoek uitgevoerd wordt. Daarom is het in deze evaluatie niet mogelijk gebleken om de ‘enge’ definitie overal strikt te hanteren en gebruiken we soms een ‘ruimere’ afbakening om tot goede resultaten te komen. Dit zal steeds expliciet worden gemaakt.

---

<sup>3</sup> Daar hoort het aardgebonden onderzoek, zoals het observeren van de ruimte met telescopen op de grond, dus niet bij. Wel is er natuurlijk overlap in wetenschappelijke vraagstukken, gebruikte technologie en in de manier waarop extreem grote datasets worden verwerkt. Ook wordt een belangrijk deel van de enabling technology gedeeld.

Het onderzoek beoogt in de eerste plaats het totale ruimteonderzoek in Nederland in beeld te brengen. Om dit te kunnen doen brengen we de onderzoeksgroepen in beeld en karakteriseren we deze kort. In het overzicht met onderzoeksvragen zoals weergegeven in Tabel 1 gaat het dan primair om vragen op *micro-niveau*. Per geïdentificeerde onderzoeksgroep zijn deze vragen aan bod gekomen. Een uitgebreide set van kenmerken is voor 39 onderzoeksgroepen uitgebreid en voor nog een groep van 17 onderzoeksgroepen op hoofdlijnen beschreven. Voor in totaal 56 onderzoeksgroepen – variërend van universitaire onderzoeksgroepen, NWO-instituten, Toegepaste onderzoeksinstituten (verder TO2, bijvoorbeeld TNO en NLR) en Rijkskennisinstellingen - zijn fiches opgesteld.<sup>4</sup> Hieraan hebben in totaal 39 onderzoeksgroepen hun medewerking verleend.

Tabel 1. Overzicht onderzoeksvragen uitgesplitst naar niveau

<b>Onderzoeksvragen op niveau onderzoeksgroep (microniveau)</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Is ruimteonderzoek het primaire of secundaire onderwerp?</li> <li>2. Op welk van de zeven thema's wordt onderzoek gedaan?</li> <li>3. Met welke wetenschappelijke disciplines wordt onderzoek gedaan?</li> <li>4. Wat is de wetenschappelijke kwaliteit (in internationaal perspectief)</li> <li>5. Aan welke wetenschappelijke doorbraken wordt gewerkt?</li> <li>6. Wat is de maatschappelijke en economische relevantie of impact?</li> <li>7. Groeit of krimpt de onderzoeksgroep?</li> <li>8. Wat zijn de belangrijkste samenwerkingspartners (nationaal en internationaal, binnen en buiten het ruimteonderzoek)?</li> <li>9. Welke onderzoeksfaciliteiten worden gebruikt of beheerd (en worden deze gedeeld met andere onderzoeksgroepen)?</li> </ol>
<b>Onderzoeksvragen op nationaal niveau</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>10. Welke onderzoeksgroepen zijn actief in Nederland?</li> <li>11. Wat zijn opkomende thema's in het ruimteonderzoek?</li> <li>12. Welke wetenschappelijke disciplines worden meer of minder relevant of worden met elkaar verbonden?</li> <li>13. Wat zijn recente voorbeelden van en nieuwe kansen op wetenschappelijke doorbraken?</li> <li>14. Wat is de kwaliteit van het onderzoek in Nederland (in internationaal perspectief)?</li> <li>15. Wat is de relevantie van het onderzoek in Nederland voor – programma's van – internationale organisaties, zoals ESA, EU, VN, IPCC, GEO, WMO etc?</li> <li>16. Welke samenwerking binnen het ruimteonderzoek en met andere onderzoeksgebieden (en eventuele doublures) vinden plaats?</li> <li>17. Welke samenwerking tussen verschillende typen organisaties (inclusief publieke en private gebruikers) vindt plaats?</li> <li>18. Wat is de relevantie van ruimteonderzoek voor maatschappelijke en economische uitdagingen, bijvoorbeeld, maar niet beperkt tot, uitdagingen zoals beschreven in het missiegedreven innovatiebeleid en de aanpak voor de sleuteltechnologieën?</li> <li>19. Wat is de aard en kwaliteit van het ruimteonderzoek binnen de zeven thema's: astronomie/astrofysica, planeetonderzoek, aardobservatie, navigatie, space situational awareness, microgewicht, exploratie?</li> <li>20. Welke disciplines zijn relevant voor de zeven thema's en binnen welke thema's vindt interdisciplinair onderzoek plaats?</li> <li>21. Welke disciplines zijn relevant voor meerdere thema's binnen het ruimteonderzoek?</li> </ol>
<b>Onderzoeksvragen op internationaal niveau</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>22. Wat is de internationale kwaliteit van ruimteonderzoek in het algemeen en hoe positioneert Nederland zich hierin?</li> <li>23. Welke internationale programma's lopen of komen in de toekomst?</li> <li>24. Wat is de internationale kwaliteit van ruimteonderzoek per thema en hoe positioneert Nederland zich hierin?</li> <li>25. Wat is de internationale kwaliteit van ruimteonderzoek in het algemeen en hoe positioneren de Nederlandse onderzoeksgroepen zich hierin?</li> <li>26. Wat zijn internationale voorbeelden van of kansen op doorbraken en hoe positioneert Nederland zich hierin?</li> </ol>

<sup>4</sup> Dit betreft Nederlandse publieke onderzoeksgroepen. Ruimteonderzoek bij bedrijven, ESA-ESTEC en UNESCO-IHE is niet inbegrepen, maar benoemd in de context van samenwerking.

Voor de evaluatiecomponent zijn vooral de onderzoeksvragen op nationaal en internationaal niveau van belang (hoewel die mede op basis van de informatie over de individuele onderzoeksgroepen beantwoord kunnen worden). Kort gezegd: wat is kenmerkend voor het portfolio van ruimteonderzoek in Nederland, hoe ontwikkelt deze zich kwalitatief en hoe verhoudt het zich tot het internationale ruimteonderzoek? De bijbehorende onderzoeksvragen zijn eveneens in Tabel 1 weergegeven. Om inzicht te krijgen in welke richting zich het Nederlandse ruimteonderzoek inhoudelijk ontwikkelt, is gewerkt met zeven vooraf gespecificeerde thema's. Deze zeven thema's zijn slechts 'labels' om het geheel aan ruimteonderzoek-onderwerpen in te delen aan de hand van 'toepassingen' met ruimteonderzoek, en het zijn niet per se individuele wetenschapsvelden. De thema's zijn Astronomie/Astrofysica, Planeetonderzoek, Aardobservatie, Navigatie, Exploratie, Microgewicht en Space Situational Awareness (SSA). Deze thema's zijn gebaseerd op indelingen zoals die momenteel door ESA, Europese Commissie (EC), Netherlands Space Office (NSO) en NWO worden gehanteerd en die expres niet gekoppeld zijn aan de disciplines die van belang zijn in het ruimteonderzoek. Het zijn dus 'labels' en niet al deze labels zijn ook wetenschappelijke disciplines. Een korte beschrijving van elk van de thema's is opgenomen in Bijlage 1.

Er zijn twee specifieke kenmerken van ruimteonderzoek die de programmering ervan relatief complex maken. Ruimteonderzoek is in de eerste plaats sterk interdisciplinair. In het ruimteonderzoek worden wetenschappelijke disciplines zoals astronomie, fysica, chemie, werktuigbouwkunde, meteorologie, aardwetenschappen, wiskunde en informatica en sociale en geesteswetenschappen ingezet en gecombineerd. De datacomponent is steeds dominant en daarmee worden ook de data sciences relevanter. Dit maakt ruimteonderzoek relatief moeilijk af te bakenen. Op de tweede plaats wordt ruimteonderzoek gekenmerkt door een sterke verwevenheid tussen internationale en nationale missies en onderzoeksprogramma's. Er zijn weinig wetenschapsgebieden waar de afhankelijkheid van kostbare, langjarige missies en grootschalige infrastructuur zo groot is als in het ruimteonderzoek. Dat maakt dat internationale samenwerking onontbeerlijk is en dus ook dat een belangrijke afweging telkens is op welke missies en internationale programma's wel of niet in te tekenen<sup>5</sup>. Dat maakt het zeker voor relatief kleine landen noodzakelijk om de synergie tussen nationale en internationale onderzoeksprogramma's maximaal te benutten. Het is van belang om te kijken hoe men als land of instituut kan deelnemen, een eigen niche kan ontwikkelen en benutten en tegelijkertijd de brede kennisbasis op orde te houden. Dat maakt het programmeren van nationaal ruimteonderzoek extra moeilijk in vergelijking met veel andere wetenschapsgebieden. In het gevraagde onderzoek staat het wetenschappelijke perspectief voorop. In Box 1 zijn verschillende, mogelijke perspectieven op ruimte(vaart)onderzoek opgenomen.

#### **Box 1: Verschillende perspectieven op ruimteonderzoek**

Ruimtevaart en ruimteonderzoek zijn op veel manieren van belang en kent veel perspectieven. Vanuit een zuiver wetenschappelijke perspectief gaat het om het bestuderen van het naaste (zonnestelsel), het verre heelal en het begrijpen van het systeem aarde en vooral om het blootleggen van de onderliggende wetmatigheden. Het is geen standaard wetenschapsgebied, gezien de lange tijdshorizonten en variërend van zeer fundamenteel tot sterk toegepast onderzoek met een grote afhankelijkheid van complexe instrumenten. Vanuit economisch-technologisch perspectief gaat het vooral om de (groei van) de markt voor ruimtevaarttoepassingen en van sleuteltechnologieën die of afgeleid zijn van de ruimtevaart of daarvoor van cruciaal belang zijn. In het maatschappelijke perspectief gaat het vooral om de snel toenemende toepassingsmogelijkheden van satellietdata in allerhande

<sup>5</sup> Voor zover het niet om verplichte programma's gaat die voortkomen uit lidmaatschap van bijvoorbeeld ESA, EU of EUMETSAT.

domeinen. Vanuit het politiek-strategische en politiek-militair perspectief gaat het vooral om het verkrijgen van autonome toegang tot de ruimte en veiligheidsvraagstukken. Het is bijvoorbeeld vanuit geopolitieke en strategische overwegingen dat de Europese Commissie heeft besloten een grotere autonomie in de ruimte na te streven. Dit heeft geleid tot programma's als GALILEO, COPERNICUS, GOVSATCOM en Space Situational Awareness (SSA). Doel van deze programma's het opleveren van (eigen!) services voor het gebruik van satellietdata in allerlei domeinen (overheden, burgers, militairen). Vanuit juridisch perspectief is de vraag vooral welke juridische kaders bestaan en moeten worden ontwikkeld om een veilige en duurzame ruimtevaart te garanderen.

Het ruimteonderzoek vervult verschillende rollen in de onderscheiden perspectieven. In het ene perspectief is vooral fundamenteel onderzoek van belang, in het andere perspectief meer toepassingsgericht onderzoek. Andere perspectieven resulteren vooral in ruimte-infrastructuren die alleen gerealiseerd kunnen worden met resultaten van ruimteonderzoek en op hun beurt weer resulteren in data en inzichten die ingezet kunnen worden in ruimteonderzoek. Uiteraard kunnen perspectieven op ruimteonderzoek veranderen.

Ruimteonderzoek maakt gebruik van ruimte-infrastructuur zoals o.a. ontwikkeld wordt door ESA. Nederland is lid van ESA en draagt daarom financieel bij. Eind 2019 heeft het kabinet de inschrijving in ESA voor de periode 2020-2022 vastgesteld. Onderdeel daarvan is de verplichte inschrijving in het Science Programme (dat is globaal gezegd het Astrofysica-programma).<sup>6</sup> De Nederlandse bijdrage (zie ook

---

<sup>6</sup> EZK (2019), Nota Ruimtevaartbeleid 2019.

Tabel 3) aan dit Science Programme is naar rato van het aandeel in het BBP van de ESA-lidstaten.<sup>7</sup> Die bijdrage naar BBP geldt ook voor het Basic Activities-programma. In het Science-programma zijn vier thema's vastgesteld na een consultatie van wetenschappers en onderzoekers bij bedrijven. De nadruk van het programma ligt op astronomie.<sup>8</sup> Toekomstige missies met Nederlandse betrokkenheid op dit thema zijn bijvoorbeeld Athena en de LISA-missie, alsook de JUICE-missie.<sup>9</sup> Ook het Aardobservatieprogramma van ESA kent overigens een belangrijke wetenschappelijke component. De bijdrage aan dit programma staat ook in tabel 1. Verder kent Nederland een aantal nationale programma's op het gebied van het wetenschappelijke ruimteonderzoek, zoals het programma Gebruikersondersteuning Ruimteonderzoek (GO-regeling) dat gericht is op het beter benutten van data die wordt verzameld met instrumenten aan boord van satellieten op de gebieden aardobservatie en planeetonderzoek. Andere nationale programma's zijn de Kennisnetwerkenregeling en het Instrumentenontwikkelingsprogramma, die als doel hebben om de samenwerking in Nederland te bevorderen op het gebied van de ontwikkeling en het gebruik van ruimteinstrumenten. Nederlandse investeringen in missies van de afgelopen jaren zijn onder andere OMI en TROPOMI, instrumenten op het gebied van aardobservatie.<sup>10</sup> TROPOMI bouwt voort op de (deels) Nederlandse satellietinstrumenten SCIAMACHY en OMI voor metingen van de atmosfeer.<sup>11</sup> Het gebruik van satellietdata wordt ook gestimuleerd met het Satellietdataportaal en het G4AW-programma. Uit de Nederlandse inzet bij optionele ESA-programma's blijkt dat inschrijvingen in de programma's in termen van budget fluctueren. Wel is te zien dat er de afgelopen jaren een ruim budget is geweest voor het thema aardobservatie en dat Nederland ook stevig heeft ingezet op lanceerders (zie Tabel 2).<sup>12</sup> Daarentegen is te zien dat er bijvoorbeeld weinig inschrijvingen zijn op het gebied van navigatie.

---

<sup>7</sup> Kamerstuk 24 446, nr. 70.

<sup>8</sup> De vier thema's van het ESA Science-programma zijn: het ontstaan van planeten en de voorwaarden voor het ontstaan van leven; de werking van het zonnestelsel; de fundamentele natuurkundige wetten; het ontstaan van en de bestandsdelen van het heelal.

<sup>9</sup> De Athena-missie richt zich op het bestuderen van het hete en hoogenergetische universum met een röntgentelescoop en de LISA-missie gaat zwaartekrachtgolven meten in de ruimte. De focus van de JUICE-missie is onderzoek naar de planeet Jupiter.

<sup>10</sup> Het instrument TROPOMI is door Nederland ontwikkeld als payload voor de ESA-satelliet Sentinel-5P die in 2017 is gelanceerd en is momenteel wereldwijd het belangrijkste satellietinstrument voor de chemische samenstelling van de atmosfeer.

<sup>11</sup> SCIAMACHY is ontwikkeld door een samenwerking van Nederland, Duitsland en België als instrument op de ESA-satelliet Envisat die in 2002 is gelanceerd. OMI is ontwikkeld door Nederlandse partijen, in samenwerking met Finse partners en vliegt op de NASA Aura-missie.

<sup>12</sup> NB: de vermelde bedragen zijn ESA-inschrijvingen per periode. Bij sommige programma's zoals lanceerders en aardobservatie, wordt soms ingeschreven voor langere periodes (bijv. tot 2024 of 2026). Daarnaast kunnen de daadwerkelijke kosten in sommige programma's hoger uitvallen dan de ingeschreven getallen.

Tabel 2: Nederlandse inschrijving op de optionele programma's van ESA-ministersconferenties sinds 2008, in miljoenen euro's. Bron: NSO

	2008	2012	2014	2016	2019
Lanceerders	21,9	36,0	79,0	24,8	32,0
Aardobservatie	25,6	39,6	48,5	26,0	48,5
Telecom	62,3	14,0	4,3	31,0	34,0
Navigatie	0,9	-	-	1,0	1,0
Bemande ruimtevaart/Exploratie	39,8	20,0	9,5	14,0	14,0
Technologie	10,5	18,0	9,0	10,0	8,0
Space Security	-	-	-	2,0	2,0

\* De periodes waarvoor de bedragen beschikbaar zijn kunnen per (onderdeel van een) programma verschillen. Nadere uitleg hierover, en over de precieze bestedingsdoelen, is in de betreffende Kamerbrieven te vinden.

\*\* De genoemde bedragen betreffen niet de werkelijke bestedingen of uitgaven. De genoemde bedragen zijn geldig onder de economische condities van het jaar van inschrijving.

De inschrijvingen op de optionele programma's van ESA geven aan waar Nederland op inzet. Zoals benoemd, draagt Nederland naar rato van het aandeel in het BBP van de ESA-lidstaten bij aan de kosten van het verplichte General-budget/Kourou en Science programma.<sup>13</sup> Deze bedragen zijn weergegeven in Tabel 3.

<sup>13</sup> Kamerbrief met verslag ESA-Raad op ministerieel niveau SPACE19+.

Tabel 3: Nederlandse bijdrage per jaar aan de verplichte programma's van ESA sinds 2008, in miljoenen euro's. Bron: NSO

Jaar	Science	General-budget/Kourou
2008	18,7	10,9
2009	20,0	12,6
2010	19,4	12,5
2011	21,8	12,8
2012	22,8	13,2
2013	23,6	13,4
2014	23,6	13,5
2015	23,5	13,4
2016	23,5	13,4
2017	23,7	13,5
2018	24,6	13,9
2019	24,8	14,0
2020	25,1	14,7
2021	26,4	16,3
2022	27,3	17,1

Box 2 toont enkele voorbeelden van doorbraken in het ruimteonderzoek waaraan Nederlands ruimteonderzoek belangrijk heeft bijgedragen.

#### Box 2: Nederlandse bijdragen aan doorbraken ruimteonderzoek

Nederlands ruimteonderzoek heeft een goede reputatie en draagt bij aan doorbraken in het vakgebied. Onderstaand een kleine bloemlezing (met de aantekening dat deze verre van compleet is) die daarvan een indruk geeft voor de niet ingewijde lezer:

- TROPOMI: aan boord van de ESA-satelliet Sentinel-5P is het door Nederland ontwikkelde instrument TROPOMI. TROPOMI is momenteel wereldwijd het belangrijkste satellietinstrument voor de chemische samenstelling van de atmosfeer. De ruimtelijke resolutie is een grote doorbraak: met een factor 10 tot 100 vergeleken met OMI en GOME-2. TROPOMI meet luchtkwaliteit (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, aerosolen), ozonlaag, rook van bosbranden, woestijnstof, vulkaanpluimen, en het broeikasgas methaan. TROPOMI is ontwikkeld door KNMI, SRON, TNO en Airbus Defence and Space Netherlands.
- GAIA: Bij het verwerken van de data van deze missie speelt Nederland een grote rol en Nederlandse astronomen exploiteren de Gaia-data voor baanbrekend wetenschappelijk onderzoek, onder andere t.a.v. de evolutie van de Melkweg. Er zijn op basis van Gaia-data dan ook al veel wetenschappelijke papers geschreven (meer dan 2000 papers sinds April 2018). Met de ruimtetelescoop wordt onder andere de positie en fotometrie van sterren in de Melkweg onderzocht. Voor deze ruimtetelescoop van ESA die in 2013 is gelanceerd, heeft TNO een cruciaal meet-systeem ontwikkeld voor de positiebepaling.
- Herschel: een consortium van wetenschappers heeft de HIFI spectrometer voor de Herschel satelliet ontwikkeld, onder leiding van SRON (met bijdragen van TNO,

TU Delft, MECON en Dutch Space). Gegevens van deze satelliet (gelanceerd in 2009) zijn bijvoorbeeld gebruikt voor ontdekkingen over de verdeling en de rol van o.a. watermoleculen in de ruimte en stervormingsgebieden.

- GOCE: Nederland (o.a. TUD, SRON) speelde bij deze eerste Earth Explorer missie (2009-2013) van ESA een belangrijke rol, zowel in de ontwikkeling als in de data-verwerking. GOCE bracht het gravitatieveld van de aarde met ongekend hoge nauwkeurigheid in kaart. Nederlandse aardwetenschappers (o.a. TUD) hebben met de exploitatie van de GOCE-data een belangrijke bijdrage geleverd aan een baanbrekend nieuw en beter model van het aardse zwaartekrachtsveld. Ook is de TUD met data van GOCE en een andere Earth Explorer (SWARM) in staat geweest de kennis van de buitenste laag van de atmosfeer (thermosfeer) sterk te verbeteren.

In deze beschrijving en evaluatie staat het ruimteonderzoek centraal. Uiteraard geldt dat het ruimteonderzoek sterk verweven is met het onderwijs – en ook de faciliteiten voor ruimteonderzoek – het opleiden van volgende generaties ruimteonderzoekers en het bijdragen aan de oplossing van actuele maatschappelijke vraagstukken. In dit verband zijn de recent gepubliceerde Sectorbeelden Bètawetenschappen 2020 (Voor een sterker fundament) met onder andere sectorbeelden voor de Aard- en Milieuwetenschappen en Astronomie – en eveneens de daarin aangekondigde sectorplannen – van belang.<sup>14</sup> Ze laten zien hoe investeringen in fundamenteel onderzoek bijdragen aan maatschappelijke vraagstukken en tonen de samenhang tussen onderzoek, onderwijs en maatschappij in een sector. We zijn ons bewust van de samenhang, maar in dit onderzoek staat het ruimteonderzoek centraal.

### 1.3 Onderzoeksaanpak

Voor het opstellen van de evaluatieve beschrijving hebben we een aantal sporen gevolgd. In de eerste plaats hebben we op basis van administratieve gegevens (zoals deelname aan verschillende nationale regelingen) en deskresearch een groot aantal onderzoeksgroepen geïdentificeerd.<sup>15</sup> De uitgevoerde bibliometrische analyses (zie hieronder) hebben ons in een aantal gevallen nog gebracht op additionele onderzoeksgroepen, deze zijn alsnog benaderd. Vervolgens is in overleg met de opdrachtgever een fiche opgesteld met items die we zo goed als mogelijk per onderzoeksgroep in beeld willen hebben. Denk daarbij naast basisgegevens (type groep, omvang, financiering) aan positionering binnen het ruimteonderzoek (disciplines, mate van interdisciplinariteit, verdeling over de zeven onderzoeksthema's, faciliteiten en samenwerkingspartners), output en gebruikers, bijdragen aan bredere agenda's (denk aan Topsectoren, sleuteltechnologieën en maatschappelijke missies, NWA-routes) en een inschatting van het relatieve belang van Nederlands ruimteonderzoek. De items die zijn opgenomen in de fiches zijn terug te vinden in Bijlage 2. De individuele fiches zijn vervolgens op basis van publiek beschikbare informatie zoals websites, documentatie van de onderzoeksgroepen en wanneer beschikbaar onderzoeksvisitatie's zo goed als mogelijk ingevuld. Vervolgens is contact opgenomen met elk van de onderzoeksgroepen en is gevraagd de deels ingevulde fiches te controleren, waar nodig te verbeteren en aan te vullen.

---

<sup>14</sup> Zie <https://surfdrive.surf.nl/files/index.php/s/iPPcgyJIA1XVVZ6>.

<sup>15</sup> Regelingen die in de analyse zijn betrokken zijn: de GO-regeling (Gebruikersondersteuning Ruimteonderzoek), KNW (Kennisnetwerken), NWO PEPSci (Planetary and ExoPlanetary Science Programme) en deelnemers aan het Instrumentencluster en Instrumentenontwikkelingsprogramma. Daarnaast is gekeken naar partijen met ESA-contracten.



We onderscheiden drie categorieën onderzoeksgroepen. De eerste categorie bestaat uit onderzoeksgroepen die het onderzoeksfiche hebben gecontroleerd en aangevuld en zichzelf beschouwen als kern- of schilspeler in het Nederlands ruimteonderzoek (39 onderzoeksgroepen). Onderzoeksgroepen die hebben gereageerd, maar aan hebben gegeven zich te ver van het ruimteonderzoek te bevinden om een fiche in te vullen vallen onder de tweede categorie (het Center for Isotope Research aan de Rijksuniversiteit Groningen en MESA+ aan de Universiteit Twente). Deze groepen gaven aan dat soms een deel van hun kennis en producten weliswaar kan worden ingezet in ruimteonderzoek en ruimtevaart, maar dat de link bescheiden is. Een derde categorie betreft onderzoeksgroepen die niet hebben gerespondeerd (17 onderzoeksgroepen). Hiervoor geldt dat wij aanwijzingen hebben dat zij relevant ruimteonderzoek als schilspeler verrichten, maar dit niet met zekerheid hebben kunnen vaststellen. De ingevulde onderzoeksfiches bieden een rijke basis aan informatie die we op het niveau van het portfolio in hoofdstuk 2 zullen presenteren.

Het tweede spoor betreft het bibliometrische spoor. Hoewel niet onomstreden en niet zaligmakend, biedt bibliometrie een basis om – in een sterk competitief domein waar publicaties nog steeds een belangrijke output zijn – te bezien: 1) Wat de internationale positie is van Nederland in termen van output (gemeten naar zowel citatie impact als views) alsook wat de 'hotspots' van onderzoeksactiviteiten per thema zijn in Nederland; 2) Thematische verbondenheid in het Nederlandse ruimteonderzoek; 3) samenwerking binnen Nederland in het ruimteonderzoek. Voor 1) geldt dat we waar mogelijk het Nederlandse ruimteonderzoek afzetten tegen het ruimteonderzoek in de wereld en de top-10 landen/selectie van landen. Voor 2) en 3) geldt dat we die zowel top down kunnen bekijken op basis van de vooraf gedefinieerde zeven onderzoeksthema's (en het achtste toegevoegde thema enabling technology) als ook bottom up, dat wil zeggen de clusters van ruimteonderzoek die gegenereerd worden op basis van het zogenaamde Leiden Algoritme). In hoofdstuk 3 gaan we nader in op de gehanteerde bibliometrische maten en werkwijzen. In bijlagen 3-6 presenteren we meer in detail werkwijzen en extra analyses die als onderdeel van de bibliometrische analyses zijn uitgevoerd. De voor de bibliometrie gehanteerde keywords en lijst van meest relevante journals (zie Bijlage 3) is besproken met experts in het veld (NSO, klankbordgroep). Hieronder zijn in box 3 – om te voorkomen dat we enkel op basis van bibliometrie oordelen over de wetenschappelijke positie van Nederland in het internationale ruimteonderzoek – een drietal niet-bibliometrische indicatoren opgenomen die een indicatie geven van de kwaliteit van het Nederlandse ruimteonderzoek. Ze zijn alle drie een illustratie van de constatering dat Nederland een vooraanstaande positie inneemt in het internationale ruimteonderzoek.

### **Box 3: Vooraanstaande wetenschappelijke positie Nederlands ruimteonderzoek**

Drie maten die een indicatie geven van de bijdrage die Nederlandse ruimteonderzoekers leveren aan het internationale ruimteonderzoek en de internationale waardering daarvoor zijn de volgende:

- Aantal PI's (Principal Investigator) en co-PI's van internationale missies in het ruimteonderzoek. Over de periode 2010-2020 zijn Nederlandse instituten bij tien missies PI of co-PI van bepaalde instrumenten. Hierbij gaat het om de instrumenten OMI, TROPOMI, HIFI en NCLC van de respectievelijke missies Aura (NASA), Sentinel-5P (ESA/EU), Herschel (ESA) en Chang'e-4 (CNSA). Ook bij de missie Aeolus (ESA) heeft Nederland een belangrijke rol. Aankomende missies waarbij Nederland een rol heeft als (co-)PI zijn de NASA-missies PACE (het instrument SPExone) en JWST (MIRI) en de ESA-missies Athena (X-IFU), JUICE (PRIDE) en Harmony.

- Internationale prijzen in het ruimteonderzoek. Zeker als we de ruime definitie van ruimteonderzoek hanteren, scoort het Nederlandse ruimteonderzoek goed. Zo heeft Ewine van Dishoeck de Kavli prijs gewonnen voor haar onderzoek naar het ontstaan van sterren en planeten. Dezelfde onderzoeker heeft recent ook de Jules Janssen prijs (een internationale prijs voor astronomie) gewonnen. Deze prestaties zijn in belangrijke mate gebonden aan de hoge kwaliteit van het Nederlandse aard-gebonden ruimteonderzoek. Als we kijken naar het ruimteonderzoek in enge zin, dan zien we dat het ruimteonderzoek weinig (wetenschappelijke) prijzen kent. Wel heeft het KNMI in 2019 de William T. Pecora Award gewonnen voor het OMI-satellietproject. In 2021 is voor dit project ook een special award toegekend door de American Meteorological Society (AMS).
- Verworven European Research Council (ERC) grants. Het aantal verworven ERC grants is afhankelijk van de gehanteerde definitie van ruimteonderzoek. Bij de onderzoeksdomeinen van ERC waar ruimteonderzoek voornamelijk onder valt (Universe Science en Earth System Science) zijn er zes grants bij de enge definitie van ruimteonderzoek, maar 66 grants als men een ruimere definitie hanteert. Dit is slechts een indicatie, aangezien er nog een aantal (sub-)onderzoeksdomeinen van ERC zijn waar ruimteonderzoek waarschijnlijk onder valt.

Een derde spoor is een serie interviews met in totaal 15 respondenten uit het Nederlandse ruimteonderzoek. Deze respondenten, die zijn afgestemd met de opdrachtgever, zijn zo goed als mogelijk gespreid over de zeven onderzoeksthema's en diverse categorieën onderzoeksgroepen in Nederland. Bijlage 7 geeft de lijst van vragen die gedurende de interviews is gehanteerd en Bijlage 8 een lijst met interviewpartners. De resultaten van de interviews zijn met behulp van een meta-analyse per vraag geanalyseerd en hoofdzakelijk verwerkt in hoofdstuk 2.

Tot slot hebben we met hulp van NSO en RVO een analyse uitgevoerd van de Nederlandse deelname aan ESA- en EU-programma's en voor zover mogelijk proberen te achterhalen welke onderzoeksgroepen hierbij betrokken zijn. Deze analyse komt aan de orde daar waar we in hoofdstuk 2 de financiering van de onderzoeksgroepen bespreken.

Gedurende het onderzoek hebben we ons voordeel kunnen doen met suggesties van de begeleidingscommissie en de klankbordgroep (voor de samenstelling van beide zie Bijlage 9) alsmede regelmatig overleg met opdrachtgever en NSO.

## 1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 geven we op basis van de interviews en de fiches een kwalitatief totaalbeeld van de constellatie van onderzoeksgroepen in het ruimteonderzoek in Nederland en hoe dat beeld zich heeft ontwikkeld. Inbegrepen is een inzicht in de wijze waarop ze gefinancierd zijn en het relatieve belang daarbij van ESA- en EU-middelen. Hoofdstuk 3 is grotendeels gewijd aan de uitkomsten van de bibliometrische analyses die zijn uitgevoerd, wederom gericht op het schetsen van een totaalbeeld van het ruimteonderzoek in Nederland. In hoofdstuk 4 sluiten we af met een samenvatting van de belangrijkste bevindingen van het uitgevoerde onderzoek en enkele afsluitende opmerkingen.

## 2 Overzicht onderzoeksgroepen ruimteonderzoek

*In dit hoofdstuk geven we op basis van de interviews en de fiches een kwalitatief totaalbeeld van de constellatie van onderzoeksgroepen in het ruimteonderzoek in Nederland en hoe zich dat ontwikkeld heeft. Hierbij bespreken we de procedure die gehanteerd is bij de fiches en interviews waarop dit hoofdstuk grotendeels is gebaseerd (paragraaf 2.1).<sup>16</sup> Vervolgens komt een overzicht van de kern- en schilspelers van de onderzoeksgroepen aan bod met uitweiding over ruimte-infrastructuur die wordt beheerd en de interdisciplinariteit van het Nederlandse ruimteonderzoek (paragraaf 2.2). In paragraaf 2.3 presenteren we de positionering van de groepen binnen het ruimteonderzoek, onder andere aan de hand van de 7 thema's. Voorts bespreken we hoe de onderzoeksgroepen overwegend gefinancierd zijn (paragraaf 2.4). Hierna geven we een overzicht van de samenwerkingspartners (paragraaf 2.5). We sluiten af met de bijdrage van het Nederlandse ruimteonderzoek aan bredere maatschappelijke thema's, waarbij gekeken is naar TKI's, sleuteltechnologieën, maatschappelijke missies en NWA-routes (paragraaf 2.6).*

### 2.1 Procedure fiches & interviews

Om gedetailleerde informatie van de onderzoeksgroepen te verzamelen, heeft Dialogic per onderzoeksgroep een fiche opgesteld. Vervolgens zijn de fiches uitgestuurd naar 56 onderzoeksgroepen die zich bezighouden met ruimteonderzoek, met verzoek tot medewerking. Tot deze groepen behoren 35 universitaire onderzoeksgroepen, acht groepen van TO2-instituten, vier Rijkskennisinstellingen en acht KNAW- en NWO-instituten. Daarnaast is het fiche uitgestuurd naar 3 samenwerkingsverbanden die actief zijn op het gebied van ruimteonderzoek. Hierbij kregen onderzoeksgroepen die zichzelf tot de schil van het ruimteonderzoek rekenen de optie om minder vragen in te vullen dan de kernspelers. Meerdere reminders zijn verstuurd om de respons te verhogen. Uiteindelijk hebben 39 van de 56 aangeschreven groepen (69,6%) het fiche ingevuld. De 17 onderzoeksgroepen die het fiche niet hebben ingevuld, betreffen voornamelijk de schilspelers. De response rate per type onderzoeksgroep is weergegeven in Tabel 4.

De vragenlijst voor de interviews en de lijst met gesprekspartners zijn in samenspraak met de begeleidingscommissie vastgesteld. Er zijn 15 interviews gehouden met vertegenwoordigers van onderzoeksgroepen. Hierbij zijn mensen van universitaire groepen, TO2-instituten, Rijkskennisinstellingen en NWO-instituten gesproken. De lijst met gesprekspartners is terug te vinden in Bijlage 8.

---

<sup>16</sup> Daarnaast is in 2.4 waar de financiering aan de orde komt aanvullend gebruik gemaakt van de door Nederland verkregen ESA- en EU-middelen.

Tabel 4: Response rate ingevulde fiches onderzoeksgroepen, per type onderzoeksgroep

Onderzoeks-groep	Aantal aangeschreven	Fiche ingevuld	Response rate
Universitaire groepen	33	23	70%
TO2-groepen	8	6	75%
Rijkskennisinstellingen	4	3	75%
KNAW- en NWO-instituten	8	6	75%
Samenwerkingsverbanden	3	1	33%
<b>Totaal</b>	<b>56</b>	<b>39</b>	<b>69,6%</b>

## 2.2 Overzicht onderzoeksgroepen ruimteonderzoek

Voor de onderzoeksgroepen die het fiche hebben ingevuld, is in Tabel 5 het percentage ruimteonderzoekers weergegeven zoals aangegeven door de groepen. Op basis van dit percentage en de inschatting van de onderzoeksgroepen of ze tot de kern- of schilspelers in het ruimteonderzoek behoren, is een verdeling gemaakt in kern- en schilspelers. Hierbij is de richtlijn dat bij kernspelers 50% of meer van het aantal onderzoekers (FTE) actief bezig is met ruimteonderzoek. Tot de spelers in de eerste schil behoren groepen waarbij dit aantal minder is dan 50%, maar er wel wordt bijgedragen aan het vergroten van de beschikbaarheid van ruimtevaarttechnologie en ruimtevaarttoepassingen. In de tweede schil zitten onderzoeksgroepen die toeleveranciers zijn van ruimteonderzoek of (deels) afhankelijk zijn van ruimteonderzoek. De typering van de kern- en schilspelers in het ruimteonderzoek is echter niet evident. In de schil zitten zowel actieve als passieve gebruikers van ruimteonderzoek. Actieve gebruikers stellen eisen aan de leveranciers van data. Daarnaast zitten er in de schil van het ruimteonderzoek ook toeleveranciers van kennis (bijv. fysica) en technologie, naast groepen die afhankelijk zijn van ruimteonderzoek. Desondanks is het aantal ruimteonderzoekers in FTE een relevante graadmeter, omdat dit de mate van activiteit op het gebied van ruimteonderzoek illustreert.

De kern van het ruimteonderzoek in Nederland is vrij stabiel gebleven, wat blijkt uit de interviews met vertegenwoordigers van de onderzoeksgroepen. Per thema verschilt het welke groepen tot de kern en de schil behoren. Vaak genoemde kernspelers zijn onder andere SRON, ASTRON, TUD, TNO, KNMI en WUR. Wel neemt het aantal kernspelers licht toe, onder andere door het succes van het instrument TROPOMI. Verder zijn er steeds meer onderzoeksgroepen die gebruik maken van satellietdata. Hieronder vallen bijvoorbeeld (maar niet uitsluitend) onderzoekers die actief zijn op het gebied van klimaatverandering en luchtkwaliteit, die in vergelijking met de gemiddelde ruimteonderzoeker ook relatief dicht op de beleidsvoorbereiding en-beleidsuitvoering opereren.

Bij deze tabel met het percentage ruimteonderzoekers per onderzoeksgroep moet de volgende kanttekening worden geplaatst. Een aantal onderzoeksgroepen heeft aangegeven dat 100% van de onderzoekers werkzaam is in het ruimteonderzoek, volgens de definitie van ruimteonderzoek die in deze evaluatie wordt gehanteerd. Echter, bekend is dat door deze onderzoeksgroepen ook veel 'aardgebonden' ruimteonderzoek wordt uitgevoerd. Er is dus in

een aantal gevallen een ruimere definitie van ruimteonderzoek gehanteerd door onderzoeksgroepen. In de tabel staan de percentages zoals aangegeven door de onderzoeksgroepen, maar in een aantal gevallen zal het werkelijke percentage ruimteonderzoekers (volgens de definitie in deze evaluatie) dus substantieel lager uitvallen.

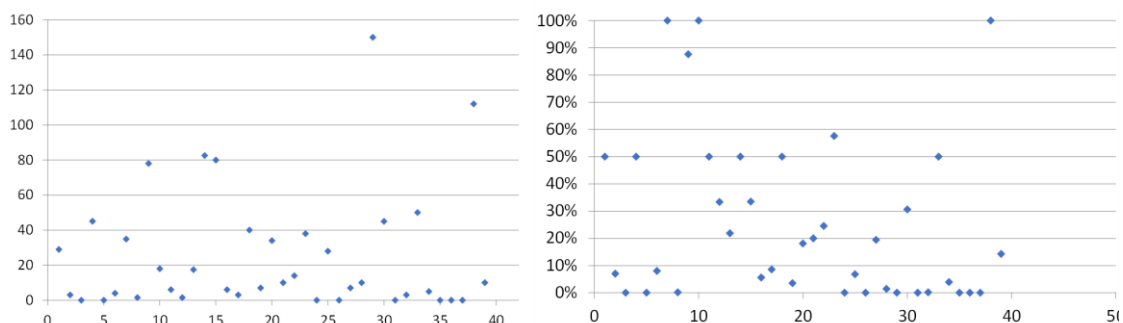
*Tabel 5: Overzicht onderzoeksgroepen. Hierbij is het percentage ruimteonderzoekers van het totaal aantal onderzoekers weergegeven, evenals een aanduiding kern/schil van de onderzoeksgroepen met ingevuld fiche*

Onderzoeksgroep	Ruimteonderzoekers (%)	Kern/schil
RUG Kapteyn Instituut (NOVA)	50,0% <sup>17</sup>	Kern
TUD Astrodynamics and Space Missions	100,0%	Kern
TUD Geoscience and Remote Sensing	87,6%	Kern
TUD Space Systems Engineering	100,0%	Kern
UL Lorentz Institute for Theoretical Physics	21,9%	Kern
UL Sterrewacht Leiden Leiden Observatory (NOVA)	50,0% <sup>17</sup>	Kern
UT ITC	33,5%	Kern
UvA Anton Pannekoek Institute for Astronomy (NOVA)	50,0% <sup>17</sup>	Kern
WUR Laboratory of Geo-information Science and Remote Sensing	57,6%	Kern
TNO Space & scientific instrumentation	75,0%	Kern
KNMI	30,6%	Kern
ASTRON	50,0%	Kern
SRON	100,0%	Kern
RU Department of Astrophysics, onderdeel van IMAPP (NOVA)	50,0% <sup>17</sup>	Kern
RUG DTPA	7,0%	Eerste schil
UL Faculteit der Rechtsgeleerdheid, International Institute of Air and Space Law	33,3%	Eerste schil
UU Earth Sciences	5,6%	Eerste schil
VU Geology and Geochemistry Cluster	20,0%	Eerste schil
VU Aardwetenschappen	24,6%	Eerste schil
Deltares	14,3%	Eerste schil
NLR	7,0%	Eerste schil
TNO Circulaire Economie en Milieu - Climate, Air & Sustainability	19,4%	Eerste schil
BBOS	14,3%	Eerste schil
RUG ENTEG	0,0%	Tweede schil
RUG ZIAM	0,0%	Tweede schil
TU Delft Civil Engineering and Geoscience, Watermanagement (IHE Delft)	8,0%	Tweede schil
TUD EWI	0,1%	Tweede schil
TUe_RU Center for Astronomical Instrumentation (CAI)	50,0%	Tweede schil
UU Physical Geography	8,6%	Tweede schil
UvA Chemie (HIMS)	4,0%	Tweede schil
UvA Institute of Physics	18,1%	Tweede schil
TNO Bouw Infra & Maritiem	0,0%	Tweede schil
TNO Energietransitie	1,4%	Tweede schil

<sup>17</sup> Volgens het ingevulde fiche zou dit percentage 100% zijn. Dit percentage lijkt echter gebaseerd te zijn op een ruimere definitie van ruimteonderzoek. Volgens de in deze evaluatie gehanteerde (enge) definitie van ruimteonderzoek is een meer accurate schatting 50% (gebaseerd op overleg tussen NSO, NWO en NOVA).

PBL	0,0%	Tweede schil
RIVM	0,2%	Tweede schil
CWI	3,9%	Tweede schil
NIOO	0,0%	Tweede schil
NIOZ	0,0%	Tweede schil
NLeSC	Niet ingevuld	Tweede schil
RU Department of High Energy Physics	Niet ingevuld	
RU Institute for Molecules and Materials	Niet ingevuld	
RUG Center for Isotope Research	Niet ingevuld	
RUG Van Swinderen Institute for Particle Physics and Gravity	Niet ingevuld	
TU Delft 3 ME	Niet ingevuld	
UL Centrum voor Milieuwetenschappen	Niet ingevuld	
UU IMAU	Niet ingevuld	
UvA Aardwetenschappen	Niet ingevuld	
VU IVM	Niet ingevuld	
WUR Environmental Research	Niet ingevuld	
TNO Defensie & Veiligheid	Niet ingevuld	
TNO Mobiliteit en logistiek	Niet ingevuld	
NVWA (BuRO)	Niet ingevuld	
AMOLF	Niet ingevuld	
Nikhef	Niet ingevuld	
JIVE	Niet ingevuld	
SENSE	Niet ingevuld	

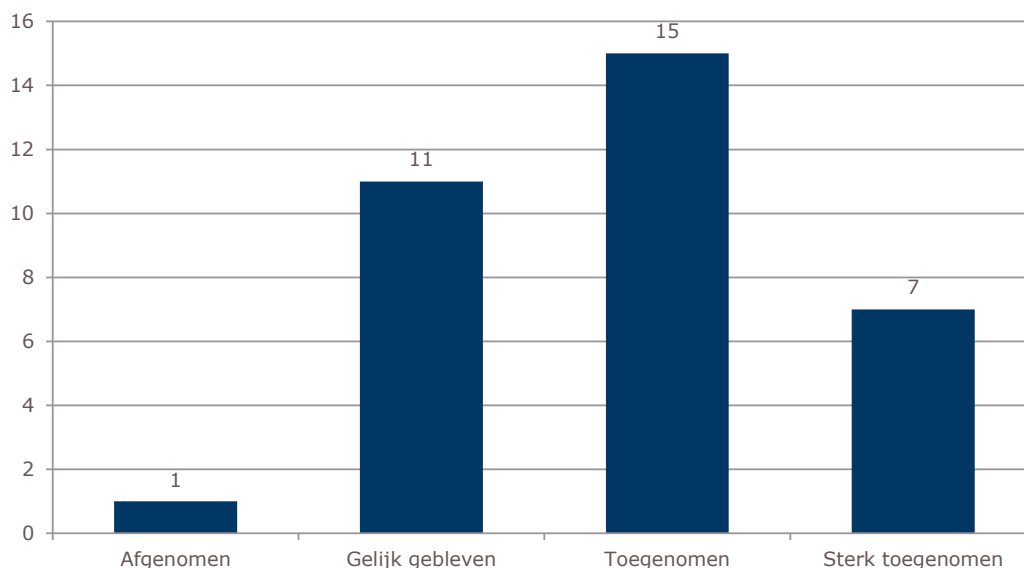
Om het aantal ruimteonderzoekers binnen de onderzoeksgroepen verder te illustreren, is in Figuur 1 het aantal FTE ruimteonderzoekers te zien van de onderzoeksgroepen die het fiche hebben ingevuld. Opgeteld gaat het om circa 1000 FTE bij 39 onderzoeksgroepen die het fiche hebben ingevuld. Bij de in totaal 56 (aangeschreven) onderzoeksgroepen zijn dus nog enkele tientallen FTE's meer aan ruimteonderzoekers werkzaam. Er zijn veertien onderzoeksgroepen met meer dan 20 FTE die zich bezighouden met ruimteonderzoek. In totaal gaat het bij deze 14 onderzoeksgroepen om circa 850 FTE. Uit het hieraan gerelateerde percentage ruimteonderzoekers ten opzichte van het totaal aantal onderzoekers blijkt dat er elf onderzoeksgroepen zijn waarbij het aandeel ruimteonderzoekers 50% of meer bedraagt.



Figuur 1: Aantal FTE ruimteonderzoekers (links) en percentage ruimteonderzoekers (rechts) van de onderzoeksgroepen met ingevuld fiche

Naast de huidige stand van zaken wat betreft het aantal ruimteonderzoekers binnen de onderzoeksgroepen, is er ook gekeken naar de ontwikkeling hiervan ten opzichte van 2014

(zie Figuur 2). Hieruit komt naar voren dat bij de meeste onderzoeksgroepen het aantal ruimteonderzoekers is toegenomen of gelijk gebleven. Bij een paar groepen is dit zelfs sterk toegenomen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de groepen TUD Astrodynamics and Space Missions, SRON en WUR Laboratory of Geo-information Science and Remote Sensing. Slechts bij een enkele onderzoeksgroep is het aantal ruimteonderzoekers afgenomen ten opzichte van 2014.



Figuur 2: Ontwikkeling aantal ruimteonderzoekers sinds 2014 van onderzoeksgroepen die het fiche hebben ingevuld (n=34<sup>18</sup>)

Onderzoeksfaciliteiten en instrumenten zijn onontbeerlijk voor ruimteonderzoek. Uit de fiches blijkt dat de onderzoeksgroepen gebruik maken van verschillende onderzoeksfaciliteiten en -instrumenten. Er wordt onder andere veel gebruik gemaakt van TROPOMI, OMI en SCIAMACHY. Verder worden ook de instrumenten XMM-Newton en Chandra genoemd. Veel van de faciliteiten worden beheerd door meerdere groepen. Een aantal van de onderzoeksfaciliteiten zoals opgenomen in onderstaande tabel vallen strikt genomen niet onder ruimteonderzoek zoals gedefinieerd in deze evaluatie. Ook het delen van faciliteiten met derden wordt veelvuldig gedaan binnen het ruimteonderzoek in Nederland. In Tabel 6 is te zien dat het Ruisdael Observatory door vijf van de bevroegde onderzoeksgroepen wordt beheerd. Bij het aantal partijen die het beheer van onderzoeksfaciliteiten of instrumenten delen, zijn alleen de onderzoeksgroepen meegenomen die het fiche hebben ingevuld. Uit de ingevulde fiches blijkt dat meer dan dertien faciliteiten met derden worden gedeeld. Faciliteiten die in sommige gevallen niet worden gedeeld betreffen onder andere gespecialiseerde faciliteiten en gespecialiseerde (meet)apparatuur.

<sup>18</sup> Sommige onderzoeksgroepen hebben een aantal vragen niet beantwoord.

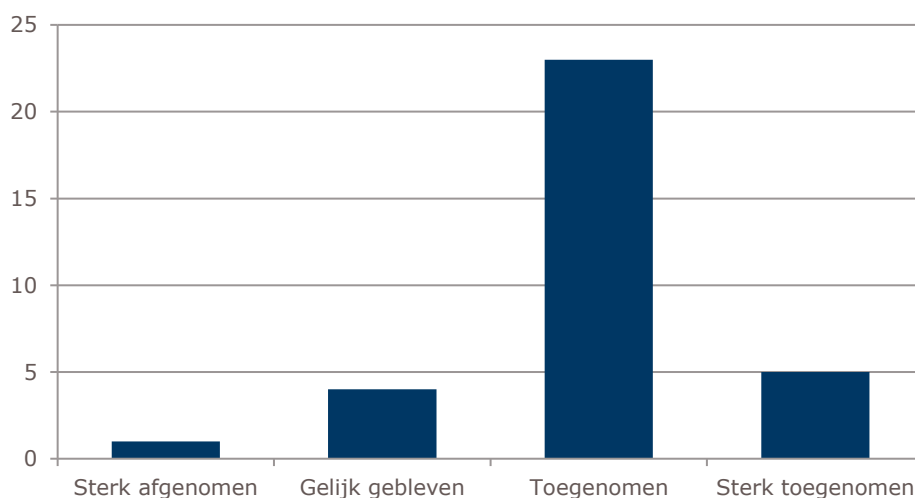
Tabel 6: Gedeeld beheer van onderzoeksfaciliteiten en instrumenten voor ruimteonderzoek door onderzoeksgroepen die het fiche hebben ingevuld

Onderzoeksfaciliteit/-instrument	Aantal partijen die beheer delen
Ruisdael	5
LOFAR	4
XMM-Newton	3
SCIAMACHY	3
NCLE	3
TROPOMI	2
GAIA	2
HST	2
HERSCHEL	2
Chandra	2
WSRT	2
GOME	2
OMI	2

Ruimteonderzoek is onderdeel van verschillende wetenschappelijke disciplines. Uit de ingevulde fiches blijkt dat veel onderzoeksgroepen actief zijn in meerdere wetenschappelijke hoofddisciplines.<sup>19</sup> Gemiddeld gezien zijn de onderzoeksgroepen actief in meer dan drie verschillende disciplines (met een mediaan van 3 disciplines). De interdisciplinariteit van het ruimteonderzoek is daarnaast sinds 2014 bij de meeste onderzoeksgroepen toegenomen (zie Figuur 3). Dit blijkt ook uit de gesprekken, waarin wordt aangegeven dat vooral bij aardobservatie de interdisciplinariteit sterk is toegenomen. Disciplines die volgens respondenten belangrijker worden zijn onder andere chemie, cyber law en ruimterecht. Daarnaast worden zaken gerelateerd aan data belangrijker, waaronder AI en machine learning. Onderzoekers gebruiken steeds meer verschillende typen databronnen, waarvan satellietdata er één is.

<sup>19</sup> Deze hoofddisciplines zijn: aardwetenschappen, natuurkunde, scheikunde, life sciences & biology, engineering, informatica, humanities en multidisciplinaire disciplines (milieuwetenschappen, nanotechnologie, planeetwetenschap).





Figuur 3: Ontwikkeling interdisciplinariteit sinds 2014 volgens de onderzoeksgroepen die het fiche hebben ingevuld

### 2.3 Positionering binnen het ruimteonderzoek

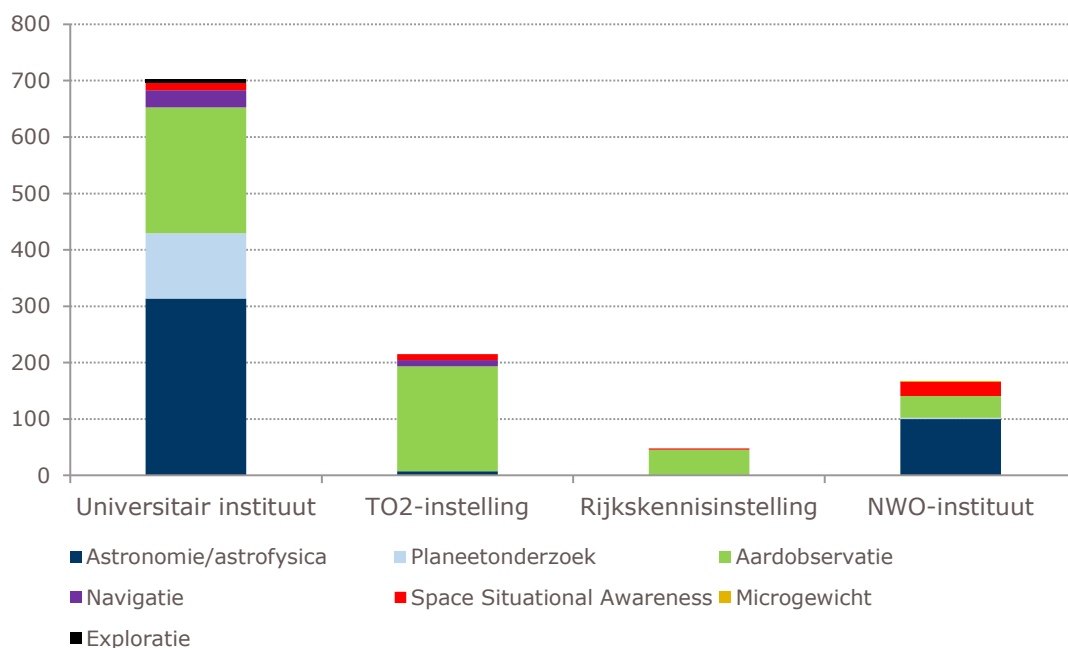
De zeven thema's van het ruimteonderzoek in Nederland zijn gebaseerd op indelingen zoals die momenteel door ESA, EC, NSO en NWO worden gehanteerd. De thema's zijn Astronomie/Astrofysica, Planeetonderzoek, Aardobservatie, Navigatie, Exploratie, Microgewicht en Space Situational Awareness (SSA). Een verdere toelichting van de thema's van het ruimteonderzoek is uiteengezet in Bijlage 1.<sup>20</sup> In de gesprekken met de onderzoeksgroepen is aangegeven dat de thema's het Nederlandse ruimteonderzoek over het algemeen goed dekken.

Uit de positionering van de onderzoeksgroepen op de zeven thema's komt naar voren dat er veel activiteit plaatsvindt op de thema's Astronomie/Astrofysica en Aardobservatie (Figuur 4). Onderzoeksgroepen hebben aangegeven hoe hun onderzoeksinspanningen zijn verdeeld over de 7 thema's. Op basis hiervan is per type onderzoeksgroep het aantal FTE ruimteonderzoekers per thema weergegeven. Bij de interviews wordt genoemd dat Nederland een sterke reputatie heeft op het gebied van Astronomie/Astrofysica en dat Aardobservatie het afgelopen decennium is gegroeid en belangrijker is geworden. Dit komt mede door de toegenomen maatschappelijke relevantie van klimaatonderzoek. Daarbij komt dat aardobservatie een zeer breed thema is met verschillende focusgebieden zoals atmosfeer-, oceaan- en landonderzoek. Echter, het is ook mogelijk dat bepaalde onderzoeksinspanningen door de groepen onder aardobservatie zijn geschaard, die bij de bibliometrische analyse onder de achtste categorie algemene technologie vallen. Planeetonderzoek wordt in de gesprekken ook genoemd als een opkomend (maar nog relatief bescheiden) thema, door het onderzoek naar planeten in ons zonnestelsel en naar exoplaneten.<sup>21</sup> Uit de ingevulde fiches blijkt dat vooral de universitaire instituten zich bezighouden met planeetonderzoek. SSA is ook een relatief klein thema in Nederland, maar is relevanter geworden door onder andere

<sup>20</sup> In overleg met de opdrachtgever is een 8<sup>e</sup> thema Algemene Technologie toegevoegd ten behoeve van de bibliometrische analyses. Dit wordt verder toegelicht in hoofdstuk 3.

<sup>21</sup> Er bestaat een zekere overlap tussen planeetonderzoek en astronomie, te weten exoplaneten, en tussen planeetonderzoek en aardwetenschappen, te weten ons zonnestelsel. Zie in dit verband ook het position paper Planetary Sciences & Exploration Position Paper dat in 2019 ten behoeve van het NSO Ruimtevaartadvies door een groep van planetair onderzoekers op verzoek van NSO is opgesteld.

meer activiteit en objecten in de ruimte.<sup>22</sup> Op dit thema wordt bij alle typen onderzoeksgroepen in bescheiden mate onderzoek gedaan, zo komt naar voren uit onderstaande figuur. Navigatie wordt gezien als een belangrijk, maar niet als een dominant thema binnen het ruimteonderzoek in Nederland. Een ander opkomend onderzoeksgebied in Nederland bij universiteiten, bedrijven en bijvoorbeeld TNO is het onderwerp laser-datacommunicatie van en naar satellieten. Dit past bij het generieke beeld van het toenemende belang van data science. Met laser-satellietcommunicatie kan de benodigde data sneller, veiliger en met compactere communicatie-terminals naar de data scientists worden gebracht. Dit is van toepassing op de grote thema's van Astronomie/Astrofysica en Aardobservatie, maar ook bijvoorbeeld op SSA, navigatie en exploratie.



Figuur 4: Verdeling inspanningen op 7 thema's uitgedrukt in aantal FTE per type (van onderzoeksgroepen die het fiche hebben ingevuld)

Vooraf bij de TO2-instituten en de Rijkskennisinstellingen lijkt Aardobservatie het grootste thema waarbinnen onderzoek wordt gedaan. Bij universitaire onderzoeksgroepen en NWO-instituten is meer spreiding te zien in het ruimteonderzoek wat betreft de onderverdeling in de zeven thema's. Bij beide typen onderzoeksgroepen wordt er ook onderzoek gedaan op het gebied van Astronomie/Astrofysica. Daarnaast houden deze instituten zich ook bezig met planeetonderzoek (vooral universitaire instellingen).

De onderzoeksgroepen geven aan dat hun inspanningen bij de meeste thema's waarin zij actief zijn op het gebied van ruimteonderzoek zijn toegenomen (of in sommige gevallen gelijk gebleven) sinds 2014. Vooral het onderzoek op het gebied van SSA is verhoudingsgewijs sterk toegenomen, maar ook bij de andere thema's is er in de meeste gevallen een toename van de onderzoeksactiviteiten. De zeven thema's kennen op een aantal vlakken overlap binnen het onderzoek dat plaatsvindt bij de bevroegde onderzoeksgroepen. De overlap tussen thema's zit vooral op het technologische vlak. Voor deze overlap is bij de bibliometrische analyse grotendeels gecorrigeerd door een achtste categorie 'Algemene Technologie' te onderscheiden naast de zeven thema's. Interdisciplinariteit ontstaat ook door

<sup>22</sup> Zie Bijlage 1 voor een beschrijving van de thema's, waaronder SSA.

bijvoorbeeld het NWA Origins Center en het PEPSci programma van NWO, doordat onderzoekers hierbij vanuit verschillende thema's samenwerken. Aardobservatie wordt vaak genoemd als een thema dat veel overlap vertoont met andere thema's zoals met planeetonderzoek, maar ook met vrijwel alle andere thema's. Verder komt uit de ingevulde fiches naar voren dat planeetonderzoek overlapt met astronomie/astrofysica vanwege het onderzoek naar exoplaneten en enigszins met SSA, navigatie en exploratie. SSA overlapt zowel met astronomie/astrofysica als met aardobservatie. De overlap zou een indicatie kunnen zijn dat er interdisciplinair wordt samengewerkt, maar het zou ook kunnen dat de indeling in de zeven thema's niet onderscheidend genoeg is en er daardoor inherente overlap is.

Buiten de zeven thema's van het ruimteonderzoek in Nederland die zijn aangehouden in dit onderzoek, geven een aantal onderzoeksgroepen aan dat het ruimteonderzoek ook onder enkele overige thema's valt. Andere genoemde thema's zijn instrumentatie, big data, het ontwikkelen van nieuwe ruimtevaartmissies en ruimterecht. Hierbij kan ruimterecht eerder worden gezien als zijnde verbonden aan de andere thema's (en de juridische aspecten daarbinnen of als een aspect dat breed van belang is bij ruimteonderzoek en ruimer ruimtevaart), in plaats van als een apart thema. Verder wordt laser-satcom genoemd als additioneel thema waarbinnen op dit moment actief onderzoek wordt gedaan. In de bibliometrische analyse is laser-satcom ook meegenomen in de lijst met steekwoorden voor de afbakening van publicaties (zie ook Bijlage 3).

Nederland doet het internationaal gezien goed op het gebied van ruimteonderzoek, net als op andere onderzoeksgebieden. De meeste gesprekspartners geven ook aan dat het Nederlandse ruimteonderzoek van hoge kwaliteit is en dat Nederland op het gebied van astronomie en aardobservatie behoort tot de wereldtop. Astronomie/Astrofysica is een groot en breed thema waarbij Nederland een sterke reputatie heeft. Bij aardobservatie behoort Nederland tot de wereldtop.<sup>23</sup> Sterke deelgebieden binnen de aardobservatie zijn atmosfeeronderzoek en hierbinnen onderzoek naar luchtkwaliteit en klimaat, maar ook andere deelgebieden zoals bijvoorbeeld cryosfeeronderzoek en hydrologie. Voor het onderzoek binnen aardobservatie zijn instrumenten als SCIAMACHY, OMI en TROPOMI zeer belangrijk. Ook is Nederland sterk in het ontwikkelen van instrumenten en algoritmes (bijv. nieuwe CubeSats) en in het gebruiken van satellietdata, waarbij het Satellietdataportaal ook een belangrijke rol speelt.

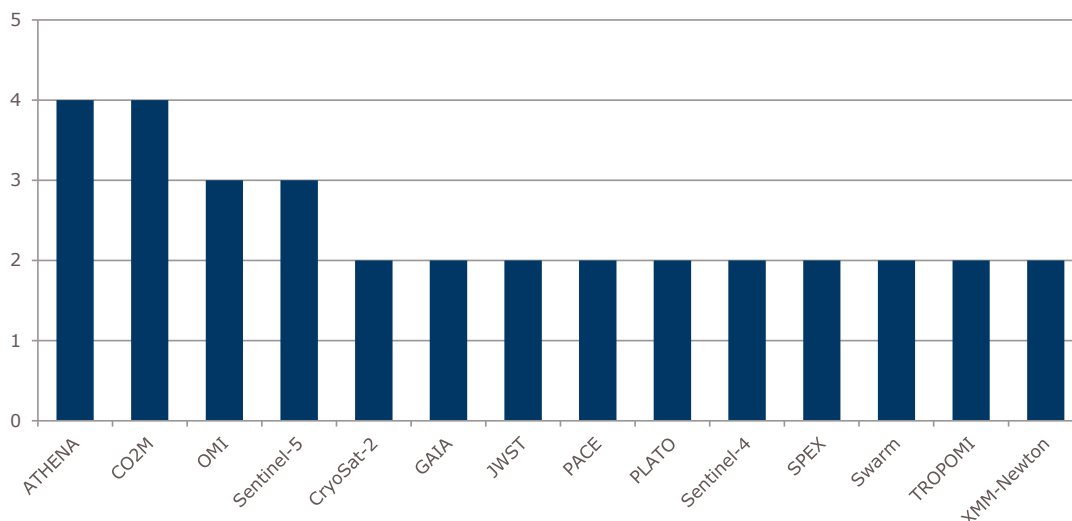
De ruimteonderzoeksmisssies/instrumenten waaraan de onderzoeksgroepen deelnemen, zijn weergegeven in Figuur 5. De deelnames aan misssies/instrumenten illustreren de inhoudelijke aandachtsgebieden waar Nederland op inzet. Misssies die vaak worden genoemd zijn ATHENA, CO2M, Sentinel-5, PACE en GAIA. Verder worden payloads genoemd, zoals TROPOMI en SPEXOne.

De ESA-missie GAIA is gelanceerd in 2013 (thema astronomie). Deze ruimtetelescoop heeft bijgedragen aan wetenschappelijke doorbraken, onder andere op het gebied van de evolutie van de Melkweg. Nederland heeft bijgedragen aan de verwerking en exploitatie van de data. Het door Nederland ontwikkelde instrument TROPOMI, als payload aan boord van de ESA-satelliet Sentinel-5P, die in 2017 is gelanceerd (zie ook paragraaf 1.1) is momenteel wereldwijd het belangrijkste satellietinstrument voor de chemische samenstelling van de atmosfeer. PACE is een NASA-missie op het gebied van aardobservatie die gepland staat voor 2023, om verschillende klimaatfactoren te meten. Nederland draagt bij aan deze missie middels het instrument SPEXOne. Dit instrument kan met grote nauwkeurigheid aerosol eigenschappen in de aardatmosfeer meten, voor onderzoek naar klimaat en luchtkwaliteit. De ATHENA-missie, die gepland staat voor 2028, is een missie op het gebied van astrofysica. Met de röntgentelescoop in de ruimte wordt het hete en hoogenergetische universum

---

<sup>23</sup> NSO (2019). NSO-advies voor het ruimtevaartbeleid vanaf 2020.

bestudeerd. Nederland draagt hieraan bij middels één van de twee instrumenten aan boord, de X-IFU (een camera annex spectrograaf) en de spiegels geleverd door het bedrijf cosine.



Figuur 5: Aantal onderzoeksgroepen (met ingevuld fiche) betrokken bij ruimteonderzoeksmisssies/instrumenten (payload)

## 2.4 Financiering Nederlandse onderzoeksgroepen

### 2.4.1 Geldstromen onderzoeksgroepen

De onderzoeksgroepen hebben in de ingevulde fiches aangegeven hoe de herkomst van hun budget ruwweg is verdeeld. In Tabel 7 is deze verdeling weergegeven per type onderzoeksgroep. Voor universiteiten is de eerste geldstroom de basisfinanciering (of structurele financiering). De basisfinanciering van NWO-instituten is formeel de tweede geldstroom. Bij de universitaire instituten en Rijkskennisinstellingen komt het grootste gedeelte van het budget van de eerste geldstroom. Bij NWO-instituten is dit zoals verwacht de tweede geldstroom. Ook bij de universitaire instituten komt een aanzienlijk gedeelte van het budget van de tweede geldstroom. Voor TO2-instellingen en NWO-instituten speelt de derde geldstroom een belangrijke rol. Van de derde geldstroom komt een aanzienlijk gedeelte bij EC en ESA vandaan.

Tabel 7: Verdeling budget onderzoeksgroepen (met ingevuld fiche) in geldstromen (n=34)

Type onderzoeksgroep	N	1e geldstroom	2e geldstroom	3e geldstroom
NWO-instituut	5	0%	65%	35%
Rijkskennisinstelling	3	64%	15%	21%
TO2-instelling	6	18%	9%	74%
Universitair instituut	20	50%	30%	21%

### 2.4.2 Internationale vergelijking

De enige internationaal geharmoniseerde variabele die betrekking heeft op onderzoekfinanciering en waarvoor een inhoudelijke (thematische) opsplitsing beschikbaar is, zijn de

overheidsbudgetten voor R&D (GBOARD<sup>24</sup>). Ruimteonderzoek, '*Exploration and exploitation of space*' (hierna: SPACE), is een van de thema's die wordt onderscheiden.<sup>25</sup> Als proxy<sup>26</sup> hebben we het aandeel SPACE in het totale GBOARD genomen.<sup>27</sup>

Het aandeel SPACE voor Nederland in 2019 bedroeg 2,3%. Qua rangorde neemt Nederland daarmee binnen de EU een positie in de middenmoot in. De verschillen met landen aan de top van de rangorde, zoals Duitsland, Japan, Spanje, de VS, België en met name Italië en Frankrijk zijn echter groot. Gemiddeld ligt het Europese aandeel (EU28) bijna een factor twee hoger dan het Nederlandse aandeel.

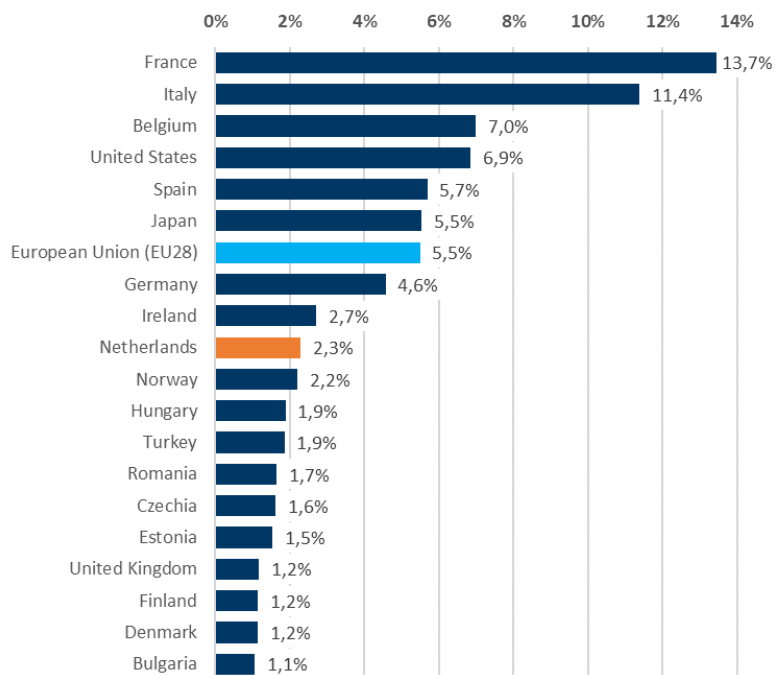
---

<sup>24</sup> Government budget appropriations or outlays for research and development. GBOARD include all appropriations (government spending) given to R&D in central (or federal) government budgets. Provincial (or State) government posts are only included if the contribution is significant. Local government funds are excluded. Een kanttekening bij de GBOARD-data is dat het gaat om begrotingsdata en niet om gerealiseerde uitgaven. Ook zijn GBOARD data gevoelig voor verschillen tussen landen in de wijze waarop ze worden gelabeld naar socio-economic objective. GBOARD is onderdeel van de familie van R&D indicatoren beschreven in: OECD (2015), Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities, OECD Publishing, Paris. De in deze paragraaf gebruikte data is afkomstig van Eurostat.

<sup>25</sup> De andere thema's zijn: Agriculture; Defence; Education; Energy; Environment; Exploration and exploitation of the Earth; Health; Industrial Production and technology; Political and social systems, structures and processes; Transport, telecommunication and other infrastructures; General advancement of knowledge: R&D financed from General University Funds (GUF); General advancement of knowledge: R&D financed from other sources than GUF.

<sup>26</sup> Een proxy is een variabele die nauwe correlatie kent met de variabele die men eigenlijk wil meten. Als laatstgenoemde niet meetbaar is, kan men een proxy gebruiken ter benadering van de variabele.

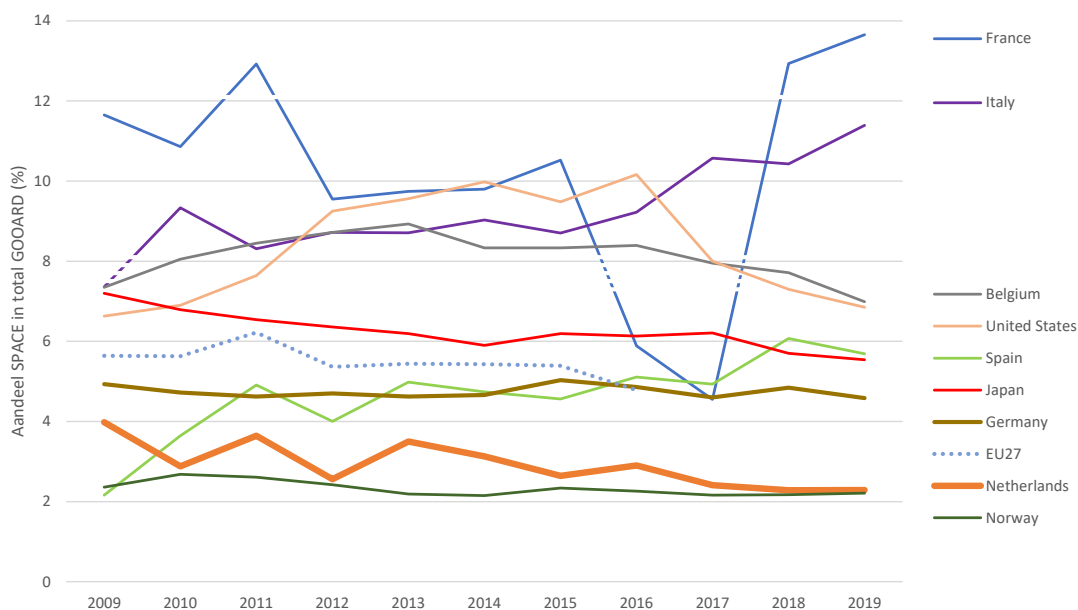
<sup>27</sup> In de categorie "exploration and exploitation of the Earth" zit mogelijk ook een component ruimteonderzoek. Echter, deze categorie is gevoeliger voor verschillen in labelling tussen landen en is daarom niet meegenomen.



Figuur 6. Aandeel R&D bestedingen van de overheid gericht op exploratie en exploitatie van Space in selectie van EU-landen en de EU (% total GBOARD), 2019. Bron: Eurostat, bewerking Dialogic

De laatste tien jaar (2009-2019) is het aandeel SPACE in Nederland gedaald met gemiddeld 0,17% per jaar. Alleen de trend in Japan laat een soortgelijke ontwikkeling zien (-0,17%).

In België, de VS, Duitsland en in alle Scandinavische landen laten over de periode 2009-2019 weliswaar lichte schommelingen zijn, maar bevinden zich in 2019 ongeveer op eenzelfde niveau als in 2009.. Dit geldt ook voor de EU als geheel (+0,03%). De percentages in Frankrijk (+0,20%), Ierland (0,11%) en Hongarije (+0,19%) laten een jaarlijkse groei zien, in Italië (+0,40%) en Spanje (+0,35%) een sterke groei.



Figuur 7. Aandeel R&D bestedingen van de overheid gericht op exploratie en exploitatie van Space (% total GBOARD), selectie van landen, 2009-2019. Bron: Eurostat, bewerking Dialogic

Samengevat: in het afgelopen decennium is Nederland wat betreft het aandeel SPACE in het totale GBOARD steeds meer achtergebleven ten opzichte van de meeste ontwikkelde landen en bijvoorbeeld ook ten opzichte van het gemiddelde van de EU.

Ook noemen gesprekspartners dat men het gevoel heeft dat in Nederland het budget voor ruimteonderzoek relatief lager is dan in andere landen. Om leidend te blijven in bepaalde niches moeten er voldoende middelen zijn. Als voorbeeld wordt aardobservatie op het gebied van metingen van luchtkwaliteit, milieu en klimaat aangehaald. Deze thema's zijn op dit moment actueel (in relatie tot bijvoorbeeld het Parijsakkoord, de Europese Green Deal en de Clean Air Agreement).

### 2.4.3 Horizon 2020

Om de deelname (en het succes) van Nederlandse onderzoeksinstituten in ruimte-gerelateerd onderzoek in het Europese onderzoeksprogramma (H2020) in kaart te brengen is de CORDIS-database van onderzoeksprojecten onderzocht met een set van relevante generieke steekwoorden.<sup>28</sup> Dit resulteerde in 399 projecten. Deze zijn door handmatige selectie teruggebracht tot 202 relevante projecten. Samen waren deze projecten goed voor €95 miljoen bijdrage vanuit Europa. Hieronder vallen alle 86 projecten binnen het H2020 thema 'Space'. Het percentage ruimte-gerelateerd onderzoek ligt voor andere H2020 thema's uiteraard veel lager. Omdat het hier vaak om veel grotere budgetten gaat dan bij 'Space' is de Europese bijdrage in absolute termen echter vaak substantieel. Zo is de bijdrage afkomstig uit grants van de European Research Council bijna twee keer zo groot als die voor 'Space'.

Tabel 8. Overzicht van ruimte-gerelateerd onderzoek in H2020 (bron: EC/RVO, bewerkt door Dialogic)

H2020 theme	Pro- jecten #	EC contri- bution € mln.	of which space related		Slaag- kans* %	Re- tour* %
			%	€ mln.		
European Research Council (grants)	21	717,7	5,6%	40,2	18%	9%
Space	86	21,8	100,0%	21,8	20%	4%
Research Infrastructures	48	244,5	7,7%	18,9	42%	14%
Marie Skłodowska-Curie (fellowships)	34	343,6	2,9%	9,9	15%	8%
Climate action & Environment	9	144,1	2,1%	3,0	24%	8%
Twinning of research institutions	2	3,8	13,1%	0,5	8%	4%
ICT	1	397,4	0,1%	0,4	15%	8%
Smart, green and integrated transport	1	225,5	0,1%	0,2	34%	6%
	202	2098,4	4,5%	94,9	17%	8%

Opvallend is het lage retourpercentage van het specifieke thema 'Space' (4%). Nederland heeft in het specifieke Space programma van H2020 een lager retour % dan in andere programma's van H2020. Echter, de slaagkans is niet navenant slecht. Dit duidt er op dat het niet aan de kwaliteit van de Nederlandse onderzoekers ligt, maar aan Nederlandse onderzoekers/bedrijven die (te) selectief zijn of te selectief worden uitgenodigd, hun pijlen liever

<sup>28</sup> Deze steekwoorden worden (tussen haakjes het aantal hits): space\*(135), remote\*(82), atmos\*(79), astro\*(76), satellite\*(54), sloar\*(32), cosmo\*(26), grav\*(25), dark\*(25), galax\*(24), star\*(20), planet\*(11), troposphere\*(4).

richten op andere programma's van EC en ESA, waar men een hogere verwachting op honorering heeft.

In de onderstaande tabel is de onderverdeling gegeven naar type instelling, met een split naar het aandeel van het thema 'Space'. Voor universiteiten is het belang van de bijdrage vanuit dit thema relatief gering. Inkomsten uit ERC-grants (€33,3 miljoen) en Marie Skłodowska-Curie fellowships (€9,1 miljoen) zijn in absolute termen groter. Ook voor de NWO-onderzoeksinstituten zijn de ERC-grants van groot belang (€6,9 miljoen). De belangrijkste bron voor hen vanuit H2020 is echter 'Research infrastructures' (€9,7 miljoen). Voor de onderzoeksinfrastructuren GEANT, ILT en JIVE komt de volledige bijdrage uit dit thema (€5,4 miljoen)



Tabel 9. Overzicht van bijdragen vanuit ruimte-gerelateerd onderzoek in H2020, naar type instelling (in miljoenen euro's) (bron: EC/RVO)

	Totaal	SPACE
Universiteiten	50,2	4,0
NWO-instellingen	17,9	0,7
Bedrijven	13,5	11,0
TO2 <sup>29</sup>	8,1	6,5
GEANT, ILT, JIVE	5,4	0
Totaal	95,1 <sup>30</sup>	22,2

Binnen de universiteiten is het space-gerelateerde onderzoek meestal geconcentreerd binnen een instituut of onderzoeksgroep. Uitzonderingen zijn de UvA (naast het Anton Pannekoek Astronomical Institute heeft ook het Institute of Physics een substantieel aandeel – €4,7 miljoen) en de TU Delft. De bijdragen uit Europa zijn daar verdeeld over een relatief groot aantal verschillende onderzoeksgroepen.

Tabel 10. Overzicht van bijdragen vanuit ruimte-gerelateerd onderzoek in H2020 aan Nederlandse universiteiten, in miljoenen euro's (bron: EC/RVO, bewerkt door Dialogic)

	Totaal	Grootste ontvanger	
		Aandeel	Instituut
Universiteit Leiden	12,0	10,4	Leiden Observatory
Universiteit van Amsterdam	10,7	6,0	Anton Pannekoek
Rijksuniversiteit Groningen	7,0	6,5	Kapteyn
Radboud Universiteit	7,0	7,0	Dept. Astrophysics
Universiteit Twente	4,2	2,7	ITC
Technische Universiteit Delft	4,0		meerdere <sup>31</sup>
Wageningen University	2,1	1,4	Dept. Environmental Science
Universiteit Utrecht	1,5	1,5	Institute for Marine and Atmospheric research
Vrije Universiteit	1,1	1,0	Faculty of Earth and Life Sciences
Technische Universiteit Eindhoven	0,4		
HZ University of Applied Sciences	0,2		

Het is belangrijk te vermelden dat in het nieuwe Horizon Europa Programma het budget voor thema Space opgegaan in het budget voor Digital, Industry en Space en dat het sub-budget voor Space nog niet is gecommuniceerd, maar waarschijnlijk kleiner is geworden. Wel is er overeenstemming bereikt over het nieuw opgezette EU Space programme waarin de verdere ontwikkeling van de bestaande programma's als GALILEO/EGNOS (satellietnavigatie) en Copernicus (aardobservatie) worden ondergebracht evenals nieuwe initiatieven op het gebied

<sup>29</sup> KNMI is in deze categorie meegeteld.

<sup>30</sup> Totaal wijkt door afronding enigszins af van de vorige tabel.

<sup>31</sup> Onder andere Fac. Civil Engineering (€1,1 miljoen), Geoscience and Remote Sensing group (€0,5 miljoen), Fac. Architecture and Built Environment (€0,4 miljoen) en Dept. Space Engineering (€0,3 miljoen).

van satellietcommunicatie (GOVSATCOM) en SSA. Voor het EU Space programme is een budget beschikbaar van €13,2 miljard.<sup>32</sup> Bij Copernicus, Galileo en SSA wordt gewerkt in partnerships. Als Nederland daarbij een rol wil spelen, is het van belang om in een vroeg stadium betrokken te raken om zo een rol van betekenis te kunnen spelen in deze partnerships. Het zijn zeer grootschalige investeringen in de ruimte-infrastructuur. Dergelijke ruimte-infrastructuren kunnen alleen gebouwd worden op basis van inzichten uit ruimteonderzoek en zijn op hun beurt ook weer een belangrijke voorwaarde voor ruimteonderzoek.

#### 2.4.4 ESA

ESA is als multinationale samenwerkingsorganisatie onder meer opgezet om voor alle lidstaten samen te voorzien in de behoefte aan ruimte-infrastructuur. ESA is geen financieringsorganisatie en hoort daarom eigenlijk niet thuis in deze paragraaf over financiering van ruimteonderzoek. Desalniettemin lijkt het op deze plaats goed om naar de ESA-context van het ruimteonderzoek te kijken. Conform de afgesproken ESA-systematiek draagt Nederland naar rato van het aandeel van het BBP van de ESA-lidstaten bij aan de kosten van de verplichte Basisactiviteiten en het Wetenschap-programma, namelijk 4,64%.<sup>33</sup> De bijdrage aan het Aardobservatieprogramma, met een belangrijke wetenschappelijke component, wordt door elke lidstaat zelf bepaald. De inschrijving van Nederland in SPACE19+ (de ESA Ministerial Council 2019) bedraagt €265 miljoen, oftewel 2,2% van het totale bedrag (€12,171 miljard). Landen met de grootste ESA-inschrijvingen zijn Duitsland (€2,89 miljard), Frankrijk (€2,347 miljard) en Italië (€2,059 miljard). Landen die minder bijdragen dan Nederland zijn bijvoorbeeld Noorwegen (€234 miljoen) en Zweden (€190 miljoen).<sup>33</sup> ESA is een belangrijke speler in het ruimtevaart kennis- en innovatiesysteem in Europa en dus ook in Nederland. Het European Space Research and Technology Centre (ESTEC), de grootste ESA-vestiging, bevindt zich in Noordwijk. Het wordt door ESA zelf aangeduid als het technische hart van ESA.<sup>34</sup> ESTEC speelt een essentiële rol bij de ontwikkeling en het management van ESA-missies. Met de bijdragen van alle lidstaten voorziet ESA in de ontwikkeling en bouw van de ruimte-infrastructuur. Daarvoor geeft ESA voor een groot deel van het beschikbare budget opdrachten aan bedrijven, ook de grote en kleinere bedrijven in het Nederlandse ruimtevaartcluster. Bij missies in het Science Programme worden instrumenten en payloads vooral nationaal gefinancierd.<sup>35</sup> Zo heeft de Nederlandse overheid direct of via SRON, KNMI en universiteiten geïnvesteerd in bijvoorbeeld OMI, Tropomi en SPEXOne. HIFI(Herschell) en de Nederlandse bijdrage aan Athena<sup>36</sup> zijn met middelen afkomstig van OCW buiten ESA om gefinancierd (via 2e geldstroom NWO). Van dergelijke nationale inspanningen hebben in de eerste plaats de onderzoeksgroepen zoals beschreven in deze evaluatie geprofiteerd. Het samenspel tussen bijdragen aan ESA, inschrijvingen, uitnodigingen voor missies en extra investeringen via nationaal beleid (via regelingen als de Kennisnetwerkenregeling (KNW), het instrumentenontwikkelingsprogram (IOP) en Programma Gebruikersondersteuning ruimteonderzoek (GO-regeling)) is een balanceeract. Het is daarbij voor een relatief klein land als Nederland essentieel om op specifieke kerntechnologieën een positie te verwerven waardoor Nederland een vanzelfsprekende samenwerkingspartner wordt. Deze prioritering kan

---

<sup>32</sup> Zie [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_20\\_2449](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_2449).

<sup>33</sup> Kamerstuk 24 446, nr. 70.

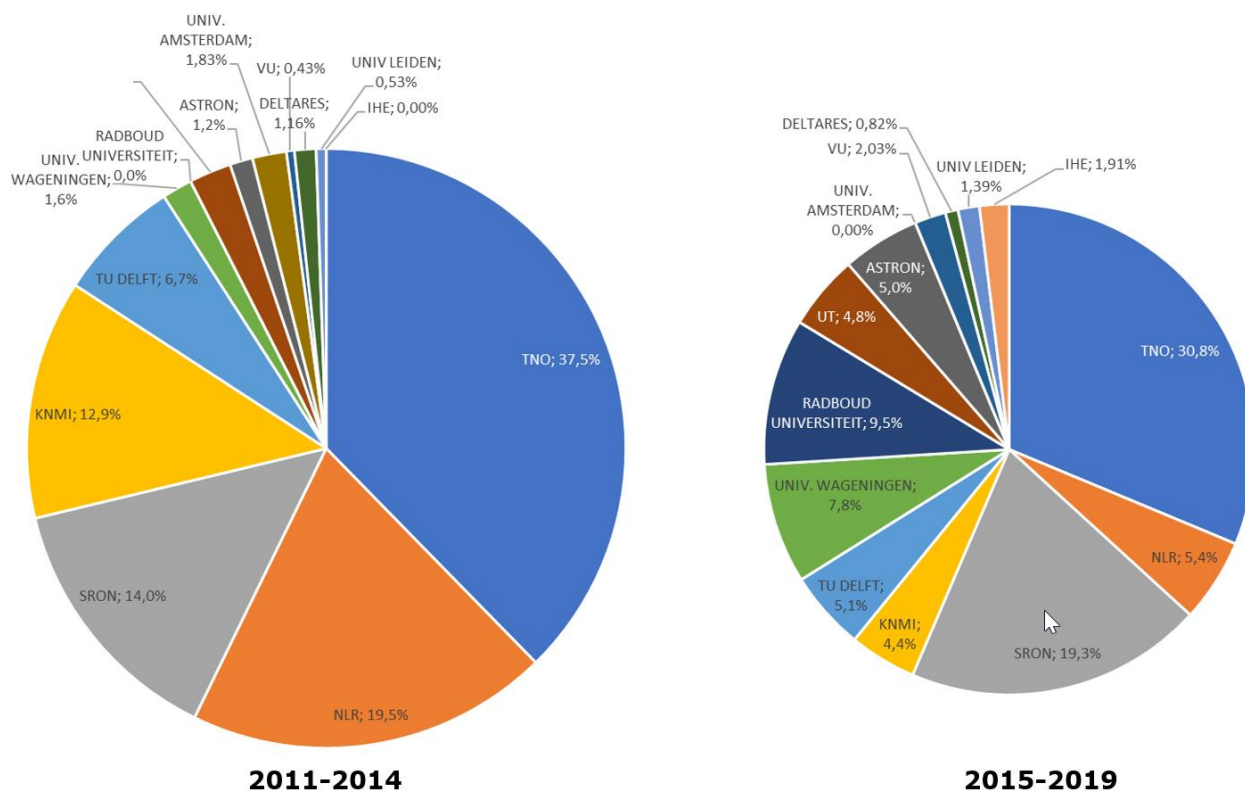
<sup>34</sup> Zie [https://www.esa.int/About\\_Us/ESTEC/ESTEC\\_European\\_Space\\_Research\\_and\\_Technology\\_Centre](https://www.esa.int/About_Us/ESTEC/ESTEC_European_Space_Research_and_Technology_Centre).

<sup>35</sup> Zie <https://www.spaceoffice.nl/nl/over-nso/esa-en-eu/esa/science/>.

<sup>36</sup> Te noemen is nog dat voor Athena de spiegels door het Nederlandse bedrijf cosine in opdracht van ESA worden geproduceerd.

bijdragen aan strategische voorsortering op deelname aan belangrijke missies in het ruimteonderzoek en draagt bij aan de leverage op de investeringen op nationaal niveau.

Nederlandse kennisinstellingen doen soms ook werk in opdracht van ESA. In Figuur 8 is weergegeven voor hoeveel geld de Nederlandse kennisinstellingen voor de periodes 2011-2014 en 2015-2019 opdrachten voor ESA uitvoerden. Voor de periode 2011-2015 (5 jr.) is hiermee in totaal €38 miljoen en voor de periode 2016-2019 (4 jr.) bijna €21 miljoen gemoeid. Over een periode van 9 jaar gaat het om een contractomvang van €59 miljoen. Het gaat hierbij om contracten waarbij Nederlandse kennisinstellingen rechtstreeks een contract hebben met ESA (lead rol) of als subcontractor in een consortium (support rol). Vergelijken we de twee periodes dan valt op dat de gemiddelde contractomvang op jaarbasis in de tweede periode aanzienlijk lager is (van bijna €8 miljoen op jaarbasis naar ruim €4 miljoen op jaarbasis) dan de eerste. Verder valt vooral op dat het relatieve aandeel van de universiteiten in de tweede periode groter is dan in de eerste periode en het aandeel van vooral NLR en KNMI aanzienlijk is afgenomen. Dit kan te maken hebben met het feit dat projecten en missies per organisatie niet gelijkmatig over de tijd zijn verspreid. Ook speelt zeer waarschijnlijk mee dat wanneer Nederlandse organisaties reeds betrokken zijn bij nieuwe missies, er minder capaciteit is voor ander onderzoek en de verwerving daarvan.



Figuur 8: Aan Nederlandse partners toegekende ESA-budgetten (2011-2019).<sup>37</sup> Bron: NSO (ESA), bewerking door Dialogic

Nederland draagt ook bij (via KNMI en dus via IenW) aan EUMETSAT. Uit de meest recente begroting blijkt dat de jaarlijkse bijdrage aan EUMETSAT de komende 5 jaren tussen de €11-21 miljoen op jaarbasis bedraagt. Hoewel EUMETSAT een operationele organisatie is en geen wetenschappelijke doelstelling heeft, is de data wel bruikbaar voor wetenschappelijk

<sup>37</sup> Oppervlakte van de cirkel geeft de totale omvang van het budget aan voor de betreffende periode.

onderzoek.<sup>38</sup> EUMETSAT kent ook zogenaamde Satellite Application Facilities (SAFs). Dit zijn onderzoek- en expertisecentra en ze leveren satellietdiensten. Feitelijk wordt in deze centra een link gelegd tussen de meest recente wetenschappelijke inzichten en EUMETSAT. Een deel van de Nederlandse bijdrage komt dus ook via die weg ten goede aan ruimteonderzoek. Van de acht SAF's wordt er momenteel geen enkele door Nederland gecoördineerd.<sup>39</sup> Wel is KNMI bijvoorbeeld betrokken bij de OSI (Ocean and Sea Ice), AC (Atmospheric Composition Monitoring) en CM (Climate Monitoring) SAFs.

## 2.5 Samenwerkingspartners

Belangrijke nationale samenwerkingspartners van de onderzoeksgroepen binnen het ruimteonderzoek die worden genoemd, zijn onder andere SRON, KNMI, ASTRON en TUD (zie Tabel 11). Zo benoemen 16 onderzoeksgroepen dat SRON een belangrijke partner is en voor 10 onderzoeksgroepen zijn KNMI en ASTRON belangrijke samenwerkingspartners. Internationaal gezien is zoals verwacht ESA een belangrijke samenwerkingspartner binnen het ruimteonderzoek, waarbij ook NASA vaak wordt genoemd.<sup>40</sup> ESA wordt beschouwd als een belangrijke en bepalende speler en is van belang voor de technologieontwikkeling en katalysator. Andere internationale partners binnen het ruimteonderzoek zijn bedrijven als Airbus, ISIS, Hyperion en Thales. Er wordt veel samengewerkt met internationale bedrijven in het ruimteonderzoek. Instrumenten zoals TROPOMI leiden tot externe partijen die graag willen samenwerken. Een voorbeeld hiervan is de NGO Environmental Defense Fund uit de VS. Andere bedrijven waarmee wordt samengewerkt zijn onder andere cosine, S&T en ATG, zo komt naar voren uit de interviews. Er vindt ook interactie plaats tussen bedrijven en onderzoeksgroepen op het gebied van bijvoorbeeld stages voor studenten en gastcolleges, zo blijkt uit de interviews. De belangrijkste gebruikers van het Nederlandse ruimteonderzoek overlappen met de samenwerkingspartners. Veel genoemde gebruikers zijn bijvoorbeeld overheden, ESA, ASTRON, Airbus, KNMI, RIVM, SRON, TUD en NOVA.

Uit de gesprekken komt naar voren dat de kracht van Nederland in het ruimteonderzoek onder andere bestaat uit korte afstanden tussen de belangrijke partijen die essentieel zijn om een wetenschappelijke ruimtevaartmissie te realiseren. Doordat Nederland een klein land is, kunnen deze partijen goed samenwerken (wetenschappers, specialisten op het gebied van instrumenten als SRON en TNO, en industrie). Door de korte lijnen is het mogelijk om in Nederland in samenwerking een missie te realiseren.

Verder blijkt uit de interviews dat de samenwerking op een paar vlakken nog beter zou kunnen, bijvoorbeeld tussen kernspelers en spelers in de eerste schil aan de ene kant en spelers in de tweede schil. Er wordt aangegeven dat er te weinig interactie is tussen de upstream kernspelers met de andere groepen, wat te wijten zou kunnen zijn aan gelimiteerde financiering. Een aanbeveling uit de interviews is dat beleid voor de lange termijn meer samenwerkingen (tussen upstream en downstream) moet financieren in plaats van individuele activiteiten. Daarnaast zou er meer kunnen worden samengewerkt binnen de onderzoek- en innovatieketen. Het is van belang dat er nationaal goed wordt samengewerkt.

---

<sup>38</sup> Ook zijn de nieuwste wetenschappelijke inzichten van belang bij uitdenken en specificeren van nieuwe missies.

<sup>39</sup> Zie <https://www.eumetsat.int/satellite-application-facilities-safs>.

<sup>40</sup> Daarnaast bestaan samenwerkingen met andere space agencies in landen zoals Japan, China, Zuid-Korea en met met meer specifieke organisaties zoals bijvoorbeeld NOAA, het National Oceanic and Atmospheric Administration in de VS.

Voor deze samenwerkingen zijn meer programma's en middelen nodig, zo wordt in verschillende van de interviews aangegeven.

Tabel 11: Genoemde nationale en internationale samenwerkingspartners binnen ruimteonderzoek (onderzoeksgroepen die het fiche hebben ingevuld)

Nationaal	Aantal keer genoemd als samenwerkingspartner	Internationaal	Aantal keer genoemd als samenwerkingspartner
SRON	16	ESA	16
KNMI	10	NASA	9
ASTRON	10	ECMWF	4
TU Delft	9	ESO	3
NOVA-instituten	9	SKA	3
TNO	7	DLR	3
UU	7	CNSA	2
NSO	6	JPL	2
VU	7	JAXA	2
Nikhef	5	EUMETSAT	2

## 2.6 Bijdrage aan brede maatschappelijke thema's

In verschillende brede maatschappelijke agenda's wordt herkend dat ruimtevaart(technologie) een waardevolle bijdrage kan leveren. In sommige agenda's komt ruimtevaart en ruimtetechnologie expliciet terug. Dit geldt bijvoorbeeld voor de missie *Veiligheid in en vanuit de ruimte* die in het kader van het missiegedreven topsectoren- en innovatiebeleid geformuleerd is onder het thema *Veiligheid*. Ook bij de thema's *Energietransitie en duurzaamheid* en *Landbouw, water en voedsel* wordt ruimtevaart(technologie) aangehaald, vooral in relatie tot het gebruik van satellietdata (bijv. monitoren van emissies, landgebruik, water- en luchtkwaliteit, etc.). Ruimtevaart(technologie) komt dan ook terug in de bijhorende Kennis- en Innovatieagenda's (bijv. remote sensing in de KIA Landbouw, Water en Voedsel; satellitnavigatie en aardobservatie in de KIA Toekomstbestendige mobiliteitssystemen, en binnen de KIA Veiligheid zijn op het Meerjarige Missiegedreven Innovatie Programma Veiligheid in en vanuit de ruimte vijf deelprogramma's geformuleerd op vooral SSA en lasersatcom). Daarnaast omvat de Kennis- en Innovatieagenda Sleuteltechnologieën één meerjarenplan dat zich expliciet richt op ruimtevaart (MJP 49). Dit meerjarenplan raakt alle verschillende clusters van sleuteltechnologieën<sup>41</sup>. Ook maakt ruimtevaart onderdeel uit van de routes van de Nationale Wetenschapsagenda. Twee van deze routes hebben betrekking op astronomie (*Route 2: Bouwstenen van materie en fundamenten van ruimte en tijd* en *Route 15: De oorsprong van het leven – op aarde en in het heelal*) en veel van de andere routes bevatten een aardobservatiecomponent. Voorbeelden daarvan zijn *route 3: Circulaire economie en grondstoffenefficiëntie* en *route 9: Kwaliteit van de omgeving*.

Door middel van de fiches<sup>42</sup> en interviews is onderzocht op welke brede maatschappelijke thema's de bestudeerde onderzoeksgroepen ook daadwerkelijk aansluiten. Hierbij is gekeken

<sup>41</sup> Chemical technologies, digital technologies, engineering and fabrication technologies, photonics and light technologies, quantum technologies, life science technologies, nanotechnologies.

<sup>42</sup> Hierbij is gekeken naar de gevalideerde fiches.

naar de maatschappelijke missies, de TKI's van de negen topsectoren, de sleuteltechnologieën en NWA-routes.

In de gesprekken kwam naar voren dat het Nederlands ruimteonderzoek vooral bijdraagt aan de maatschappelijke missies Energietransitie en Duurzaamheid en aan Veiligheid. Dit sluit aan bij wat we zien in de fiches. Hieruit blijkt dat de onderzoeksgroepen voornamelijk bijdragen aan de missies *1: Het terugdringen van de nationale broeikasuitstoot* (thema *Energietransitie en duurzaamheid*) (9 onderzoeksgroepen), gevolgd door *12: Veiligheid in en vanuit de ruimte* (thema *Veiligheid*) (6 onderzoeksgroepen). Ook het thema *Landbouw, water en voedsel* komt vaak terug. Binnen dit thema wordt door de onderzoeksgroepen aan verschillende missies bijgedragen, namelijk: *3. Kringlooplandbouw*, *4. Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie*, *5. Klimaatbestendig landelijk en stedelijk gebied* en *8. Nederland is en blijft de best beschermde en leefbare delta ter wereld*.

De onderzoeksgroepen zijn aangesloten bij de verschillende TKI's van de topsectoren. Met uitzondering van de TKI Creatieve Industrie worden alle TKI's minimaal één keer genoemd in de gevalideerde fiches. Onderzoeksgroepen dragen vooral bij aan de TKI High Tech Systems en Materialen (13 onderzoeksgroepen), gevolgd door Agri & Food (8 onderzoeksgroepen) en Energie & Industrie (8 onderzoeksgroepen). Ook Life Sciences and Health, Watertechnologie, en Wind op Zee worden relatief vaak genoemd (5-6 keer).

In relatie tot de sleuteltechnologieën dragen de onderzoeksgroepen logischerwijs vooral bij aan meerjarenplan *49: Ruimtevaart (gebruik van de ruimte)* uit de KIA Sleuteltechnologieën (11 onderzoeksgroepen). Ook geven veel onderzoeksgroepen aan bij te dragen aan de meerjarenplannen *71: Meet- en detectietechnologie* (10 onderzoeksgroepen) en *84: Dutch contribution to International Big Science Facilities* (9 onderzoeksgroepen). Andere MJP's waaraan bijgedragen wordt zijn *22: Integrated Photonics*, *44: Nationaal Artificiële Intelligentie (AI) Onderzoekscentrum*, *45: Nederland Werkt in Slimme Ketens aan Artificiële Intelligentie (AI)* en *4: High tech to feed the world* (4-6 onderzoeksgroepen). De overige MJP's worden minder vaak of niet genoemd.

Aan de twee NWA-routes die relateren aan astronomie wordt door de onderzoeksgroepen het vaakst bijgedragen (*Route 15: De oorsprong van het leven – op aarde en in het heelal*: 12 onderzoeksgroepen; *Route 2: Bouwstenen van materie en fundamenten van ruimte en tijd*: 9 onderzoeksgroepen), naast de *route 13: Meten en detecteren* (9 onderzoeksgroepen). Dit beeld komt eveneens naar voren in de interviews. Ook *route 9: Kwaliteit van de omgeving* en wordt veel genoemd (8 onderzoeksgroepen). Andere routes waar meerdere onderzoeksgroepen aan bijdragen zijn *25: Waardecreatie door big data*, *5: Energietransitie*, *21: Smart, liveable cities*, *1: De blauwe route* en *23: Sustainable Development Goals* voor inclusieve mondiale ontwikkeling (4-6 onderzoeksgroepen). Andere routes worden minder of niet genoemd.

De universitaire onderzoeksgroepen zijn over het algemeen iets beter aangesloten op de NWA-routes en minder op de maatschappelijke missies. Dit is gezien het wetenschappelijke karakter van de routes en het meer toepassingsgerichte karakter van de missies goed te verklaren. De overige onderzoeksgroepen (TO2-instellingen, NWO-instituten, etc.) dragen over het algemeen vaker bij aan de TKI's en juist in mindere mate aan de NWA-routes.

Kijkend naar de kernspelers van het ruimteonderzoek zien we dat deze onderzoeksgroepen ook vooral bijdragen aan de vaakst voorkomende missies, TKI's, meerjarenplannen en NWA-routes die hierboven aangeduid zijn.

In de fiches is de onderzoeksgroepen ook gevraagd aan te geven op welke wijze ze voornamelijk bijdragen aan de maatschappelijke thema's. Hieruit blijkt dat zij het vaakst bijdragen door het uitvoeren van onderzoek, gevolgd door het indienen van onderzoeksvoorstellen en

het bijdragen door agendavorming. Het komt minder vaak voor dat onderzoeksgroepen bijdragen door het ter beschikking stellen van onderzoeksfaciliteiten. Een in cash bijdrage wordt slechts een enkele keer genoemd.

Enkele interviewrespondenten geven aan dat het opvallend is dat *Klimaat* niet als aparte NWA-route is aangemerkt, maar onderdeel is van diverse routes. Dit leidt ertoe dat onderzoeksgroepen moeten zoeken waar zij het beste bij aan kunnen haken en dat de succeskans geringer is (klimaat is niet de kern van de route). Ook wordt in relatie tot de NWA-routes genoemd dat er sowieso sprake is van een kleine slaagkans door te hoge competitie en een gering budget. Voor sommige onderzoeksgroepen is dit een reden om niet in te dienen op de routes.



# 3 Resultaten bibliometrische analyses: verdichtingspunten in het Nederlandse ruimteonderzoek

## 3.1 Toelichting bibliometrische analyses

In het vorige hoofdstuk zijn afzonderlijke onderzoeksgroepen beschreven. In dit hoofdstuk worden op basis van bibliometrische analyses overzichten gegeven van het landschap van het ruimteonderzoek in Nederland als geheel. Deze overzichten hebben respectievelijk betrekking op (1) thematische specialisatie en inhoudelijke samenhang tussen de verschillende thema's, en op (2) samenwerkingen tussen onderzoekers (c.q. onderzoeksinstituten).

De data onderliggend aan de grafieken is verzameld binnen de SciVal omgeving van Elsevier. Elsevier heeft alle publicaties die zij hebben geïndexeerd onderverdeeld in zogenaamde Topics en ongeveer 1.500 Topic Clusters. Deze clustering is gebaseerd op *bibliographic coupling* – dezelfde techniek die wij zelf ook hebben toegepast (zie hieronder).<sup>43</sup>

In nauw overleg met NSO zijn vervolgens 73 Topic Clusters geselecteerd die gerelateerd zijn aan een van de zeven beleidsthema's of aan een restcategorie 'Algemene technologie'. Per Topic Cluster hebben wij internationale gegevens opgehaald op nationaal niveau (de Nederlandse output) en de Nederlandse gegevens opgehaald op het niveau van organisaties (de output per universiteit, bedrijf of andere instelling). Deze selectie van Topic Clusters resulteerde in een dataset van 35.639 publicaties over de periode 2014-2019 waarvan ten minste één auteur verbonden is aan een Nederlandse organisatie.<sup>44</sup>

Deze set omvat alle publicaties die betrekking hebben op ruimteonderzoek. In de definitie binnen het Nederlandse ruimtevaartbeleid wordt echter een engere afbakening gehanteerd, namelijk ruimteonderzoek dat *in of vanuit* de ruimte wordt gedaan. Onderzoek over de ruimte *vanaf de aarde* wordt in deze afbakening niet meegenomen. Omdat deze enge afbakening niet direct op basis van de brondata van Elsevier kan worden gemaakt is er in nauw overleg met de Klankbordgroep een gedetailleerde lijst van steekwoorden opgesteld.<sup>45</sup> Vervolgens is alle meta-data van de publicaties onderzocht op de aanwezigheid van deze steekwoorden.<sup>46</sup> De enge afbakening resulteerde in een set van 11.792 publicaties.

In de onderstaande grafiek is een overzicht gegeven van de verdeling van de 11.969 publicaties over de acht (7+1) thema's en de geselecteerde Topic Clusters binnen elk van deze thema's. De figuur laat zien dat er, althans in termen van omvang, grote verschillen bestaan tussen de verschillende thema's. Dat komt deels doordat aan het ene thema veel meer Topic Clusters zijn toegewezen dan aan het andere thema. De twee grootste thema's Aardobservatie [3] en Astronomie/Astrofysica [1] zijn samen goed voor driekwart van alle publicaties.

---

<sup>43</sup> Voor meer informatie over SciVal topics en topic clusters zie <https://www.elsevier.com/solutions/sci-val/releases/topic-prominence-in-science>.

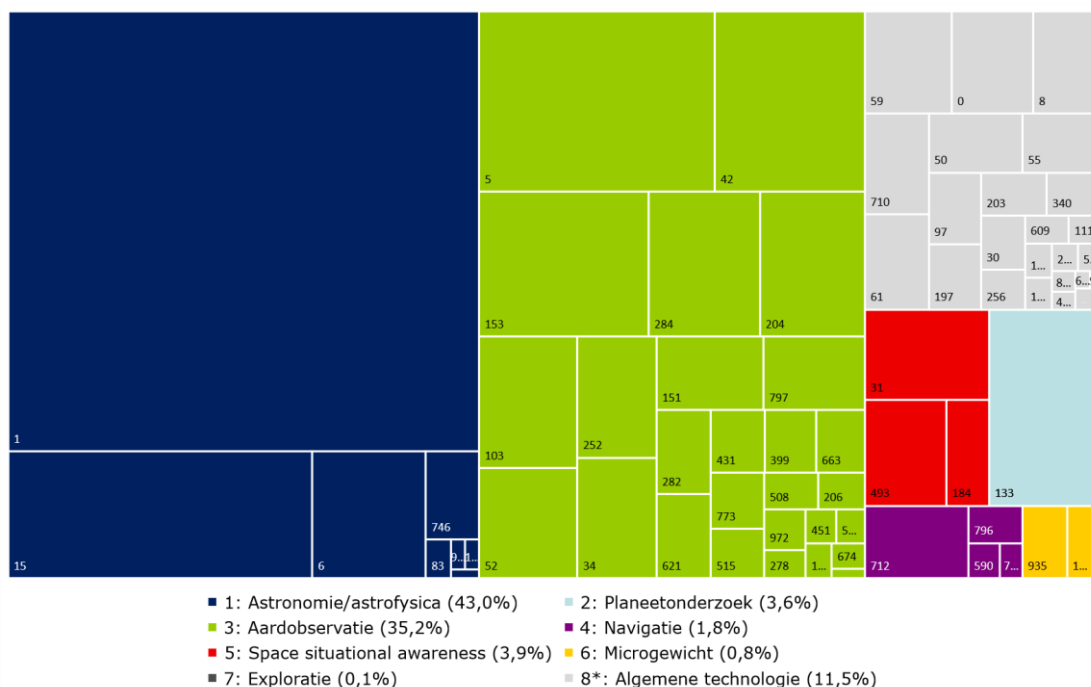
<sup>44</sup> Van deze publicaties zijn ook alle uitgaande citaties bekend. Dit in een veel grotere dataset (>300.000 publicaties) dan de oorspronkelijke dataset. In de co-citatie analyse (zie hierna, §3.3) zijn deze uitgaande citaties gebruikt om de relaties tussen de nodes te berekenen.

<sup>45</sup> De volledige lijst is opgenomen in bijlage 3.

<sup>46</sup> Meta-data zijn de titels, door de auteurs toegevoegde keywords, en de abstracts. De integrale tekst van de artikelen wordt niet in bulk beschikbaar gesteld door Elsevier.



De resterende thema's (exclusief de restcategorie Algemene technologie [8]) dekken samen 10% van de artikelen af.



Figuur 9. Verdeling aantal Nederlandse publicaties in/vanuit de ruimte naar beleidsthema's en onderliggende Topic Clusters (nadere afbakening, 'in/vanaf de ruimte', n=11.969)

### 3.2 Internationale positie Nederland

Omdat Elsevier geen scores (FWCI, FWVI) beschikbaar heeft gesteld op het niveau van individuele publicaties kan er voor het bepalen van de positie van het onderzoek in Nederland ten opzichte van het buitenland geen gebruik worden gemaakt van de enge afbakening. De cijfers en overzichten in deze paragraaf zijn daarom gebaseerd op de ruimere set van 35.639 publicaties (dat wil zeggen alle publicaties die betrekking hebben op ruimteonderzoek). Wel kan er per beleidsthema en per Topic Cluster het aandeel van de publicaties in de enge afbakening (alleen 'in/vanaf de ruimte') worden gegeven.<sup>47</sup> Voor thema 2 (Planeetonderzoek) geldt bijvoorbeeld dat 53% van alle publicaties in de ruime set ook in de enge afbakening vallen.

Als benchmark voor de relatieve positie van Nederland ten opzichte van het buitenland hebben we de scores genomen van de top-20 van meest publicerende landen per Topic Cluster. Als maat voor de impact van een veld/Topic Cluster is de *Field-Weighted Citation Impact* (FWCI) gebruikt, en als maat voor de zichtbaarheid de *Field Weighted View Impact*.<sup>48</sup>

In Tabel 12 is een overzicht gegeven op het geaggregeerde niveau van thema's.<sup>49</sup> De tabel laat voor elk van de acht thema's de positie van Nederland zien ten opzichte van de leidende

<sup>47</sup> Dit is de vierde kolom in Tabel 12.

<sup>48</sup> Deze indicatoren geven aan hoe vaak artikelen geciteerd c.q. bekeken worden ten opzichte van een bepaalde verwachtingswaarde. Daarbij is het gemiddelde van alle landen op 1,0 gesteld. In de berekening wordt rekening gehouden met verschillen in publicatie- en citatiegedrag per discipline en per type output (artikel, conferentiebijdrage, etc.).

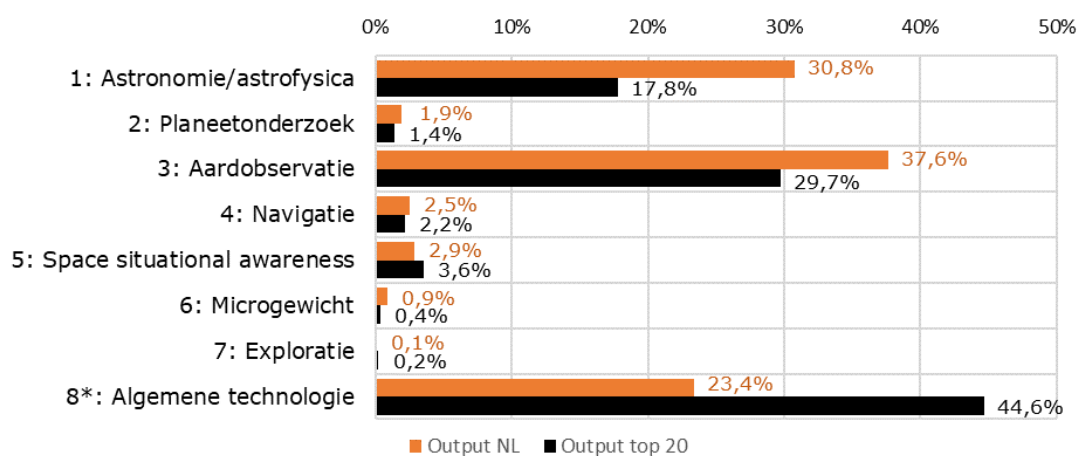
<sup>49</sup> In bijlage 4 is een gedetailleerde lijst opgenomen met scores op het niveau van individuele Topic Clusters.

landen (top 20) op drie dimensies: Output (het aantal peer-reviewed publicaties), Impact (het aantal ontvangen referenties naar die publicaties) en Zichtbaarheid (het aantal keren dat er naar deze publicaties is gekeken – in termen van views via Scopus). Voor de laatste twee dimensies is er gecorrigeerd voor het gemiddelde van de onderliggende wetenschappelijke velden (respectievelijk *Field Weighted Citation Impact* en *Field Weighted View Impact*).

Tabel 12. Positie Nederlands ruimteonderzoek ten opzichte van top-20 landen in termen van output, impact en zichtbaarheid (ruime afbakening, n=35.639)

Thema	OUTPUT				CITATION IMPACT (FWCI)				VISIBILITY (FWVI)	
	NL	% NL top 20	Rank	% NL in/from space	NL	rank	Top 20	No.1	NL	Top 20
1: Astronomie/astrofysica	10.961	2,86%	12	40%	2,35	4	1,87	2,49	2,27	2,31
2: Planeetonderzoek	689	2,24%	12	53%	1,46	6	1,20	1,59	1,48	1,18
3: Aardobservatie	13.402	2,41%	14	27%	2,00	3	1,43	2,16	1,75	1,37
4: Navigatie	893	2,22%	14	21%	1,26	8	1,15	1,85	0,94	0,87
5: Space situational awareness	1.019	1,68%	17	39%	1,28	5	0,96	1,56	1,02	0,86
6: Microgewicht	306	3,73%	8	28%	0,73	6	0,64	1,24	0,78	0,86
7: Exploratie	47	0,90%	14	23%	1,23	5	0,92	1,97	0,95	0,75
8*: Algemene technologie	8.322	1,13%	23	14%	1,51	8	1,68	3,20	1,57	1,39
totalen/gemiddeldes	35.639	2,23%	15	29%	1,93	5	1,59	2,64	1,81	1,51

In vergelijking tot de output van de 20 grootste landen is in Nederland in de afgelopen jaren relatief zeer veel gepubliceerd in Astronomie/astrofysica [1], Aardobservatie [3] en Microgewicht [6]. In de restcategorie Algemene technologie [8] is juist relatief zeer weinig gepubliceerd.



Figuur 10. Relatieve verdeling van het aantal publicaties over de 7+1 thema's, Nederland vs. top-20 landen (ruime afbakening, n=35.639)

Over het algemeen is de citatie-impact van Nederlandse publicaties relatief hoog ten opzichte van de output (dit is een constatering die in de breedte voor het merendeel van de Nederlandse wetenschap geldt).<sup>50</sup> In de grote thema's Astronomie/Astrofysica (-6%) en Aardobservatie (-8%) is het verschil met de hoogste score het kleinst. Dat geldt ook voor het kleinere thema Planeetonderzoek (-9%). Bij het derde grote thema Algemene technologie (-113%) is het verschil groot. De score van Nederland (1,51) ligt hier dan ook onder die

<sup>50</sup> Zie <https://www.rathenau.nl/nl/wetenschap-cijfers/output/publicaties/ontwikkeling-van-het-wetenschappelijk-onderzoeksprofiel-van>.

van het gemiddelde van de benchmarklanden (1,68).<sup>51</sup> Deze lage score is te verklaren uit het feit dat het hier om een heel grote restcategorie gaat. Omdat Nederland een relatief klein land is moet het zich specialiseren in een beperkt aantal Topic Clusters. Daardoor gaat de gemiddelde score voor het bovenliggende thema naar beneden. Het feit dat Nederland in de twee andere grote thema's (Astronomie/Astrofysica en Aardobservatie) wél een hoog gemiddelde heeft, betekent dat Nederland in deze twee thema's zondermeer een sterke positie heeft.

De scores voor Nederland op zichtbaarheid – hier gemeten als het gecorrigeerde aantal *views* (FWCI) – hangen, logischerwijs, nauw samen met de scores op impact.<sup>52</sup> De meest geciteerde papers worden over het algemeen ook het meest bekeken.

In de onderstaande tabellen is gedetailleerd 'hittebeeld' gegeven van de 'hotspots' van onderzoeksactiviteiten per thema, telkens voor een vaste selectie van organisaties (universiteiten of kennisinstellingen). De waarden in de tabel zijn gebaseerd op het aantal artikelen dat de betreffende organisatie volgens de enge afbakening heeft gepubliceerd x de impactscore (FWCI) voor de organisatie voor hetzelfde Topic Cluster. Hier is gerekend met de FWCI op basis van de ruime afbakening (dus alle publicaties op het terrein van ruimteonderzoek) – in de enge afbakening is de FWCI op basis van de brondata niet te berekenen.<sup>53</sup>

Binnen thema 1 (Astronomie/Astrofysica) is verreweg de meeste activiteit op Topic Cluster #1 (*Galaxies; Stars; Planets*), zie Figuur 11. In het kleine thema 2 (Planeetonderzoek) valt slechts één Topic Cluster, #133 (*Asteroids; Comets; Mars*). De hotspots zijn daar min of meer gelijk verspreid over een groot aantal organisaties.

1 Astronomie/Astrofysica		AMOLF	CWI	TUD	Deltares	TU/e	LU	NIKHEF	RIVM	ASTRON	NIOO	TNO	PBL	RU	NIOZ	KNMI	SRON	UvA	RUG	UT	UU	VU	WUR
1	Galaxies; Stars; Planets																						
6	Decay; Quarks; Neutrinos																						
15	Gravitation; Black Holes (Astronomy); Models																						
83	Nuclei; Neutrons; Reaction																						
746	X Ray Optics; Phase Contrast; Synchrotron Radiation																						
948	Physics; Universe; Entropy																						
1221	Relativity; Gravitation; Physics																						
1349	Relativity; Particles; Space																						
2 Planeetonderzoek		AMOLF	CWI	TUD	Deltares	TU/e	LU	NIKHEF	RIVM	ASTRON	NIOO	TNO	PBL	RU	NIOZ	KNMI	SRON	UvA	RUG	UT	UU	VU	WUR
133	Asteroids; Comets; Mars																						

Figuur 11: Heatmap van onderzoeksactiviteiten (Output x Impact) voor de thema's Astronomie/Astrofysica en Planeetonderzoek

<sup>51</sup> De verschillen met de hoogste score voor de resterende NSO-thema's zijn: Navigatie (-47%); Space situational awareness (-22%); Microgewicht (-70%); Exploratie (-60%).

<sup>52</sup>  $R^2=0,90$ .

<sup>53</sup> De reden daarvoor is dat Elsevier voor bepaalde indicatoren (FWCI, FWVI) alleen gegevens op geaggregeerd niveau beschikbaar heeft gesteld (organisatie x Topic Cluster).

In het grote thema 3 (Aardobservatie) is de meeste activiteit op Topic Cluster #5 (*Climate models, Model, Rainfall*); op Topic Cluster #42 (*Aerosols; Air Quality; Atmospheric Aerosols*); en in mindere mate op Topic Cluster #153 (*Remote Sensing; Image Classification; Satellite Imagery*), zie Figuur 12. Het illustreert dat de AO meer is dan atmosfeeronderzoek.

3 Aardobservatie		AMOLF	CWI	TUD	Deltares	TU/e	LU	NIKHEF	RIVM	ASTRON	NIOO	TNO	PBL	RU	NIOZ	KNMI	SRON	UVA	RUG	UT	UU	VU	WUR
5	Climate Models; Model; Rainfall																						
34	Reynolds Number; Boundary Layers; Large Eddy Simulation																						
42	Aerosols; Air Quality; Atmospheric Aerosols																						
52	Oceans; Lakes; Dissolved Organic Matter																						
103	Glaciers; Holocene; Glacial Geology																						
151	Forests; Landscapes; Plants																						
153	Remote Sensing; Image Classification; Satellite Imagery																						
204	Synthetic Aperture Radar; Radar; Radar Imaging																						
206	Ozonization; Degradation; Wastewater Treatment																						
252	Tides; Ocean; Ocean Currents																						
278	Fires; Forests; Wildfires																						
282	Aquifers; Groundwater Resources; Groundwater Flow																						
284	Waves; Water Waves; Wave Energy Conversion																						
399	Corals; Coral Reefs; Cnidaria																						
431	Particulate Matter; Air Pollution; Air Pollutants																						
451	Red Spectroscopy; Raman Spectrum Analysis; Infrared Devices																						
508	Activity; Ground Penetrating Radar Systems; Geological Surveys																						
515	Geographic Information Systems; Maps; Models																						
558	Land Use; Models; Rural Areas																						
621	Farmers; Smallholder; Farms																						
663	Forest; Deforestation; Conservation																						
674	Wetlands; Desertification; Plateau																						
773	Anthropic Foraminifera; Planktonic Foraminifera; Paleoceanography																						
797	GRACE; Gravitation; Geodetic Satellites																						
972	Grammetry; Unmanned Aerial Vehicles (UAV); Remote Sensing																						
1091	Rivers; Sediments; Lakes																						
1361	Oil Spills; Hazardous Materials Spills; Marine Pollution																						

Figuur 12: Heatmap van onderzoeksactiviteiten (Output x Impact) voor het thema Aardobservatie

In thema 4 (Navigatie) is slechts één duidelijke hotspot: in Topic Cluster #712 (*Global Positioning System; Satellites; Navigation*), zie Figuur 13. Dat geldt ook voor de Topic Cluster #31 (*Magnetic Fields; Ionospheres; Sunspots*); #493 (*Orbits; Spacecraft; Satellites*) en #184 (*Discharge; Plasma Applications; Plasma Jets*). Thema 5 (Space Situational Awareness) in relatief wat sterker gespreid, maar kent een ook een duidelijke concentratie aan TUD en iets mindere mate TU/e.

4 Navigatie		AMOLF	CWI	TUD	Deltares	TU/e	LU	NIKHEF	RIVM	ASTRON	NIOO	TNO	PBL	RU	NIOZ	KNMI	SRON	UVA	RUG	UT	UU	VU	WUR
590	Atomic Clocks; Rubidium; Frequency Standards																						
712	Global Positioning System; Satellites; Navigation																						
763	Airports; Air Transportation; Aircraft																						
796	Communication; Light Emitting Diodes; Atmospheric Turbulence																						
5 Space situational awareness		AMOLF	CWI	TUD	Deltares	TU/e	LU	NIKHEF	RIVM	ASTRON	NIOO	TNO	PBL	RU	NIOZ	KNMI	SRON	UVA	RUG	UT	UU	VU	WUR
31	Magnetic Fields; Ionospheres; Sunspots																						
184	Discharge; Plasma Applications; Plasma Jets																						
493	Orbits; Spacecraft; Satellites																						

Figuur 13: Heatmap van onderzoeksactiviteiten (Output x Impact) voor de thema's Navigatie en Space Situational Awareness

In de kleine thema's 6 (Microgewicht) en 7 (Exploratie) is overall weinig activiteit, zie Figuur 14. Er zijn daar geen duidelijke hotspots.

6 Microgewicht		AMOLF	CWI	TUD	Delftares	TU/e	LU	NIKHEF	RIVM	ASTRON	NIOO	TNO	PBL	RU	NIOZ	KNMI	SRON	UvA	RUG	UT	JU	VU	WUR
935	Weightlessness; Space Flight; Manned Space Flight																						
1303	Space; International Cooperation; Space Research																						
7 Exploratie		AMOLF	CWI	TUD	Delftares	TU/e	LU	NIKHEF	RIVM	ASTRON	NIOO	TNO	PBL	RU	NIOZ	KNMI	SRON	UvA	RUG	UT	JU	VU	WUR
854	Hypersonic Aerodynamics; Hypersonic Flow; Reentry																						

Figuur 14: Heatmap van onderzoeksactiviteiten (Output x Impact) voor de thema's Microgewicht en Exploratie

In het grote thema 8 (Algemene technologie) zijn er hotspots van activiteiten in Topic Clusters #0 (Algorithms; Computer Vision; Models) en #8 (Photocatalysis; Photocatalysts; Solar Cells), en in mindere mate op #710 (Adaptive Optics; Telescopes; Wavefronts), #59 (Semiconductor Quantum Dots & Wells; Gallium Arsenide), #61 (Organic Light Emitting Diodes (OLED); Solar Cells; Conjugated Polymers) en #50 (Superconductors (Materials); Superconducting Materials; Superconductivity), zie Figuur 15.

8 Algemene technologie		AMOLF	CWI	TUD	Delftares	TU/e	LU	NIKHEF	RIVM	ASTRON	NIOO	TNO	PBL	RU	NIOZ	KNMI	SRON	UvA	RUG	UT	JU	VU	WUR
0	Algorithms; Computer Vision; Models																						
8	Photocatalysis; Photocatalysts; Solar Cells																						
30	Secondary Batteries; Electric Batteries; Lithium Alloys																						
50	Superconductors (Materials); Superconducting Materials; Superconductivity																						
55	Antennas; Slot Antennas; Microwave Antennas																						
59	Semiconductor Quantum Dots & Wells; Gallium Arsenide																						
61	Organic Light Emitting Diodes (OLED); Solar Cells; Conjugated Polymers																						
97	Silicon Solar Cells; Solar Cells; Silicon																						
111	Fiber Lasers; Fibers; Optical Fibers																						
183	Composite Materials; Laminates; Fiber Reinforced Plastics																						
197	Microfluidics; Fluidic Devices; Microchannels																						
203	Photonic Crystals; Photonics; Waveguides																						
246	MEMS; Gyroscopes; Resonators																						
256	Combustion; Combustors; Ignition																						
340	Solar Energy; Photovoltaic Cells; Solar Radiation																						
426	Beams (Radiation); Accelerators; Free Electron Lasers																						
560	Detectors; High Energy Physics; Readout Systems																						
609	Additives; Manufacture; Printing																						
619	Thermoelectricity; Thermoelectric Equipment; Thermal Conductivity																						
660	Free Electron Emitting Lasers; Semiconductor Lasers; High Power Lasers																						
710	Adaptive Optics; Telescopes; Wavefronts																						
861	Gallium Arsenide; Semiconducting Gallium; Solar Cells																						
951	Cadmium Telluride; Cadmium Alloys; Infrared Detectors																						
1004	Laser Damage; Fused Silica; High Power Lasers																						
1025	X Rays; Fluorescence; Shielding																						
1074	Composite Materials; Homogenization Method; Elasticity																						
1099	Lenses; Microlenses; Refractive Index																						

Figuur 15: Heatmap van onderzoeksactiviteiten (Output x Impact) voor het thema Algemene technologie

Ook uit de interviews komt naar voren dat het Nederlandse ruimteonderzoek van hoge kwaliteit is en dat het onderzoek op het gebied van astronomie/astrofysica en aardobservatie tot de wereldtop behoort. Gezien het relatief bescheiden budget is dit een knappe prestatie. Vanwege het beperkte budget wordt ook in de gesprekken genoemd dat er - sterker dan in landen met een ruimer budget voor ruimteonderzoek - in Nederland de noodzaak is om te prioriteren.

### 3.3 Thematische samenhang Nederlands ruimteonderzoek

Het thematische overzicht is gebaseerd op *bibliographic coupling*. Dit is een netwerkanalyse op basis van de inhoudelijke relatie tussen publicaties. **Publicaties** A en B hebben een relatie

als zij dezelfde publicatie(s)  $X_i$  **citeren**. Publicatie  $X_i$  kan onderdeel zijn van de dataset van Nederlands ruimteonderzoek maar ook daarbuiten vallen. Hoe groter het aantal publicaties dat gezamenlijk wordt geciteerd (co-citatie), hoe sterker de onderlinge relatie tussen publicaties A en B. Het totale aantal publicaties  $X_i$  waar naar verwezen wordt is vele malen (10-15 keer) groter dan het totale aantal nodes in het netwerk.

Als nodes in het netwerk zijn de 11.969 publicaties uit de set van de enge afbakening gebruikt.<sup>54</sup> Deze nodes zijn geclusterd op basis van het zogenaamde 'Leiden algoritme'. Dit is een algoritme dat speciaal is ontwikkeld om onderzoeksthema's bottom-up op basis van co-citatie in samenhangende clusters ('*research communities*') te verdelen.<sup>55</sup>

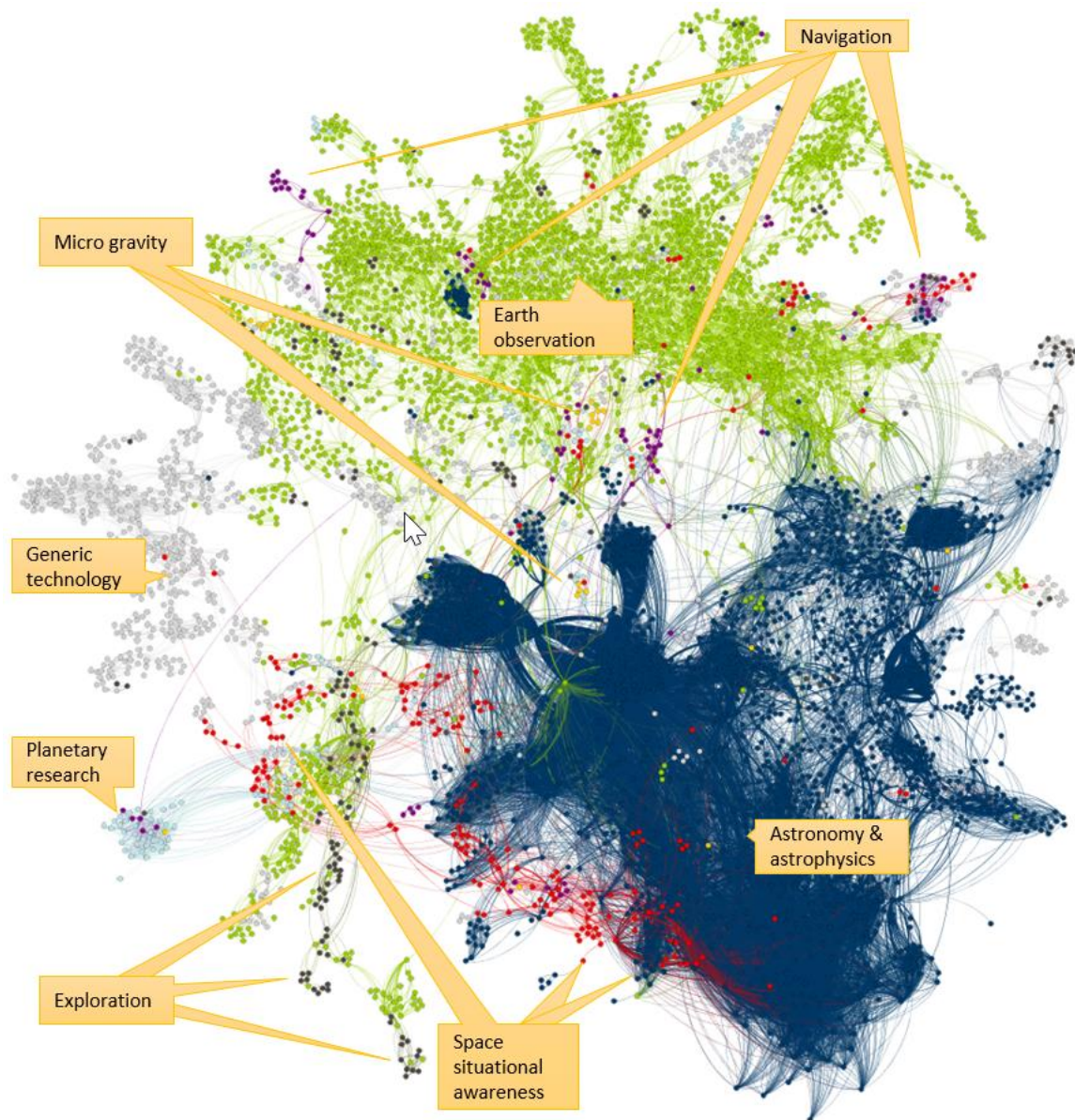
Vervolgens is over hetzelfde netwerk een laag gelegd waarin het betreffende thema van elke node zichtbaar is gemaakt. De visualisatie in Figuur 16 laat dus de samenhang zien op basis van de indeling zoals die (top-down) met de thema's is gemaakt.

---

<sup>54</sup> In Bijlage 5 zijn de twee co-citation en twee co-author networks weergegeven voor de ruimere afbakening (n=35.639).

<sup>55</sup> Traag, V.A., Waltman, L. & van Eck, N.J. From Louvain to Leiden: guaranteeing well-connected communities. *Sci Rep* 9, 5233 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41695-z>.



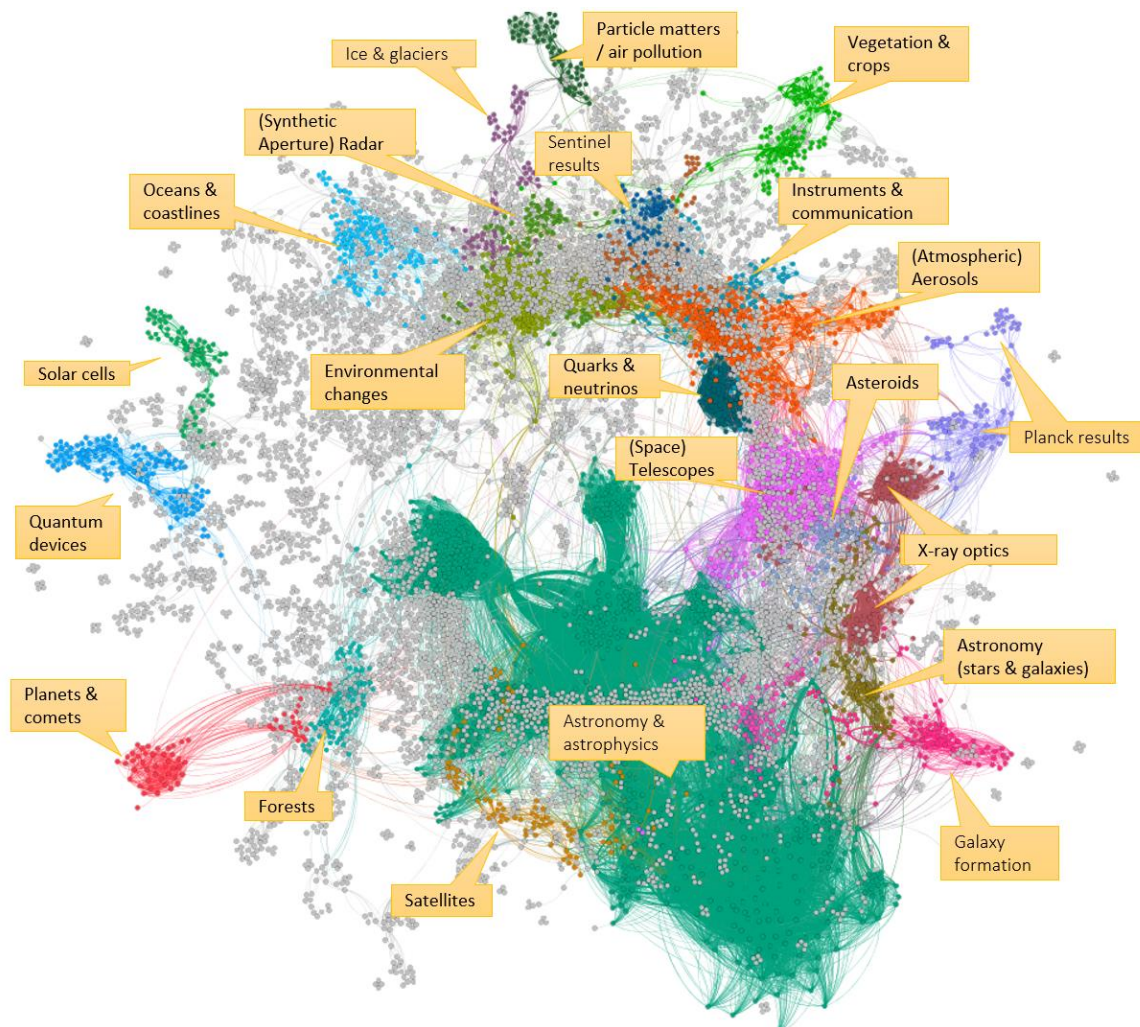


Figuur 16. Co-citatie netwerk van ruimteonderzoek in Nederland, nadere afbakening (in/vanaf de ruimte), verdeling op basis van (7+1) thema's

Er is een behoorlijke overlap tussen de thematische (top down) indeling en de (bottom up) clustering op basis van het Leiden algoritme. Dat wil zeggen dat de thema's ook als duidelijke clusters in Figuur 17 naar voren komen. Dit is een indicatie dat de (top down) indeling van NSO redelijk overeenkomt met de feitelijke thematische verbondenheid van het ruimteonderzoek. De twee grote thema's (1) Astronomie/Astrofysica en (3) Aardobservatie komen ook als twee samenhangende clusters voor, met dien verstande dat thema (3) uiteenvalt in een hoofdcluster en een subcluster. De kleinere thema's (4) Navigatie en (5) Space situational awareness zijn niet als aparte (sub)clusters te onderscheiden – ze zijn gefragmenteerd over het gehele veld.

Wanneer we de clusters indelen volgens het Leiden algoritme vallen de overkoepelende thema's uiteen in *communities* van publicaties rondom meer specifieke onderwerpen (Figuur

17).<sup>56</sup> Vrijwel alle communities bevinden zich binnen een specifiek thema (met andere woorden het zijn deelthema's binnen het grotere thema). Dit bevestigt het beeld dat de huidige top down thematische indeling samenvalt met de feitelijke thematische clustering in het veld.



*Figuur 17. Co-citatie netwerk van ruimteonderzoek in Nederland, nadere afbakening (in/vanaf de ruimte), verdeling op basis van Leiden algoritme*

Door de communities zichtbaar te maken valt bovendien op dat het Nederlands ruimteonderzoek zeer divers is in onderwerpen; de clustering onderscheidt meer dan 200 kleine communities, waarbij de top-10 aan communities minder dan 25% van alle artikelen omvat. In de praktijk is er dus sprake van een hoge mate van specialisatie in het ruimteonderzoek van kleine research communities. Dit geldt met name voor het brede thema (3) Aardobservatie, dat uiteenvalt in een groot aantal subthema's die onderling sterk verschillen.

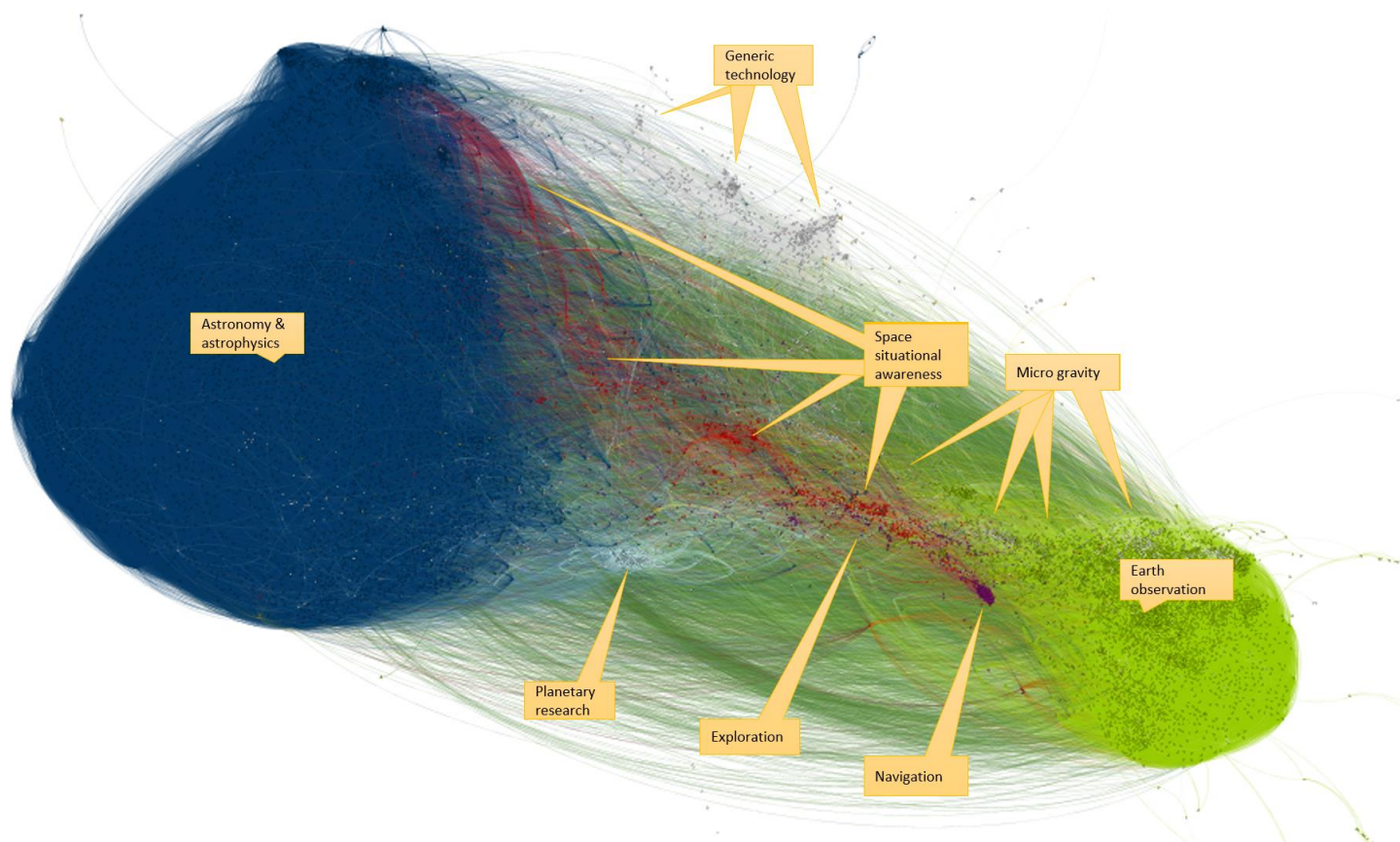
<sup>56</sup> De labels/omschrijvingen van de clusters zijn door de onderzoekers gedefinieerd op basis van de meta-data (titels, steekwoorden, Topic Clusters) van de onderliggende artikelen. Voor figuur 18 is dezelfde heuristiek gevolgd.



### 3.4 Samenwerking binnen Nederland in het ruimteonderzoek

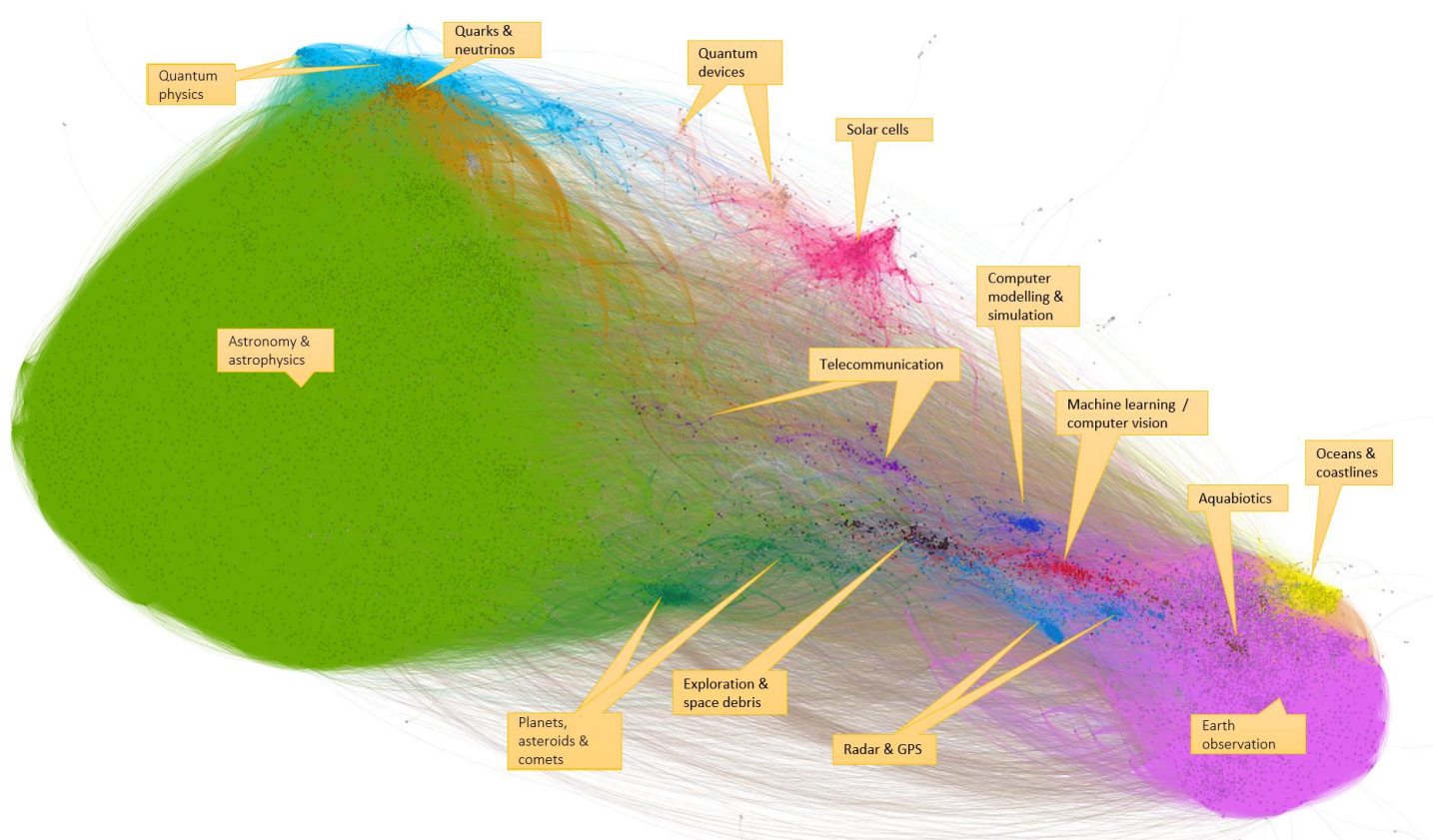
De netwerkanalyse in de vorige paragraaf was op basis van co-citaties. Dit werpt vooral licht op de thematische samenhang in het onderzoeksdomein ruimteonderzoek. In deze paragraaf passen we dezelfde methodiek – dus clustering op basis van het Leiden algoritme en een overlay op basis van de thema's – toe op een ander type relaties, namelijk die tussen auteurs met een Nederlandse affiliaties op basis van co-publicaties. Dat wil zeggen, de aanname is dat auteurs A en B een relatie hebben wanneer zij samen hebben geschreven aan eenzelfde publicatie X binnen de dataset. Hoe groter het aantal gezamenlijke publicaties, hoe sterker de onderlinge relatie. Zo ontstaan clusters van onderzoekers die samenwerken. Elke stip in de grafiek is een auteur met een Nederlandse affiliatie. Instituten die vaker samenwerken staan hierbij dicht bij elkaar. Anders dan de co-citatie netwerken in de vorige paragraaf geven de co-publicatie netwerken in deze paragraaf vooral een beeld van de manier waarop er *binnen het Nederlandse ruimteonderzoek* (direct) wordt samengewerkt.

Als bronbestand voor de nodes zijn alle auteurs genomen die aan een Nederlandse organisatie verbonden zijn, en waarvan een of meerdere artikelen via het Topic Cluster aan een thema was gekoppeld. Hierbij is vervolgens, net als in de vorige paragraaf, een clustering uitgevoerd met het Leiden-algoritme, waarna de auteurs zijn ingedeeld volgens het thema waarin ze in de periode 2014-2019 het meeste hebben gepubliceerd.



Figuur 18. Co-auteur netwerk van ruimteonderzoek in Nederland, nadere afbakening (in/vanaf de ruimte), verdeling op basis van thematische indeling

De visualisatie in Figuur 18 laat zien dat de er in de twee grote netwerken (1) Astronomie/Astrofysica en (3) Aardobservatie apart wordt samengewerkt. Deze twee grote clusters worden verbonden door (5) Space Situational Awareness. Microgewicht (6) loopt ook als een string, maar lijkt meer aan de Aardobservatiekant te zitten. Navigatie (4) en Planeetonderzoek (2), kleine op zichzelf staande clusters, respectievelijk aan de rand van Aardobservatie en Astronomie. Exploratie (7) is een heel klein en sterk gefragmenteerd cluster. Dat is dus min of meer 'verdamp't tussen de twee grote clusters. Wat in Figuur 18 minder goed zichtbaar is, is dat er binnen het grote cluster (1) Astronomie/Astrofysica veel intensiever wordt samengewerkt dan in de andere clusters. Wellicht juist omdat hier al langer een samenwerkingstraditie bestaat.



Figuur 19. Co-auteur netwerk van ruimteonderzoek in Nederland, nadere afbakening (in/vanaf de ruimte), verdeling op basis van Leiden algoritme

De indeling op basis van het Leiden algoritme in Figuur 19 geeft een duidelijker afbakening in min of meer op zichzelf staande clusters. *Exploration* is nu bijvoorbeeld veel beter zichtbaar. Nieuw onderscheiden aparte clusters zijn *Telecommunication*, *Computer modelling & simulation*, *Machine learning/computer vision*, *Radar & GPS* en *Oceans & coastlines*. Bovenin de figuur zitten natuurkundige clusters, die van rechts (*Solar cells*) naar links (*Quantum physics*) van toegepast naar theoretisch gaan.

De twee grote clusters *Astronomy & astrophysics* en *Earth observation* vallen grotendeels samen met de twee grote thema's (1) Astronomie/Astrofysica en (3) Aardobservatie. Dat duidt erop dat de top down thematische indeling in 'Astronomie' en 'Aardobservatie' goed overeenkomt met de feitelijke patronen van samenwerking.

### 3.5 Trends in ruimteonderzoek








In de vorige paragrafen is een statisch beeld gegeven op basis van de totalen in de periode 2014-2019. In deze afsluitende paragraaf laten we de verschuiving door de tijd zien in deze (relatief) korte periode.

In Bijlage 6 is een volledige lijst van de trends per Topic Cluster gegeven, zowel voor de ruime als voor de enge afbakening. Als groeicijfer is telkens de gemiddelde jaarlijkse groei over de periode 2014-2019 genomen. De groeipercentages op het geaggregeerde niveau van thema's zijn berekend als gewogen gemiddeldes. Daar is dus automatisch gecorrigeerd voor kleine aantallen. Voor de scores op het niveau van Topic Clusters geldt wel dat er soms sprake is van kleine aantallen bij de enge afbakening, en dat dit soms leidt tot hoge groeicijfers.

Voor vrijwel alle Topic Clusters zijn de groeicijfers van de enge afbakening ('in/vanaf de ruimte') hoger dan van de ruime afbakening ('alle ruimteonderzoek').

De grote thema's Aardobservatie (+10,1%) en Algemene technologie (+15,3%) vertonen over het geheel een sterke groei in de enge afbakening, zie Figuur 20.<sup>57</sup> Dat geldt ook voor de veel kleinere thema's Planeetonderzoek (+14,6%), Space situational awareness (+9,2%), Microgewicht (+17,9%) en Exploratie (+74,3%). In het laatste geval gaat het om relatief kleine aantallen. Binnen Microgewicht wordt de groei grotendeels verklaard door Topic Cluster #935 *Weightlessness*; binnen Exploratie in het geheel door #854 *Hypersonic Aerodynamics*.

*Space situational awareness* is een ESA-programma waarbinnen het segment 'Space Weather' het meest relevant is voor het Nederlandse ruimteonderzoek (met name onderzoek naar negatieve effecten vanuit de magnetosphere, ionosphere en thermosphere).<sup>58</sup> Dit segment wordt gedekt door Topic Cluster #31. Dat vertoont over de gehele linie, zowel in de ruime als in de enge afbakening, een sterke groei.

TC omschrijving	brede afbakening		nadere afbakening		trend
	Output	groei	Output	groei	
<b>2 Planeetonderzoek</b>		<b>6,2%</b>		<b>14,6%</b>	
133 Astroids; Comets; Mars	698	6,2%	444	14,6%	
<b>5 Space situational awareness</b>		<b>3,8%</b>		<b>9,2%</b>	
31 Magnetic Fields; Ionospheres; Sunspots	320	14,2%	239	13,5%	
184 Discharge; Plasma Applications; Plasma Jets	320	-6,4%	82	7,1%	
493 Orbits; Spacecraft; Satellites	383	3,9%	271	6,1%	
<b>6 Microgewicht</b>		<b>9,0%</b>		<b>17,9%</b>	
935 Weightlessness; Space Flight; Manned Space Flight	135	15,2%	71	25,5%	
1303 Space; International Cooperation; Space Research	182	25,5%	70	10,1%	
<b>7 Exploratie</b>		<b>-5,8%</b>		<b>74,3%</b>	
854 Hypersonic Aerodynamics; Hypersonic Flow; Reentry	48	-5,8%	23	74,3%	

Figuur 20: Groei in Output (aantal publicaties) in de thema's Planeetonderzoek, Space situational awareness, Microgewicht en Exploratie, per Topic Cluster, 2014-2019

Binnen Aardobservatie zijn de snelste groeiers #206 *Ozonization; Degradation*; #431 *Particulate Matter*; #451 *Infrared Devices; Near Infrared Spectroscopy*; #972 *Remote Sensing; Photogrammetry; UAV's*.<sup>59</sup> #773 *Benthic & Planktonic Foraminifera* en in mindere mate #52

<sup>57</sup> De groeipercentages voor de ruime afbakening zijn respectievelijk +1,9% (Aardobservatie) en +1,3% (Algemene Technologie).
























<sup>58</sup> De andere twee segmenten zijn *Near-Earth Objects* (asteroiden en kometen) en *Space Surveillance and Tracking* (inactieve satellieten en ruimteschroot).

<sup>59</sup> Nota bene, in al deze Topic Clusters gaat het om relatief kleine aantallen bij de enge afbakening. Dit leidt mogelijk tot een vertekening van de groeipercentages.



















*Oceans; Lakes; Dissolved Organic Matter* vertonen juist geen of weinig groei (zie Figuur 21). In beide laatste gevallen gaat het dus om oceaangerelateerde aardobservatie. Overigens is er bij het aanverwante #252 *Tides; Ocean; Ocean Currents* wél sprake van een sterke groei (+18%).

Het beeld dat uit de gesprekken naar voren komt dat Nederland relatief weinig onderzoek doet naar radarinstrumenten wordt niet door deze cijfers bevestigd. Zo vertoont Topic Cluster #508 *Ground Penetrating Radar Systems; Geological Surveys* een sterke groei (+28%) en #204 *Synthetic Aperture Radar; Radar; Radar Imaging* een gemiddelde groei (+10%).

TC omschrijving	brede afbakening		nadere afbakening		
	Output	groei	Output	groei	trend
<b>3 Aardobservatie</b>		<b>1,9%</b>		<b>10,1%</b>	
5 Climate Models; Model; Rainfall	2.136	4,3%	893	2,6%	
34 Reynolds Number; Boundary Layers; Large Eddy Simulation	825	2,0%	162	9,0%	
42 Aerosols; Air Quality; Atmospheric Aerosols	1.063	2,7%	547	4,2%	
52 Oceans; Lakes; Dissolved Organic Matter	838	5,5%	205	1,1%	
103 Glaciers; Holocene; Glacial Geology	697	6,0%	242	6,5%	
151 Forests; Landscapes; Plants	991	6,7%	136	10,6%	
153 Remote Sensing; Image Classification; Satellite Imagery	1.001	17,1%	544	23,1%	
204 Synthetic Aperture Radar; Radar; Radar Imaging	447	4,2%	280	9,5%	
206 Ozonization; Degradation; Wastewater Treatment	353	18,8%	28	45,0%	
252 Tides; Ocean; Ocean Currents	494	6,4%	179	17,9%	
278 Fires; Forests; Wildfires	127	4,1%	22	27,7%	
282 Aquifers; Groundwater Resources; Groundwater Flow	340	8,5%	75	10,9%	
284 Waves; Water Waves; Wave Energy Conversion	778	2,5%	281	2,5%	
399 Corals; Coral Reefs; Cnidaria	426	-0,4%	57	3,3%	
431 Particulate Matter; Air Pollution; Air Pollutants	394	5,5%	69	41,1%	
451 Infrared Devices; Near Infrared Spectroscopy	99	-4,1%	20	36,7%	
508 Geological Surveys; Ground Penetrating Radar Systems	110	-2,7%	34	28,2%	
515 Geographic Information Systems; Maps; Models	367	15,2%	58	14,5%	
621 Farmers; Smallholder; Farms	444	-7,5%	77	22,8%	
663 Forest; Deforestation; Conservation	553	2,1%	55	9,3%	
773 Benthic & Planktonic Foraminifera; Paleoceanography	351	4,7%	53	-3,2%	
797 GRACE; Gravitation; Geodetic Satellites	195	8,0%	147	13,4%	
972 Remote Sensing; Photogrammetry; UAV's	124	13,8%	37	48,4%	








Figuur 21: Groei in Output (aantal publicaties) in het thema Aardobservatie, per Topic Cluster, 2014-2019

Binnen Algemene technologie zijn de snelste groeiers #30 *Secondary Batteries*; #111 *Fiber Lasers; Fibers*; en #609 *Additives; Manufacture; Printing* (zie Figuur 22). Het gaat het om relatief kleine aantallen. De grotere Topic Clusters #0 *Algorithms; Computer Vision; Models* en #8 *Photocatalysis; Solar cells* vertonen, zeker gezien hun grootte, ook een sterke groei. Uitschieters naar beneden zijn #256 *Combustion; Ignition*; #55 *Antennas; Slot Antennas; Microwave Antennas*; en in mindere mate #192 *Microfluidics; Fluidic Devices; Microchannels*.

TC omschrijving	brede afbakening		nadere afbakening		
	Output	groei	Output	groei	trend
<b>8 Algemene technologie</b>		<b>1,3%</b>		<b>15,3%</b>	
0 Algorithms; Computer Vision; Models	1.571	15,1%	176	25,9%	
8 Photocatalysis; Photocatalysts; Solar Cells	694	15,1%	119	17,8%	
30 Secondary Batteries; Electric Batteries; Lithium Alloys	461	27,8%	48	55,9%	
50 Superconductivity; Superconducting Materials;	313	-1,0%	92	3,2%	
55 Antennas; Slot Antennas; Microwave Antennas	525	2,1%	167	-4,3%	
59 Semiconductor Quantum Dots & Wells; Gallium Arsenide	243	0,7%	150	1,6%	
61 Solar cells; OLED's; Conjugated Polymers	722	-1,9%	100	7,2%	
97 Silicon Solar Cells; Solar Cells; Silicon	380	-8,7%	61	18,5%	
111 Fiber Lasers; Fibers; Optical Fibers	134	26,3%	24	76,7%	
197 Microfluidics; Fluidic Devices; Microchannels	441	4,7%	60	0,8%	
203 Photonic Crystals; Photonics; Waveguides	401	3,5%	51	44,7%	
256 Combustion; Combustors; Ignition	251	-2,4%	31	-7,7%	
340 Solar Energy; Photovoltaic Cells; Solar Radiation	274	8,4%	48	14,3%	
560 Detectors; High Energy Physics; Readout Systems	154	11,2%	21	18,3%	
609 Additives; Manufacture; Printing	255	33,6%	25	70,0%	
710 Adaptive Optics; Telescopes; Wavefronts	324	10,4%	134	16,7%	

Figuur 22: Groei in Output (aantal publicaties) in het thema Algemene Technologie, per Topic Cluster, 2014-2019

De twee thema's Astronomie/Astrofysica (+2,7%) en Navigatie (+4,3%) vertonen allebei een bescheiden groei in vergelijking tot de andere thema's (zie Figuur 23). Binnen het eerste thema is er maar één Topic Cluster dat een snelle groei vertoont, #746 *X Ray Optics; Phase Contrast; Synchrotron Radiation*.<sup>60</sup> De bescheiden groei in Navigatie is geheel en al te danken aan de negatieve groei van het grootste Topic Cluster, #712 *Global Positioning System*. Het andere grotere Topic Cluster #796 *Optical Communication; Light Emitting Diodes; Atmospheric Turbulence* laat juist een sterke groei zien. Dit Topic Cluster dekt onder andere het onderzoek naar laser datacommunicatie van en naar satellieten, en naar de versturende invloeden vanuit de troposfeer op signalen.

TC omschrijving	brede afbakening		nadere afbakening		
	Output	groei	Output	groei	trend
<b>1 Astronomie/Astrofysica</b>		<b>0,7%</b>		<b>2,7%</b>	
1 Galaxies; Stars; Planets	7.074	2,1%	3.717	2,5%	
6 Decay; Quarks; Neutrinos	2.323	1,9%	248	5,2%	
15 Gravitation; Black Holes (Astronomy); Models	1.236	-2,8%	656	0,3%	
746 X Ray Optics; Phase Contrast; Synchrotron Radiation	189	13,4%	84	21,4%	
<b>4 Navigatie</b>		<b>0,0%</b>		<b>4,3%</b>	
590 Atomic Clocks; Rubidium; Frequency Standards	84	28,7%	21	48,7%	
712 Global Positioning System; Satellites; Navigation	280	-10,4%	213	-8,2%	
796 Optical Communication; Atmospheric Turbulence	230	17,6%	90	23,3%	

Figuur 23: Groei in Output (aantal publicaties) in de thema's Astronomie/Astrofysica en Navigatie, per Topic Cluster, 2014-2019

<sup>60</sup> De bescheiden overall groei van het thema Astronomie/Astrofysica zou ook deels kunnen worden teruggevoerd op het feit dat er in Nederland, althans volgens het beeld dat uit de interviews naar voren komt, relatief weinig onderzoek wordt gedaan naar kosmische achtergrondstraling. Idem voor onderzoek op basis van waarnemingen vanaf het stratosferisch observatorium.

## 4 Belangrijkste bevindingen

In 2011 werd voor het laatst een evaluatie van het wetenschappelijke ruimteonderzoek in Nederland uitgevoerd.<sup>61</sup> De hier gepresenteerde beschrijving en evaluatie van het ruimteonderzoek in Nederland biedt een actueel inzicht in hoe het ruimteonderzoek er begin 2021 voorstaat. Dat is van belang met het oog op besluitvorming over het stimuleren van ruimteonderzoek (nationaal, Europees), eventuele prioritering binnen het ruimteonderzoek en ook als eerste stap ter voorbereiding van de ministeriële conferentie van de European Space Agency (ESA) in 2022.

De evaluatie heeft veel informatie opgeleverd over de 56 onderzoeksgroepen waar het merendeel van het ruimteonderzoek in Nederland plaats heeft. Die informatie is in deze rapportage op hoofdlijnen gepresenteerd. 39 van de in totaal 56 benaderde onderzoeksgroepen hebben het fiche met informatie over hun onderzoeksgroep/instituut aangevuld en gevalideerd.

Onderstaand presenteren we in verkorte vorm de belangrijkste bevindingen van het uitgevoerde onderzoek.

### **Nederland kent 56 onderzoeksgroepen op het gebied van ruimteonderzoek**

In totaal zijn in dit onderzoek 56 onderzoeksgroepen geïdentificeerd, waarvan 33 universitaire groepen, acht groepen van TO2 instituten, vier Rijkskennisinstellingen, acht NWO- en KNAW-instituten en drie samenwerkingsverbanden. Dat duidt erop dat ruimteonderzoek breed in het wetenschappelijke onderzoek een rol speelt en breed is ingebed. Het ruimteonderzoek beperkt zich inmiddels al lang niet meer tot de usual suspects (veelal de bekende groepen die in de kern actief zijn). Er zijn veertien onderzoeksgroepen met meer dan 20 FTE die zich bezighouden met ruimteonderzoek. In totaal gaat het bij deze 14 onderzoeksgroepen om circa 850 FTE. Opgeteld gaat het om circa 1000 FTE bij de 39 onderzoeksgroepen die hebben bijgedragen aan de evaluatie.

### **Elf onderzoeksgroepen zijn aan te merken als gespecialiseerde onderzoeksgroepen/instituten**

Er bestaat een kern van 14 groepen en instituten die elk meer dan 20 FTE aan onderzoekers kennen die zich bezighouden met ruimteonderzoek. Hiervan zijn 11 groepen aan te merken als gespecialiseerde onderzoeksgroepen/instituten die zich exclusief of in belangrijke mate toeleggen op ruimteonderzoek en waarvan 50% of meer van de onderzoekers werkzaam is als ruimteonderzoeker.

### **Het ruimteonderzoek neemt toe in omvang en is steeds breder verankerd binnen het kennislandschap**

Daarnaast bestaat er een grote groep van ruim 40 groepen/instituten waar wordt bijgedragen aan de beschikbaarheid van ruimtevaarttechnologie en ruimtevaarttoepassingen of die toeleverancier zijn van ruimteonderzoek of een afhankelijkheid kennen van ruimteonderzoek. Dit zijn vaak in omvang veel kleinere groepen en de groepen worden ook minder gedomineerd door ruimteonderzoekers. Niettemin tonen ze dat ruimteonderzoek breed binnen het Nederlandse wetenschapsveld plaats heeft zowel in termen van toelevering (kennis die nodig is om ruimteonderzoek beter te kunnen uitvoeren) als in termen van toepassing

---

<sup>61</sup> Zie KNAW (2011), Evaluatie Wetenschappelijke Ruimteonderzoek in Nederland 2006-2011, Amsterdam.

(gebruik van ruimteonderzoek om in specifieke disciplines en toepassingsdomeinen voortgang te boeken). Zowel het aantal ruimteonderzoekers in Nederland als de multidisciplinariteit van het ruimteonderzoek is toegenomen sinds 2014. Ruimteonderzoek vindt derhalve niet alleen op meer plekken plaats, maar neemt in omvang toe en kent een steeds grotere variëteit aan (sub)disciplines die betrokken raken. Bij de programmering van ruimteonderzoek zou de komende jaren bekeken kunnen worden hoe naast de kern ook de schil nadrukkelijker betrokken kan worden.

### **De onderscheiden onderzoeksgroepen kennen een verschillende financieringsmix**

Daar waar een deel van de onderzoeksgroepen voor bijna tweederde structureel is gefinancierd, is de derde geldstroom met name belangrijk voor de TO2-groepen, de NWO-instituten en in iets mindere mate de universitaire groepen. Naast de nationale financiering is in de 3<sup>e</sup> geldstroom vooral de financiering vanuit de Europese Commissie belangrijk voor ruimteonderzoek in Nederland. Ook vindt er contractwerk plaats door Nederlandse kennisinstellingen in opdracht van ESA.

### **Het aandeel R&D bestedingen van de overheid gericht op exploratie en exploitatie van Space (OECD GBOARD indicator, thema Space) voor Nederland bedroeg in 2019 2,3%. Dit aandeel is gedaald en schommelt nu rond het EU-28 gemiddelde.**

De enige internationaal geharmoniseerde variabele die betrekking heeft op onderzoekfinanciering en waarvoor een inhoudelijke (thematische) opsplitsing beschikbaar is, zijn de overheidsbudgetten voor R&D (GBOARD), een indicator die wordt opgesteld door de OECD. SPACE is een van de thema's die hierin wordt onderscheiden. Het aandeel SPACE voor Nederland in 2019 bedroeg 2,3%. Qua rangorde neemt Nederland op deze ruwe, maar enig beschikbare indicator daarmee binnen de EU een positie in de middenmoot in. De verschillen met landen aan de top van de rangorde, zoals Duitsland, Japan, Spanje, de VS, België en met name Italië en Frankrijk zijn echter groot. Gemiddeld ligt het Europese aandeel (EU-28) bijna een factor twee hoger dan het Nederlandse aandeel. De laatste tien jaar (2009-2019) is het aandeel SPACE in Nederland gedaald met gemiddeld 0,17% per jaar (in 2009 was dit aandeel nog 4%), daar waar dit aandeel in de meeste andere ontwikkelde landen constant is of stijgt.

### **Horizon 2020 financiering voor Nederlands ruimteonderzoek komt minder uit het specifieke programma Space en meer uit generieke programma's**

Uit een analyse van deelname van Nederlandse onderzoeksinstituten aan Horizon 2020 (H2020) blijkt dat zij binnen 202 projecten in totaal €95 miljoen hebben ontvangen uit H2020. Hiervan komt €22 miljoen uit het programma Space. ERC-grants, een generieke financieringsvorm, zijn in absolute zin (€40 miljoen) belangrijk en ook andere generieke financieringsvormen als Research Infrastructures (€19 miljoen) en Marie Skłodowska-Curie fellowships (€10 miljoen) zijn relatief belangrijk binnen H2020-financiering van ruimteonderzoek aan Nederlandse kennisinstellingen. Het retourpercentage op het programma Space blijft met 4% duidelijke (ver) achter op het gemiddelde van 8% voor alle (deel)programma's van H2020. Dit duidt er op dat Nederland hier zichzelf mogelijk tekortdoet en dat een gerichte inspanning om het retourpercentage tenminste op het programma Space te verhogen wenselijk is. Echter, in Horizon Europe is Space geen apart thema meer, maar deel van het cluster Digital, Industry and Space. Tegelijk is het budget voor het nieuw opgezette EU Space programma dat overwegend gericht is op ruimte-infrastructuren (Copernicus, Galileo, GOVSATCOM en SSA) met €13,2 miljard substantieel.

## **Het lid zijn van internationale ruimtevaartorganisaties is goed voor het Nederlandse ruimteonderzoek**

Een belangrijke rol van de Europese ruimtevaartorganisatie ESA is de ontwikkeling en bouw van wetenschappelijke en andere ruimte-infrastructuur. Toegang tot – de gegevens afkomstig van – deze infrastructuur is van groot belang voor het Nederlandse ruimteonderzoek en de bredere wetenschap. ESA betaalt deze ruimte-infrastructuur uit de bijdragen van de lidstaten, waaronder Nederland. Een deel van de contracten die ESA uitzet om deze infrastructuur te bouwen gaat daarom naar Nederlandse partijen, hoofdzakelijk naar de industrie, maar ook naar kennisinstellingen. Over de periode 2011-2019 gaat het bij die laatste (Nederlandse kennisinstellingen die contractwerk voor ESA doen) om een contractomvang van €59 miljoen (zowel lead- als sub-contracten). Nederland draagt ook bij (via KNMI en dus via IenW) aan EUMETSAT. Uit de meest recente begroting blijkt dat de jaarlijkse bijdrage aan EUMETSAT de komende 5 jaren tussen de €11-21 miljoen op jaarbasis bedraagt.

## **In het ruimteonderzoek worden faciliteiten gedeeld en wordt veelvuldig (internationaal) samengewerkt met ruimtevaartagentschappen, kennisinstellingen, bedrijven en overheden**

De Nederlandse onderzoeksgroepen maken gebruik van verschillende onderzoeksfaciliteiten en -instrumenten. Het gebruik en beheer daarvan wordt veel gedeeld. Uit de 39 ingevulde fiches blijkt dat meer dan dertien faciliteiten met derden worden gedeeld. Meer algemeen kenmerkt het ruimteonderzoek zich als een domein met veel nationale en internationale samenwerking met ruimtevaartagentschappen (space agencies), met kennisinstellingen en met bedrijven. Bedrijven in Nederland waarmee veel wordt samengewerkt zijn bijvoorbeeld Airbus, ISIS, Hyperion en Thales (deze lijst is geenszins uitputtend). De korte afstanden tussen belangrijke partijen in het ruimteonderzoek in Nederland bevorderen het realiseren van missies. Er is sprake van een toenemende diversiteit in gebruikers die in de regel ook dichter dan voorheen op beleid en uitvoering zitten. Dat gaat bijvoorbeeld om vraagstukken rond klimaatverandering, veranderend grondgebruik, luchtverontreiniging en veiligheid waar departementen en ook uitvoerende overheidsdiensten als bijvoorbeeld de NVWA, Rijkswaterstaat, het RIVM en defensie en politie en brandweer bij betrokken zijn. Ook hier geldt dat gekeken moet worden hoe (potentiële) gebruikers betrokken kunnen worden bij de programmering van het ruimteonderzoek. In ieder geval geldt dat inzicht in het directe gebruik van ruimteonderzoek voor maatschappelijke vraagstukken en beleid helpt om het bestaansrecht en financiering van ruimteonderzoek te rechtvaardigen.

## **Nederlands ruimteonderzoek kent in internationaal vergelijk een grote wetenschappelijke impact in termen van bibliometrie.**

Op basis van de uitgebreide bibliometrische analyses die zijn uitgevoerd blijkt dat het generieke beeld voor de Nederlandse wetenschap (betere score voor impact dan voor output) ook zeker opgaat voor het Nederlandse ruimteonderzoek (volgens de ruime afbakening). In vergelijking tot de output van de 20 grootste landen heeft Nederland in de afgelopen jaren (2014-2019) relatief zeer veel gepubliceerd in Astronomie/Astrofysica (1<sup>e</sup> plek), Aardobservatie (3<sup>e</sup> plek) en Microgewicht (6<sup>e</sup> plek). In de omvangrijke restcategorie Algemene technologie (8<sup>e</sup> plek) heeft Nederland juist relatief weinig gepubliceerd, hetgeen begrijpelijk is omdat inzichten opgedaan bij de ontwikkeling van ruimte-instrumenten niet altijd publicabel zijn.

## **Aardobservatie is uitgegroeid tot een tweede, brede Nederlandse wetenschappelijke sterkte binnen het ruimteonderzoek naast Astronomie/Astrofysica**

Gemiddeld genomen heeft het Nederlandse ruimteonderzoek (ruime afbakening) een grote citatie-impact (~5e plaats wereldwijd) ten opzichte van de output (~15e plaats wereldwijd).



In de grote thema's Astronomie/Astrofysica (-6%) en Aardobservatie (-8%) is het verschil met de hoogste score het kleinst en is de citatie-impact dus het grootst. Naast de traditionele sterkte van Nederland in Astronomie/Astrofysica is Aardobservatie inmiddels uitgegroeid tot een tweede, brede Nederlandse wetenschappelijke sterkte binnen het ruimteonderzoek. Dit lijkt ook het gevolg van eerdere keuzes in de verdeling van de beschikbare middelen binnen het ruimteonderzoek. Hoewel dit jaren van investeren vergt, lijkt het dus mogelijk enigszins te sturen daar waar men binnen het ruimteonderzoek binnen een zekere termijn wil excelleren (gegeven dat er een goede basis is).

### **Het Nederlandse ruimteonderzoek verbreedt zich en levert een relevante input aan een steeds bredere set van maatschappelijke vraagstukken**

Er zijn steeds meer bredere onderzoeksagenda's waarin het ruimteonderzoek een rol speelt. Zo draagt het Nederlandse ruimteonderzoek zichtbaar bij aan maatschappelijke thema's als de energietransitie, duurzaamheid en veiligheid. De bredere bijdrage die ruimteonderzoek levert, komt ook tot uiting in de aansluiting bij diverse Topsectoren en bijbehorende TKI's variërend van HTSM, Agri-Food, Energie, LSH, Watertechnologie en Wind op Zee. Ook zijn er links met diverse sleuteltechnologieën en bijbehorende meerjarenplannen. Naast het Meerjarig Programma Ruimtevaart o.a. op terrein van meet- en detectietechnologie gaat het hierbij om een bijdrage aan International Big Science Facilities, Integrated Photonics, AI en Hightech to feed the world (4-6 onderzoeksgroepen). De onderzoeksgroepen dragen ten slotte niet alleen bij aan de twee "eigen NWA-routes" (Route 4: De oorsprong van het leven – op aarde en in het heelal en Route 2: Bouwstenen van materie en fundamenten van ruimte en tijd), maar dragen daarnaast ook bij aan 7 andere NWA-routes. Dit zijn allemaal indicaties dat het ruimteonderzoek zich verbreedt en een relevante bijdrage levert aan het aanpakken van een steeds bredere set van maatschappelijke vraagstukken. Dit is in de regel nog niet bekend bij het grotere publiek, inclusief een deel van de beleidsmakers en uitvoeringsorganisaties. Voor het maatschappelijk draagvlak voor investeringen in ruimteonderzoek verdient het aanbeveling deze bijdrage aan maatschappelijke vraagstukken (nog) explicieter te benoemen.

### **Een analyse van de thematische samenhang toont dat de bestaande top down indeling van acht (7+1) thema's in het Nederlandse ruimteonderzoek redelijk overeenkomt met de feitelijke thematische verbondenheid van het ruimteonderzoek op basis van bottom up clustering.**

Een analyse van de thematische samenhang in het Nederlandse ruimteonderzoek (enge afbakening) laat zien dat een indeling op basis van de bestaande indeling in acht thema's (top down) en de (bottom up) clustering op basis van de data zelf volgens het Leiden algoritme een behoorlijke overlap vertoont. Dit is een indicatie dat de (top down) indeling van bestaande thema's redelijk overeenkomt met de feitelijke thematische verbondenheid van het ruimteonderzoek op basis van de bottom up clustering. In die laatste clustering komen ook de twee grote thema's (1) Astronomie/Astrofysica en (3) Aardobservatie als twee op zichzelf staande clusters voor, met dien verstande dat Aardobservatie uiteenvalt in een hoofdcluster atmosfeeronderzoek en een subcluster waarin aardobservatie wordt gebruikt ten behoeve van bestudering van bijvoorbeeld vegetatie, landgebruik, oceanen, gletsjers etcetera. De kleinere thema's (4) Navigatie en (5) Space Situational Awareness zijn niet als aparte (sub)clusters te onderscheiden – ze zijn gefragmenteerd over het gehele veld. De bottom up clustering laat bovendien zien dat het Nederlands ruimteonderzoek zeer divers is in onderwerpen; de clustering onderscheidt meer dan 200 kleine communities, waarbij de top-10 aan communities minder dan 25% van alle artikelen omvat. In de praktijk is er dus sprake van een hoge mate van specialisatie in het ruimteonderzoek.

**Analyses van de samenwerking binnen Nederland in het ruimteonderzoek (eng afgebakend) toont duidelijk afgebakende clusters in het Nederlandse ruimteonderzoek, maar laat ook zien dat er samenwerking tussen (onderzoekers actief op) verschillende thema's bestaat.**

Een analyse van de samenwerking binnen Nederland in het ruimteonderzoek (enge afbakening) toont dat op basis van de top down benadering waarbij uitgegaan wordt van acht thema's er sprake is van twee grote clusters (Astronomie/Astrofysica en Aardobservatie) verbonden door SSA. Navigatie en Planeetonderzoek zijn kleine op zichzelf staande clusters en Exploratie is een klein en bovendien een relatief gefragmenteerd cluster. De bottom up clustering toont duidelijker afgebakende clusters in het Nederlandse ruimteonderzoek. Exploratie is nu beter als apart cluster zichtbaar en er zijn nieuw te onderscheiden aparte clusters als *Telecommunication, Computer modelling & simulation, Machine learning/computer vision, Radar & GPS* en *Oceans & coastlines*. Voor zowel de top down als bottom up analyse kan worden vastgesteld dat in het cluster Astronomie/Astrofysica intensiever wordt samengewerkt dan in het cluster Aardobservatie. Dat hangt waarschijnlijk samen met het feit dat Aardobservatie (en specifiek satellietdata) zich leent voor toepassing in zeer verscheiden wetenschappelijke domeinen. Hierbij worden satellietdata gebruikt naast data uit andere bronnen. Mogelijk speelt hier ook mee dat in de Astronomie/Astrofysica in vergelijking met Aardobservatie al langer sprake is van een afgestemde onderzoeksprogrammering. De inhaalslag die in Aardobservatie op dit punt wordt gemaakt - en wellicht ook in andere deelgebieden binnen het ruimteonderzoek - zou kunnen bijdragen aan een intensiever samenwerking in het ruimteonderzoek, zie bijvoorbeeld in dit kader het recent gepubliceerde *Earth Observation Research in the Netherlands - Strategic Plan 2020-2025*.

**Op enkele thema's zijn duidelijke hotspots aan te wijzen, maar op andere thema's zijn de onderzoeksinspanningen verspreid over een groter aantal spelers.** De 'hittekaarten' die op basis van de bibliometrische analyse per thema zijn opgesteld, geven hiervan een goed beeld. Op basis van de bibliometrische analyse (uitgaande van de ruime afbakening) kunnen vooral voor de thema's Astronomie/Astrofysica, Aardobservatie, Navigatie en SSA en in mindere mate voor de andere thema's duidelijke hotspots in het ruimteonderzoek zoals uitgevoerd aan Nederlandse kennisinstellingen worden geïdentificeerd. Ook is vastgesteld - op het niveau van *Topic Clusters* en voor zowel de ruime als de enge afbakening van ruimteonderzoek - welke thema's binnen het Nederlandse ruimteonderzoek zich meer en minder sterk hebben ontwikkeld. De hittekaarten zouden een nuttig hulpmiddel kunnen zijn om te bezien waar onderzoekssamenwerking - voor zover nog niet aanwezig - verder versterkt zou kunnen worden.

**Bibliometrische en alternatieve indicatoren laten zien dat het Nederlandse ruimteonderzoek zich kan meten met de wereldtop**

Niet alleen op basis van de bibliometrie en de analyse van de Nederlandse deelname aan Horizon 2020, maar ook op basis van alternatieve indicatoren blijkt dat het Nederlandse ruimteonderzoek relatief sterk is ontwikkeld en zich kan meten met de wereldtop. Relevante indicatoren zijn bijvoorbeeld het aantal Nederlandse Principal Investigators (PI's) en co-PI's van internationale missies, door onderzoekers aan Nederlandse kennisinstellingen ontvangen internationale prijzen in het ruimteonderzoek en bijvoorbeeld ook het aantal verworven prestigieuze ERC-grants. Het kan geen kwaad ook dergelijke indicatoren mee te nemen in discussies over zwaartepunten en ontwikkelingen in het Nederlandse ruimteonderzoek.

**Het onderscheid tussen ruimteonderzoek in of vanuit de ruimte en aardgebonden ruimteonderzoek is soms moeilijk te maken, maar blijft relevant voor discussies over de afbakening en financiering van onderzoeksprogramma's.**

Een relevant punt is hier dat de 'enge' afbakening van ruimteonderzoek ("onderzoek in of vanuit de ruimte") soms moeilijk blijkt te maken. Dat komt omdat de twee werkterreinen (in/vanuit de ruimte vs. grondgebonden) in de praktijk nauw met elkaar zijn verknoopt. Zo kan technologisch onderzoek voor grondgebonden en ruimtegebonden instrumentatie soms in synergie worden uitgevoerd. Of een ander voorbeeld: in toepassingen met satellietdata wordt vaak ook data uit andere bronnen gebruikt. Ook zijn de wetenschappelijke vraagstukken vaak gezamenlijk dekkend voor onderzoek vanuit/in de ruimte en aardgebonden onderzoek. Het hanteren van een duidelijke afbakening tussen onderzoek "in of vanuit de ruimte" en "grondgebonden" ruimteonderzoek kan helpen de synergie tussen de verschillende wetenschapsvelden te versterken en de samenwerking te verbeteren.

De bevindingen uit deze inventarisatie en evaluatie van het ruimteonderzoek kunnen behulpzaam zijn bij de inrichting en vormgeving van het onderzoeksbeleid op het gebied van ruimteonderzoek. Dit kan bijvoorbeeld gaan over de toekomstige financiering van het zich uitbreidende ruimteonderzoek, de vraag naar de balans tussen doorgaan op bestaande sterktes in het ruimteonderzoek en het inzetten op opkomende thema's of de rol van de toeleverende disciplines in het ruimteonderzoek. Ook de vraag of moet worden ingezet op grote instrumenten (zoals Tropomi) of juist op meerdere kleinere instrumenten en de vraag wat de verhouding zou moeten zijn tussen upstream, downstream en toepassingen in het ruimteonderzoek is relevant. Tot slot zal waarschijnlijk ook het toenemend aantal spelers in het ruimteonderzoek en de vraag of meer samenwerking wenselijk en mogelijk is in het Nederlandse ruimteonderzoek (en hoe) aan de orde komen.



# Bijlage 1. Toelichting 7 thema's ruimteonderzoek

## 1. Astronomie/Astrofysica

Het gaat hierbij om het gebruik van – instrumenten/sensoren op – ruimtevaartuigen (satellieten, space borne platforms) om observaties aan het heelal uit te voeren t.b.v. wetenschappelijk onderzoek aan de ruimte. Doelen hierbij kunnen zijn: het in kaart brengen, beschrijven en begrijpen van – objecten (van moleculen tot sterren), structuren en processen in – het heelal, het beschrijven van het ontstaan en de evolutie van deze objecten/structuren, het beschrijven van fysische, chemische en andere processen die zich in het heelal afspelen. Ook bijdrage aan het beantwoorden van vragen als: Onder welke omstandigheden kunnen planeten ontstaan en kan er leven ontstaan, Hoe werkt het zonnestelsel, Welke fundamentele fysische wetten zijn geldig in het heelal, Hoe is het heelal ontstaan en waar bestaat het uit, vragen die ook voor een breed publiek tot de verbeelding spreken. Wetenschappelijk onderzoek vindt plaats op het gebied van de ontwikkeling van technologie van de instrumenten/satellieten en op het gebied van het gebruik (dataverwerking, modellering) en interpretatie van de observaties.

## 2. Planeetonderzoek

Het gaat hierbij om het gebruik van – instrumenten/sensoren op – ruimtevaartuigen (satellieten, space borne platforms) om observaties aan planeten (anders dan de Aarde) en andere objecten die zich in de ruimte bevinden (bv. manen, astroïden) uit te voeren t.b.v. wetenschappelijk onderzoek. Dat kan gaan om planeten en andere objecten in ons zonnestelsel, maar ook om exo-planeten (planeten om andere sterren). Planetair onderzoek kan plaatsvinden door in situ onderzoek (instrumenten ter plekke, bv. op het oppervlak) of via remote sensing (vanuit een baan rond de planeet of maan). Doelen hierbij kunnen zijn: het beschrijven en begrijpen van de aard/eigenschappen (samenstelling, opbouw, kenmerken, structuren), ontstaansgeschiedenis, evolutie en interactie van planeten, het zoeken naar 'bewoonbare' planeten/werelden buiten onze eigen Aarde. Ook bijdrage aan het beantwoorden van vragen als: Hoe zijn onze Aarde en Maan ontstaan, Hoe is het leven ontstaan, etc., vragen die ook voor een breed publiek tot de verbeelding spreken. Wetenschappelijk onderzoek vindt plaats op het gebied van de ontwikkeling van technologie van de instrumenten/satellieten en op het gebied van het gebruik (dataverwerking, modellering) en interpretatie van de observaties.

## 3. Aardobservatie

Het gaat hierbij om het gebruik van – instrumenten/sensoren op – ruimtevaartuigen (satellieten, space borne platforms) om observaties aan onze Aarde uit te voeren t.b.v. wetenschappelijk onderzoek én t.b.v. maatschappelijke en economische benutting. Het gaat daarbij om observaties van de atmosfeer, het landoppervlak, de bodem, de oceanen, het ijs, de watercyclus, ecosystemen, etc. Informatie uit aardobservatie draagt bij aan een veelheid aan (wetenschappelijke, maatschappelijke, economische) uitdagingen op gebieden als: klimaat, milieu, landbouw, weer, energie, water, voedselvoorziening, veiligheid, gezondheid, natuur, duurzaamheid, smart cities, mobiliteit, natuurrampen, etc. Aardobservatie draagt vaak bij in combinatie met informatie uit andere (observatie)bronnen (bv. sensoren op de grond of in de lucht). Aardobservatie is sterk verweven met het dagelijks leven van de mens op Aarde. Wetenschappelijk onderzoek vindt plaats op het gebied van de ontwikkeling van

technologie van de instrumenten/satellieten en op het gebied van het gebruik (dataverwerking, modellering) en interpretatie van de observaties.

#### 4. Navigatie

Het gaat hierbij om het gebruik van – de uitgezonden signalen van – ruimtevaartuigen (satellieten, space borne platforms) t.b.v. nauwkeurige – statische en dynamische – plaatsbepaling (lokalisatie) op Aarde (op de grond, in de lucht, of in de ruimte). Omdat deze GNSS-systemen feitelijk volwassen zijn, zijn wetenschappelijke bijdragen aan de technologie voor navigatie gering.<sup>62</sup> De markt voor maatschappelijke navigatietoepassingen (bv. mobiliteit, landbouw) is volwassen en veelal commercieel. Wetenschappelijk onderzoek dat gebruik maakt van GNSS is bv. de studie en modellering van aardkorstdeformaties (platentektoniek, vulkaanuitbarstingen, aardbevingen), of het, in combinatie met andere databronnen, precies navigeren in stedelijk gebied of indoor. Voorts worden de zeer nauwkeurige klokken aan boord van de GNSS-satellieten, en de satellietconstellaties zelf, gebruikt voor onderzoek in de fundamentele fysica, bv. op het gebied van de verificatie van Einsteins Relativiteitstheorie, of het bepalen van fysische constanten en principes.

#### 5. Space Situational Awareness (SSA)

Space Situational Awareness betreft de veiligheid in en vanuit de ruimte. Het gaat hierbij om het gebruik van – instrumenten/sensoren op – ruimtevaartuigen (satellieten, space borne platforms) t.b.v. het – autonoom – detecteren, voorspellen en inschatten van de risico's voor – het leven op – de Aarde t.g.v. rondvliegende of terugvallende – restanten van – man-made ruimtevaartuigen, botsingen, explosies en andere verstoringen van operationele satellietvoorzieningen en -diensten, impacts met Near Earth Objects, en de effecten van ruimteweerverschijnselen (space weather) op de ruimte-infrastructuur en infrastructuur op de grond. SSA bestaat uit drie sub-onderwerpen: Space Weather (SWx), Space Surveillance and Tracking (SST) en Near Earth Objects (NEO). NEO betreft het monitoren van asteroïden en kometen om tijdig te kunnen waarschuwen bij een potentiële botsing met de Aarde. SST betreft het monitoren van door de mens veroorzaakt ruimtepuin (space debris). SST en NEO betreffen mechanische risico's (lees botsingen en explosies) en de meeste systemen voor waarnemingen hiervoor zijn ground-based (optische telescopen, smart-L radars, lasers). SST heeft ook een militair strategische betekenis. Space weather maakt in tegenstelling tot SST en NEO wel uitgebreid gebruik van onderzoek in en vanuit de ruimte om de zonneactiviteit te monitoren, de zonnewind, de aardse magnetosfeer en ionosfeer. Het is een relatief nieuw onderwerp (Nederland is laat ingestapt) omdat het hoofdzakelijk elektromagnetische verstoringen op satellieten en vitale infrastructuren betreft (communicatie, navigatie, energievoorziening). Pas eind vorige eeuw werden vitale systemen zo gevoelig dat zonneactiviteit een directe stoorbron werd. T.b.v. Space Situational Awareness worden ook veel waarnemingen gedaan met ground-based instrumenten. Het opbouwen en gebruiken van deze ground-based infrastructuur behoort niet tot het ruimteonderzoek, maar het verwerken en interpreteren van de ground-based observaties, al of niet samen met space-based observaties, kan wel onderdeel zijn van het ruimteonderzoek, zeker als het in kaart brengen van de risico's voor en door de ruimte-infrastructuur zelf betreft. Doelen van het wetenschappelijk onderzoek hierbij kunnen zijn: het benutten van wetenschappelijke infrastructuur (ground- en space- based telescopen) t.b.v. SSA, het in kaart brengen, beschrijven en begrijpen van – het gedrag van objecten in – de ruimte dicht bij de Aarde en de daarmee

---

<sup>62</sup> Vanuit de klankbordgroep is aangegeven dat er wel degelijk een cluster bestaat op dit thema met spelers als NLR, ASTRON en TUD daar omheen kleinere en grotere partijen (inclusief KNMI).

gepaard gaande risico's, het in kaart brengen, beschrijven en begrijpen van de mogelijke gevolgen (impact) van events vanuit de ruimte op Aarde (leven, infrastructuur).

## 6. Microgewicht

Het gaat hierbij om het uitvoeren van wetenschappelijk onderzoek (d.m.v. experimenten) in gewichtloosheid in de ruimte (aan boord van ruimtevaartuigen, ruimtestations, sondeerraketen of satellieten). De gewichtloosheid is daarbij het essentiële kenmerk van het onderzoek. Het onderzoek kan plaatsvinden op diverse wetenschappelijke vakgebieden, zoals medische wetenschappen, biologie, materiaalkunde, fysica, chemie etc. Ter voorbereiding op microgewicht onderzoek in de ruimte wordt ook gebruik gemaakt van ground-based infrastructuur, bv. centrifuges. Strikt genomen behoort het gebruik maken van ground-based infrastructuur niet tot het ruimteonderzoek, maar het is in veel gevallen een essentiële stap in de voorbereiding. Doelen van microgewicht-onderzoek kunnen zijn: processen, groei en gedrag van de mens (het menselijk lichaam) in gewichtloosheid (bv. gericht op lange ruimtereizen, maar ook voor een beter begrip van het menselijk lichaam voor de medische wetenschap), groei en ontwikkeling van planten en dieren in gewichtloosheid om de biologische processen beter te begrijpen, ontwikkeling van medicijnen, ontwikkelingen van nieuwe stoffen en materialen, het beter begrijpen en verklaren van fysische en chemische processen en theorieën.

## 7. Exploratie

Het gaat hierbij om het gebruik van – instrumenten/sensoren op – ruimtevaartuigen (satellieten, space borne platforms) om naar andere objecten (dan onze Aarde) in ons zonnestelsel (en daarbuiten?) te gaan om ter plaatse de ruimte en die andere objecten te observeren. Dat kan met robotische missies (ruimtevaartuigen zonder bemanning) en met bemande missies. Wetenschappelijk onderzoek t.b.v. exploratie kan betrekking hebben op het ontwikkelen van de voor deze ruimtereizen benodigde infrastructuur (zowel de ruimtevaartuigen als de instrumenten), en op het verweken en interpreteren van de van deze missies afkomstige observaties. Doelen hierbij kunnen zijn: het in kaart brengen, beschrijven en begrijpen van de kenmerken, processen, ontstaan en evolutie van andere planeten en manen (en andere objecten) in ons zonnestelsel, het zoeken naar en in kaart brengen van omgevingen waar leven mogelijk zou kunnen zijn (of is geweest). Exploratie sluit aan bij de thema's astronomie/astrofysica, planeetonderzoek en microgewicht, en ook bij aardobservatie en SSA.

## Bijlage 2. Items fiches

### **Basisgegevens**

1. Naam onderzoeksgroep en eenheid van observatie
2. Website
3. Type onderzoeksgroep
4. Ontwikkeling aantal medewerkers (2014-2019/20) (voor eenheid van observatie als hierboven aangeduid)
5. Verdeling financieringsbronnen

### **Positionering binnen ruimteonderzoek**

6. Omschrijving onderzoek in eigen bewoordingen
7. Wetenschappelijke discipline(s)
8. Mate van interdisciplinariteit van de onderzoeksgroep en mate waarin dit sinds 2014 is veranderd
9. Verdeling inspanningen over 7 thema's ruimteonderzoek en mate waarin dit sinds 2014 is veranderd
10. Overige thema's ruimteonderzoek die niet vallen onder bovengenoemde 7 thema's?
11. Draagt uw instituut/onderzoeksgroep bij aan recente/aanstaande doorbraken in het ruimteonderzoek? Zo ja, noem maximaal 3 voorbeelden die naar uw mening zulke doorbraken zijn.
12. Beheer of deelname in beheer van onderzoeksfaciliteit(en) t.b.v. ruimteonderzoek
13. Deelname aan actuele (incl. toegezegde toekomstige) ruimteonderzoeks-missies
14. Ruimteonderzoek primaire of secundaire focus
15. Belangrijkste samenwerkingspartners
16. Beoordeling ruimteonderzoek (vanuit perspectief instituut/onderzoeksgroep)

### **Beoordeling ruimteonderzoek (vanuit perspectief instituut/onderzoeksgroep)**

17. Beoordeling onderzoek
18. Productie diverse "onderzoeksproducten" gericht op wetenschappers/vakgenoten
19. Productie diverse "onderzoeksproducten" gericht op bredere publiek/maatschappij
20. Bibliometrische scores
21. In hoeverre heeft uw instituut/onderzoeksgroep een evidente niche in het internationale ruimteonderzoek
22. Belangrijkste gebruikers van ruimteonderzoek (publiek en privaat) en type organisatie

### **Bijdrage aan bredere agenda's**

23. Bijdrage door inbreng ruimteonderzoek aan Topsectoren TKIs
24. Bijdrage door inbreng ruimteonderzoek aan meerjarenplannen i.r.t. sleuteltechnologieën
25. 5 belangrijkste maatschappelijke missies (maximum) waaraan bijgedragen wordt door inbreng ruimteonderzoek (zie bijlage voor lijst) en wijze waarop
26. Bijdrage door inbreng ruimteonderzoek aan routes NWA

### **Inschatting belang Nederlands ruimteonderzoek & overige vragen**

27. 3 belangrijkste voorbeelden (maximum) van doorbraken in ruimteonderzoek met Nederlandse betrokkenheid volgens onderzoeksgroep (afgelopen 5 jaar/ nu, hierbij hoeft de onderzoeksgroep niet zelf betrokken te zijn geweest)
28. Visie onderzoeksgroep op focus binnen ruimteonderzoek in Nederland in het komende decennium
29. Eventuele overige belangrijke punten om te vermelden



## Bijlage 3. Lijst van steekwoorden voor nadere afbakening publicaties

De query die is gebruikt:

```
SELECT DISTINCT "xocs:eid" AS "xocs:eid", 1 AS definitie_small
FROM
p2020_013_ruimteonderzoek.articles AS a
LEFT JOIN p2020_013_ruimteonderzoek.keywords_18122020 AS b ON a.tsv_abs_kw_tit @@ to_tsquery('simple',RE-
PLACE(TRIM(b.term), ' ', ' <-> '))
LEFT JOIN p2020_013_ruimteonderzoek.missions_18122020 AS c ON a.tsv_abs_kw_tit @@ to_tsquery('simple',REPLACE(TRIM(RE-
PLACE(c.term, ' & ', '')), ' ', ' <-> '))
WHERE (b.mission_check=1 AND b.term IS NOT NULL AND c.term IS NOT NULL) OR (b.mission_check=0 AND b.term IS NOT NULL)
) AS bb ON aa."xocs:eid" =bb."xocs:eid"
GROUP BY aa."xocs:eid";
```

mission	synoniem	payload	synoniem2
Aeolus	ADM	Doppler wind lidar	Aladin
Space Shuttle	STS	Hubble	Hubble
Space Shuttle	STS	Near Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer	NICMOS
Space Shuttle	STS	Space Telescope Imaging Spectrograph	STIS
Aqua		MODIS	MODIS
ATHENA		XIFU	XIFU
ATHENA		WFI	WFI
Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey	ARIEL	ARIEL Spectroscopy of Exoplanets	CASE
Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey	ARIEL	Cassegrain telescope	
AURA		Microwave Limb Sounder	MLS
AURA		Ozone Monitoring Instrument	OMI
AURA		Tropospheric Emission Spectrometer	TES
AURA		High Resolution Dynamics Limb Sounder	HIRDLS
bepicolombo		Mercury Planetary Orbiter	MPO
bepicolombo		Mercury Magnetospheric Orbiter	MMO
BeppoSAX			
biomass		P-band synthetic aperture radar	p-SAR
biomass		synthetic aperture radar	SAR
Calypso		CALIOP	CALIOP
CanSat			
Capella X-SAR		Synthetic Aperture Radar Constellation	SARC
CFOSAT		Surface Waves Investigation and Monitoring	SWIM
CFOSAT		wind-field scatterometer	SCAT
Chandra			

Chandrayaan-2		Lunar Zebro moon rover	Lunar Zebro
Chang'e 4	QueQuiao	Yutu-2 rover	Yutu-2
Chang'e 4	QueQuiao	Netherlands–China Low-Frequency Explorer	NCLE
cheops			
Comet Interceptor			
Copernicus Anthropogenic Carbon Dioxide Monitoring	CO2M	CO2I	CO2I
Copernicus Anthropogenic Carbon Dioxide Monitoring	CO2M	MAP	MAP
Copernicus Anthropogenic Carbon Dioxide Monitoring	CO2M	NO21	NO21
Copernicus Anthropogenic Carbon Dioxide Monitoring	CO2M	CLIM	CLIM
Copernicus Sentinel-1	S-1	synthetic aperture radar	SAR
Copernicus Sentinel-2	S-2	multispectral imager	
Copernicus Sentinel-3	S-3	Sea and Land Surface Temperature Radiometer	SLSTR
Copernicus Sentinel-3	S-3	Ocean and Land Colour Instrument	OLCI
Copernicus Sentinel-3	S-3	Sentinel-3 topography package	SRAL
Copernicus Sentinel-3	S-3	microwave radiometer	MWR
Copernicus Sentinel-4	S-4		
Copernicus Sentinel-5P	S-5	multispectral imaging spectrometer	Tropomi
CryoSat	CryoSat-2	Synthetic Aperture Interferometric Radar Altimeter	SIRAL
CryoSat	CryoSat-2	Doppler Orbit and Radio Positioning Integration by Satellite	DORIS
CubeSat	SIMBA	Sun-Earth Imbalance	SIMBA
Daedalus			
Delfi-C3		Autonomous Wireless Sun Sensor	AWSS

earthCARE		ADM-Aeolus	livas
EnMAP		Hyperspectral Imager	HSI
EnVison			
euclid		Near Infrared Spectrometer and Photometer	NISP
euclid		Visible Imager	VIS
EUMETSAT			
EUMETSAT	MetOp-B	Infrared Atmospheric Sounding Interferometer	IASI
EUMETSAT	MetOp-B	Global Navigation Satellite System Receiver for Atmospheric Sounding	GRAS
EUMETSAT	MetOp-B	Advanced SCATterometer	ASCAT
EUMETSAT	MetOp-B	Global Ozone Monitoring Experiment-2	GOME-2
exomars		ExoMars rover	
exomars		ExoMars Trace Gas Orbiter	TGO
Far-infrared-Outgoing-Radiation Understanding and Monitoring	FORUM		
flex		Hyplant	
FORUM			
FSSCat		HyperSCout 2	
GAIA			
Galileo		Lunar Gravity Ranging System	LGRS
Gaofen-5		hyperspectral Imager	
G-Class			
Geostationary Carbon Observatory	GeoCarb		
goce		Electrostatic Gravity Gradiometer	EKG
GomX-4B CubeSat		HyperScout	HyperCube
GOSAT-1	Ibuki	TANSO-FTS	TANSO-FTS

GOSAT-3			
GOSAT-GW			
Gravity Recovery and Climate Experiment	GRACE-FO	laser-ranging interferometry	LRI
Gravity Recovery and Interior Laboratory	GRAIL		
Habitable Exoplanet Observatory	HabEx		
Harmony	stereoid		
herschel		Heterodyne Instrument for the Far Infrared	HIFI
herschel		Photoconductor Array Camera and Spectrometer	PACS
herschel		Spectral and Photometric Imaging REceiver	SPIRE
HiderBand	First Dutch Nano Satellite		
Hitomi	ASTRO-H	hard X-ray images	HXI
Hitomi	ASTRO-H	soft X-ray spectrometer	SXS
Hitomi	ASTRO-H	CCD camera	SXI
ICESAT-2			
ICEYE-X	ICEYE POC	synthetic-aperture radar	SAR
International Space Station (ISS)			
james webb space telescope	JWST	Near Infrared Camera	NIRCam
james webb space telescope	JWST	Near-Infrared Spectrograph	NIRSpec
james webb space telescope	JWST	Mid-Infrared Camera and Spectrograph	MIRI
james webb space telescope	JWST	Fine Guidance Sensors	FGS
james webb space telescope	JWST	Near Infrared Imager and Slitless Spectrograph	NIRISS
Jason-3			
Juno		gravity/radio science system	

Juno		microwave radiometer for atmospheric sounding and composition	MWR
Juno		vector magnetometer	MAG
Juno		Plasma and energetic particle detectors	JADE
Juno		Plasma and energetic particle detectors	JEDI
Juno		radio/plasma wave experiment	Waves
Juno		ultraviolet imager/spectrometer	UVS
Juno		infrared imager/spectrometer	JIRAM
JUpiter ICy moons Explorer	JUICE	Planetary Radio Interferometer	PRIDE
JUpiter ICy moons Explorer	JUICE	3GM	3GM
JUpiter ICy moons Explorer	JUICE	Radio & Plasma Wave Investigation	RPWI
JUpiter ICy moons Explorer	JUICE	Particle Environment Package	PEP
JUpiter ICy moons Explorer	JUICE	J-MAG	J-MAG
JUpiter ICy moons Explorer	JUICE	Radar for Icy Moons Exploration	RIME
JUpiter ICy moons Explorer	JUICE	GAnymede Laser Altimeter	GALA
JUpiter ICy moons Explorer	JUICE	Sub-millimeter Wave Instrument	SWI
JUpiter ICy moons Explorer	JUICE	UV imaging Spectrograph	UVS
JUpiter ICy moons Explorer	JUICE	Moons and Jupiter Imaging Spectrometer	MAJIS
JUpiter ICy moons Explorer	JUICE	JANUS	
Landsat 8	LDCM		
LISA pathfinder	LISA	Drag-Free and Attitude Control System	LTP DFACS
LISA pathfinder	LISA	Disturbance Reduction System	DRS
Lunar Reconnaissance Orbiter	LRO	Lunar Crater Observation and Sensing Satellite	LCROSS
Lunar Reconnaissance Orbiter	LRO	Lunar Reconnaissance Orbiter Camera	LROC
Lunar Reconnaissance Orbiter	LRO	Lunar Orbiter Laser Altimeter	LOLA
Lunar Reconnaissance Orbiter	LRO	Lunar Exploration Neutron Detector	LEND
Lunar Reconnaissance Orbiter	LRO	Lyman-Alpha Mapping Project	LAMP

Lunar Reconnaissance Orbiter	LRO	Cosmic Ray Telescope for the Effects of Radiation	CRaTER
MAIA		MAIA	MAIA
Mars Exploration Program		Mars Rover 2020	Mars Rover
Mars Exploration Program		Insight Mars Lander	Insight Mars Lander
Mars Exploration Program		Mars Perseverance Rover	
Mars Exploration Program		Seismic Experiment for Interior Structure	SEIS
Mars Exploration Program		Rotation and Interior Structure Experiment	RISE
Mars Science Laboratory		Curiosity rover	
MERLIN		active Lidar	
MethaneSat			
MetOp-SG		Multi-Viewing Multi-Channel Multi-Polarisation Imaging	3MI
MetOp-SG		Infrared Atmospheric Sounder Interferometer - New Generation	IASI-NG
MetOp-SG		Microwave Imager	MWI
MetOp-SG		METimage	
MicroCarb			
New Horizons		Long-Range Reconnaissance Imager	LORRI
New Horizons		Solar Wind Around Pluto	SWAP
New Horizons		Pluto Energetic Particle Spectrometer	PEPS
NLS-4		Delfi-C3	
Orbiting Carbon Observatory-2	OCO-2		
Orbiting Carbon Observatory-3	OCO-3		
OSIRIS-Rex		OCAM	OCAM
OSIRIS-Rex		OSIRIS-REx Laser Altimeter	OLA
OSIRIS-Rex		OSIRIS-REx Thermal Emission Spectrometer	OTES
OSIRIS-Rex		OSIRIS-REx Visible and Infrared Spectrometer	OVIRS

OSIRIS-Rex		Regolith X-Ray Imaging Spectrometer	REXIS
PACE		Spectro-polarimeter for Planetary Exploration	SPEXone
PACE		Hyper Angular Research Polarimeter	HARP2
Parker Solar Probe		FIELDS	
Parker Solar Probe		Solar Wind Electrons Alphas and Protons investigation	SWEAP
Parker Solar Probe		Integrated Science Investigation of the Sun	ISOIS
Parker Solar Probe		Wide-Field Imager for Parker Solar Probe	WISPR
Planck		High Frequency Instrument	HFI
Planck		Low Frequency Instrument	LFI
PLATO			
Pleiades	Pléiades-HR		
PRISMA		TBC	
Quantum			
Roman Space Telescope (WFIRST)			
Rosetta		Philae	Philae
Rosetta			
SAT-AIS		microsatellites	SAT-AIS
Scintillation in earth atmosphere	Brik-II	Brik-II	Brik-II
SKIM			
SMAP			
SMILES			
SMOS		Microwave Imaging Radiometer with Aperture Synthesis	MIRAS
Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy	SOFIA	Faint Object Infrared Camera	FORCAST
SOHO		LASCO	
SOHO		SWAN	



solar orbitor		Energetic Particle Detector	EPD
solar orbitor		Magnetometer	MAG
solar orbitor		Solar Wind Analyzer	SWA
solar orbitor		Radio and Plasma Waves	RPW
solar orbitor		Extreme Ultraviolet Imager	EUI
solar orbitor		Metis	
solar orbitor		Polarimetric and Helioseismic Imager	PHI
solar orbitor		Solar Orbiter Heliospheric Imager	SoloHi
solar orbitor		Spectral Imaging of the Coronal Environment	SPICE
solar orbitor		X-ray Spectrometer/Telescope	STIX
Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics	SPICA	SpicA FAR-infrared Instrument	SAFARI
Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics	SPICA	SPICA Mid-Infrared Instrument	SMI
Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics	SPICA	Magnetic field explorer with Bolometers and Polarizers	B-BOP
Stereoid	Harmony		
Suomi - NPP		VIIRS	VIIRS
Suomi - NPP		CrIS	CrIS
Surface Water and Ocean Topograph	SWOT		
Swarm		Vector Field Magnetometer	VFM
Swarm		Absolute Scalar Magnetometer	ASM
Swarm		thermal-ion imager	
TanSat			
Terra		MISR	
Theseus			

T-Minus DART		
XMM-Newton		
XRISM	XARM	Resolve
XRISM	XARM	Xtend

Keywords	Keywords	Keywords
67P	Absolute Scalar Magnetometer	aerosols
air pollution	air quality	albedo
Antarctica	atmospheric observation	asteroid
astronaut	astronomy	astrophysics
atmosphere	atmospheric composition	BDS
bed rest studies	BeiDou	biospheric process
black hole	bright stars	burned area
CH4	chameleon satellite	chemical composition
Churyumov–Gerasimenko	climate change	climate monitoring
climate variables	cloud info	clouds
CMB	CO2	collision avoidance
comet	conjunction event	coronal mass ejection
corotating streams	cosmic dust	cosmic microwave
cosmic microwave background	cosmic ray	cosmic structure
cosmonaut	cubesat	cubesat propulsion
dark energy	dark matter	data assimilation
deep-space exploration	deformable mirror	de-orbit
discarded launch stages	discontinuities	distributed Processing
driver gas	early universe	earth imaging
earth impact	earth observation	earth radiation
earth radiation budget	earth-like exoplanets	eddies
ejecta	electric field	emergency warning
energetic particles	engineering for hazard mitigation	ERB
exoplanet	exo-planet	exploded star
extrasolar planet	extrasolar planetary systems	fapar

Keywords	Keywords	Keywords
FIELDS	fire detection	fluorescence
forecasting	forest biomass	free-form optics
frp	galaxy	galaxy cluster
galaxy nuclei	Galileo	gamma-ray burst
geoid	geomagnetic activity	geomagnetic storm
geomagnetically induced current	geospheric process	geostationary
glacial dynamics	global carbon cycle	Global Navigation Satellite System
Global Positioning System	global wind	GLONASS
Glonass climate monitoring	GNSS	GNSS reflectometry
GPS	GPS clocks	gravitational wave
gravity field	greenhouse gas	Greenland
height observations	heliopause	heliosphere
heliosphere interaction	high-resolution imaging	high-resolution spectrometer
hydrology	hyperspectral imaging	impacts on humans
impacts on technological systems	inactive satellites	infrared
Instruments and techniques	interferometry	International Space Station
Interplanetary dust	interplanetary flight	Interplanetary magnetic field
Interplanetary shocks	Interstellar gas	interstellar medium interaction
ionosphere	ionosphere monitoring	Ionospheric effects on radio waves
Ionospheric storms	ISOIS	ISS
Jupiter	LAI	Leaf Area Index
land monitoring	lander	land-surface temperature
laser communication	LEO	LiDAR
light detection and ranging	low earth orbit	Lunar Gravity Ranging System
lunar mission	Lunar Orbital Gateway	magnetic cloud

Keywords	Keywords	Keywords
magnetic field	magnetic storms	magnetosphere
magnetosphere monitoring	manned space flight	Mars
Mars mission	Mars Sample Return	Mercury
meteorite	meteorological	MH4
MHD turbulence	MHD wave	magnetohydrodynamics
micro systems technology	microbial life	microgravity
microsatellites	moon	moon rover
motion planning	nanosat	Near Earth Objects
neutral particles	ocean color	ocean ecosystem
ocean eddie	ocean monitoring	ocean salinity
ocean surface topography	OLFAR	optical coating
orbit	orbit determination	orbit prediction
orbiter	Orbiting Low Frequency Array	ozone
Parker Solar Probe	Philae	photosynthesis
pickup ions	planet	Planetary bow shocks
planetary system	plankton	plant health
Plasma waves and turbulence	PNT	pointing mechanism
polar sea ice	polarization	polar-orbiting
position, navigation and timing	positioning system	primary productivity
propulsion	Quantum	quasars
Quazi Zenith Satellite System	QZSS	radar
radar detection	radiation	radio Astronomy
radio detection	ranging	real-time capture
re-entry	remote sensing	reprogrammable satellite
robotic mission	rover	SAR

Keywords	Keywords	Keywords
SAT-AIS	satellite	satellite data
Satellite Data Portal	satellite drag	satellite navigation
satellite observation	satellite Receiver	satellite swarm
satellite time standard	satellite tracking	scintillation
sea surface height	sea temperature	seaferring vessels
search and rescue	sea-surface topography	seismic signals
SiF	solar-induced fluorescence	small satellite
smallsat propulsion	small-scale ocean circulation patterns	SOHO
soil moisture	solar activity	solar cycle variation
solar effects	solar irradiance	solar orbiter
solar system	solar wind	solar wind plasma
solar wind sources	solar wind termination	solar-like stars
sounding rocket	space astrometry	space data
space debris	Space debris tracking	space experiment
space Flight	space observation	space Observatory
space Optics	space qualification	space radiation environment
space robotics	space station	space surveillance
space telescope	space Weather	spacecraft
spectoscopy	star formation	stars
stratosphere	sun atmosphere	sun sensor
sun surface	sun surface	sun-like stars
supernova	surface	surveying
SWEAP	tectonic plate motion	thermal structures
thermal-ion imager	thermo-mechanical stability	thermosphere monitoring
thermosphere	trace gas	tracking

Keywords	Keywords	Keywords
tracking ships	troposphere	troposphere
Vector Field Magnetometer	Venus	volcanic ash
water	weather	weather forecasting
weightlessness	whirlwinds	WISPR
x-ray astronomy	X-ray telescope	

# Bijlage 4. Scores per Topic Cluster (ruime afbakening)

ID Topic Cluster label	Output		Impact (FWCI)				Zichtbaarheid (FWVI)						
	Output NL	% NL in/from space	Groei NL	groei NL in/from space	% NL top 20	Rank NL	FWCI NL	Rank NL	FWCI Top 20	FWCI no.1	no.1 (country)	FWVI NL	FWVI Top 20
<b>Astronomie/astrofysica</b>	<b>10.961</b>	<b>40%</b>	<b>1,2%</b>	<b>2,1%</b>	<b>2,86%</b>	<b>12</b>	<b>2,35</b>	<b>4</b>	<b>1,87</b>	<b>2,49</b>		<b>2,27</b>	<b>2,31</b>
1 Galaxies; Stars; Planets	7.014	48%	↔ 2%	↑ 48%	4,24%	9	2,12	5	1,88	2,34	Switzerland	1,26	1,25
6 Decay; Quarks; Neutrinos	2.285	10%	↔ 1%	↓ 10%	2,06%	17	3,06	2	2,40	3,11	Austria	6,31	5,06
15 Gravitation; Black Holes (Astronomy); Models	1.234	51%	↔ -5%	↑ 51%	2,07%	16	2,49	1	1,59	2,49	<b>Netherlands</b>	0,88	0,67
83 Nuclei; Neutrons; Reaction	139	11%	↔ -17%	↓ 11%	0,46%	42	1,11	6	0,88	1,20	Switzerland	1,51	1,14
746 X Ray Optics; Phase Contrast; Synchrotron Radiation	190	41%	↔ 23%	↔ 41%	1,96%	10	2,92	1	1,27	2,92	<b>Netherlands</b>	1,26	1,08
948 Physics; Universe; Entropy	41	17%	↔ -8%		1,38%	18	1,25	1	0,61	1,25	<b>Netherlands</b>	1,33	0,76
1221 Relativity; Gravitation; Physics	35	11%	↔ -41%		1,59%	18	0,92	3	0,57	1,39	United Kingdom	0,55	13,41
1349 Relativity; Particles; Space	23	28%	↔ 18%		1,16%	24	0,61	9	0,51	0,81	Israel	0,46	0,58
<b>Planeetonderzoek</b>	<b>689</b>	<b>53%</b>	<b>4,9%</b>	<b>18,0%</b>	<b>2,24%</b>	<b>12</b>	<b>1,46</b>	<b>6</b>	<b>1,20</b>	<b>1,59</b>		<b>1,48</b>	<b>1,18</b>
133 Asteroids; Comets; Mars	689	53%	↔ 5%	↔ 53%	2,24%	12	1,46	6	1,23	1,59	Switzerland	1,48	1,18
<b>Aardobservatie</b>	<b>13.402</b>	<b>27%</b>	<b>5,1%</b>	<b>4,7%</b>	<b>2,41%</b>	<b>14</b>	<b>2,00</b>	<b>3</b>	<b>1,43</b>	<b>2,16</b>		<b>1,75</b>	<b>1,37</b>
5 Climate Models; Model; Rainfall	2.115	33%	↔ 6%	↔ 33%	2,11%	14	2,17	1	1,49	2,17	<b>Netherlands</b>	1,65	1,21
34 Reynolds Number; Boundary Layers; Large Eddy Simulation	831	19%	↔ -2%	↔ 19%	1,78%	14	1,37	2	1,07	1,39	Germany	1,10	0,98
42 Aerosols; Air Quality; Atmospheric Aerosols	1.053	42%	↔ 2%	↔ 42%	1,99%	16	1,87	2	1,49	1,90	Hong Kong	1,80	1,48
52 Oceans; Lakes; Dissolved Organic Matter	836	21%	↔ 6%	↔ 21%	1,97%	17	2,18	2	1,57	2,58	Switzerland	1,77	1,43
103 Glaciers; Holocene; Glacial Geology	691	30%	↔ 3%	↔ 30%	2,23%	17	2,49	1	1,66	2,49	<b>Netherlands</b>	1,86	1,53
151 Forests; Landscapes; Plants	985	13%	↔ 7%	↔ 13%	1,89%	12	2,49	2	1,82	2,59	Denmark	2,12	1,60
153 Remote Sensing; Image Classification; Satellite Imagery	997	40%	↔ 13%	↔ 40%	2,12%	13	2,25	4	1,67	2,64	Switzerland	1,87	1,40
204 Synthetic Aperture Radar; Radar; Radar Imaging	448	56%	↔ 4%	↔ 56%	1,40%	15	1,26	8	1,09	1,51	Italy	0,89	0,82
206 Ozonization; Degradation; Wastewater Treatment	350	8%	↔ 18%	↔ 8%	0,95%	27	2,02	2	1,52	2,35	Australia	3,18	2,20
252 Tides; Ocean; Ocean Currents	490	32%	↔ 4%	↔ 32%	2,44%	12	1,60	2	1,15	1,70	Norway	1,49	1,05
278 Fires; Forests; Wildfires	125	15%	↔ 3%	↔ 15%	0,88%	28	2,14	1	1,24	2,14	<b>Netherlands</b>	2,23	1,36
282 Aquifers; Groundwater Resources; Groundwater Flow	336	22%	↔ 6%	↔ 22%	1,99%	14	1,66	1	1,13	1,66	<b>Netherlands</b>	1,64	1,27
284 Waves; Water Waves; Wave Energy Conversion	764	34%	↔ 0%	↔ 34%	4,03%	9	1,35	6	1,10	1,85	Ireland	1,21	1,08
399 Corals; Coral Reefs; Cnidaria	421	12%	↔ -3%	↔ 12%	3,10%	11	1,58	1	1,39	2,42	Saudi Arabia	1,24	1,37
431 Particulate Matter; Air Pollution; Air Pollutants	397	14%	↔ 10%	↔ 14%	2,07%	14	3,90	1	2,42	3,90	<b>Netherlands</b>	2,76	2,11
451 Near Infrared Spectroscopy; Raman Spectrum Analysis; Infrared Devices	97	17%	↔ -2%	↔ 17%	0,69%	29	0,93	14	1,12	2,45	Ireland	1,66	1,41
508 Electrical Resistivity; Ground Penetrating Radar Systems; Geological Surveys	114	29%	↔ -5%	↔ 29%	0,90%	30	0,98	8	0,76	1,32	United Kingdom	0,86	0,88
515 Geographic Information Systems; Maps; Models	361	12%	↔ 15%	↔ 12%	3,53%	10	1,75	1	1,04	1,75	<b>Netherlands</b>	1,38	1,27
558 Land Use; Models; Rural Areas	175	9%	↔ -3%	↔ 9%	1,61%	10	1,88	3	1,27	2,12	Hong Kong	1,93	1,46
621 Farmers; Smallholder; Farms	436	17%	↔ -6%	↔ 17%	5,70%	6	1,88	2	1,33	1,95	Italy	2,64	1,79
663 Forest; Deforestation; Conservation	549	9%	↔ 9%	↔ 9%	4,19%	9	2,45	2	1,74	2,63	Norway	2,07	1,70
674 Wetlands; Desertification; Plateau	87	16%	↔ -8%	↔ 16%	1,20%	16	1,62	3	1,07	1,72	Canada	1,81	1,18
773 Benthic Foraminifera; Planktonic Foraminifera; Paleoceanography	342	14%	↔ 6%	↔ 14%	4,68%	7	1,67	1	1,21	1,67	<b>Netherlands</b>	1,77	1,55
797 GRACE; Gravitation; Geodetic Satellites	193	63%	↔ 7%	↔ 63%	2,54%	12	1,52	5	1,15	2,05	Ukraine	1,34	1,02
972 Photogrammetry; Unmanned Aerial Vehicles (UAV); Remote Sensing	122	23%	↔ 12%	↔ 23%	1,33%	22	2,23	2	1,23	2,28	Switzerland	1,87	1,44
1091 Rivers; Sediments; Lakes	62	24%	↔ 17%	↔ 24%	1,40%	8	1,29	5	1,09	1,55	Italy	1,48	1,21
1361 Oil Spills; Hazardous Materials Spills; Marine Pollution	25	19%	↔ 65%		1,18%	24	1,05	11	0,81	1,59	Denmark	1,60	1,55

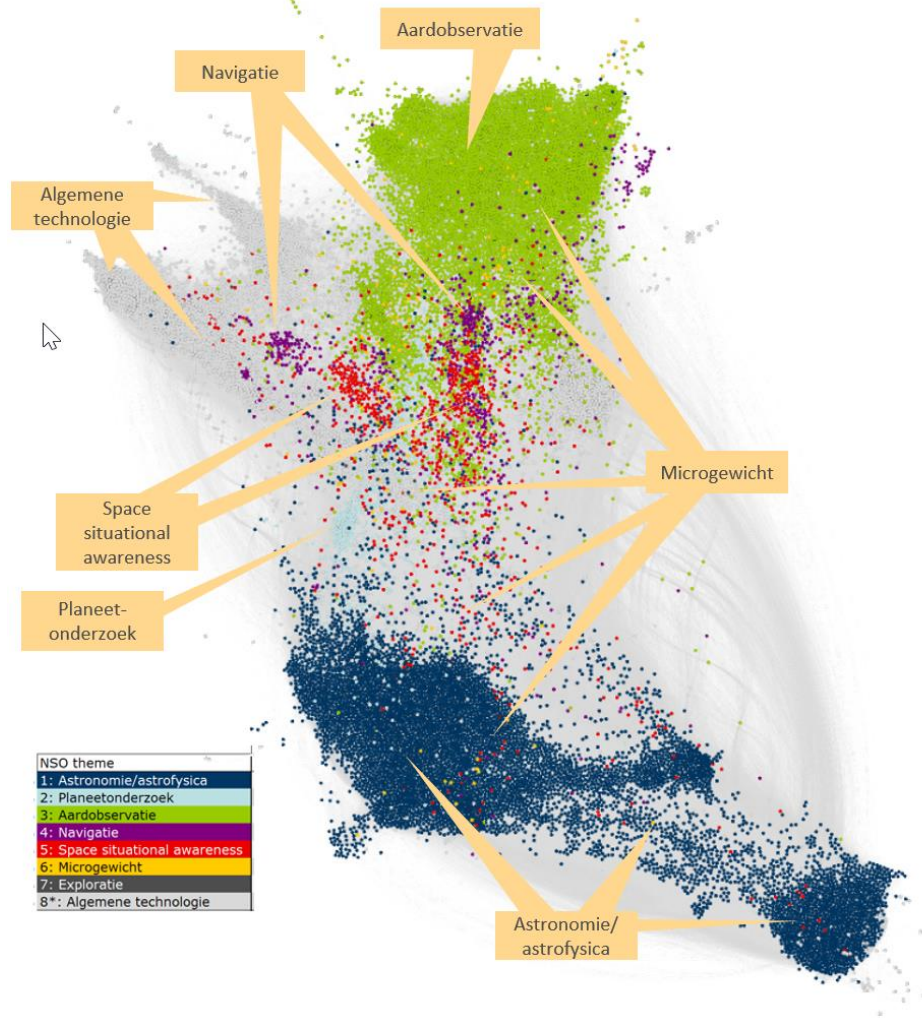


(vervolg)

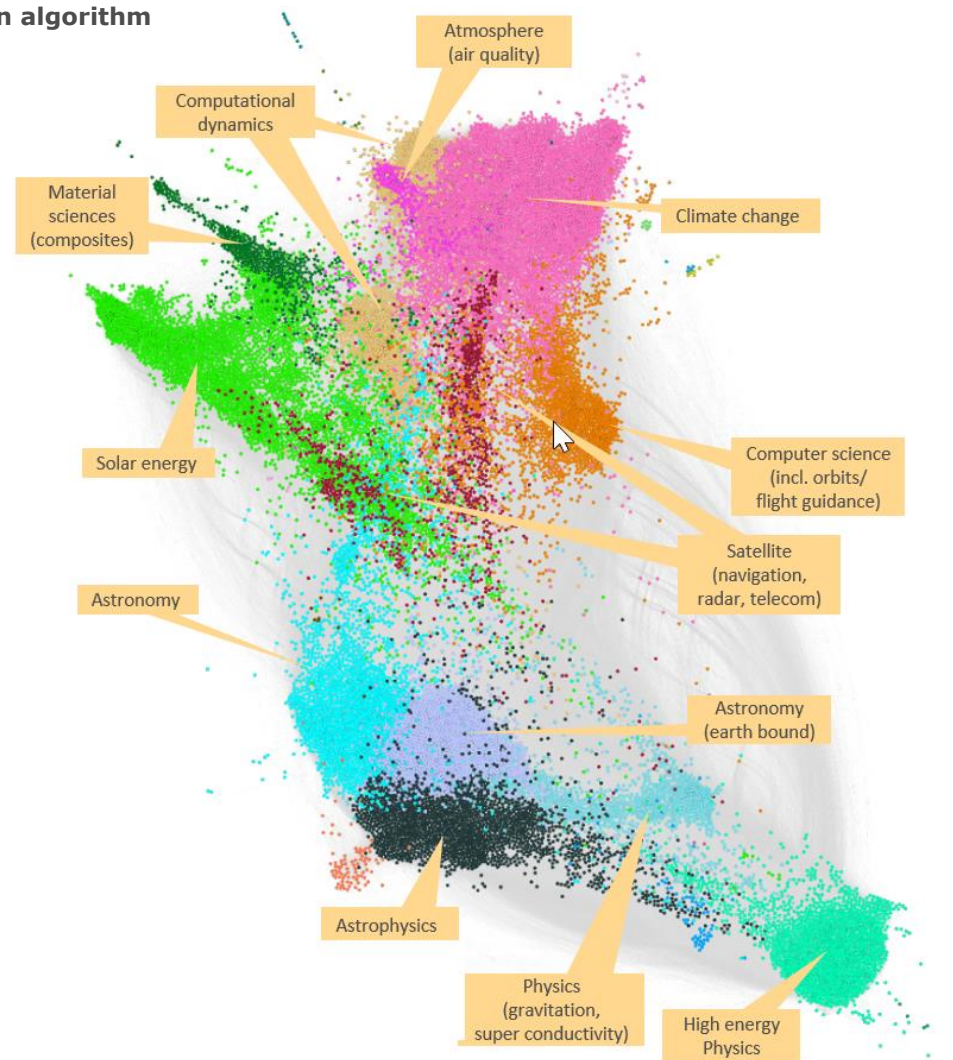
ID	Topic Cluster label	Output					Impact (FWCI)					Zichtbaarheid (FWVI)		
		Output NL	% NL in/from space	Groei	groei NL in/from space	NL top : Rank	FWCI NL	Rank	WCI Top	FWCI no.1	no.1 (country)	FWVI NL	FWVI Top 20	
<b>Navigatie</b>		<b>893</b>	<b>21%</b>	<b>####</b>	<b>-2,4%</b>	<b>2,22%</b>	<b>14</b>	<b>1,26</b>	<b>8</b>	<b>1,15</b>	<b>1,85</b>	<b>0,94</b>	<b>0,87</b>	
590	Atomic Clocks; Rubidium; Frequency Standards	87	21%	↑ 27%	↓ 21%	0,81%	22	0,86	12	0,88	1,42	Germany	0,66	0,63
712	Global Positioning System; Satellites; Navigation	279	44%	↓ -12%	↑ 44%	2,24%	14	1,40	6	1,13	1,72	Switzerland	0,86	0,77
763	Airports; Air Transportation; Aircraft	298	4%	↔ 18%	↔	3,05%	10	0,88	10	0,90	1,52	Australia	1,30	1,22
796	Optical Communication; Light Emitting Diodes; Atmospheric Turbulence	229	14%	↑ 24%	↓ 14%	1,67%	15	1,90	6	1,56	2,55	Saudi Arabia	0,66	0,89
<b>Space situational awareness</b>		<b>1.019</b>	<b>39%</b>	<b>4,7%</b>	<b>8,7%</b>	<b>1,68%</b>	<b>17</b>	<b>1,28</b>	<b>5</b>	<b>0,96</b>	<b>1,56</b>		<b>1,02</b>	<b>0,86</b>
31	Magnetic Fields; Ionospheres; Sunspots	317	58%	↑ 15%	↑ 58%	0,77%	26	1,11	7	0,94	1,54	Denmark	0,73	0,71
184	Discharge; Plasma Applications; Plasma Jets	320	23%	↓ -6%	↓ 23%	1,61%	14	1,56	3	1,09	1,76	Belgium	1,42	1,21
493	Orbits; Spacecraft; Satellites	382	37%	↔ 3%	↔ 37%	2,50%	11	1,17	4	0,85	1,33	Italy	0,93	0,83
<b>Microgewicht</b>		<b>306</b>	<b>28%</b>	<b>7,1%</b>	<b>22,1%</b>	<b>3,73%</b>	<b>8</b>	<b>0,73</b>	<b>6</b>	<b>0,64</b>	<b>1,24</b>		<b>0,78</b>	<b>0,86</b>
935	Weightlessness; Space Flight; Manned Space Flight	128	39%	↓ 7%	↑ 39%	2,63%	10	0,78	10	0,80	1,59	Denmark	0,89	0,96
1303	Space; International Cooperation; Space Research	178	18%	↑ 30%	↓ 18%	4,53%	7	0,68	3	0,48	0,80	Canada	0,70	0,74
<b>Exploratie</b>		<b>47</b>	<b>23%</b>	<b>-2,4%</b>	<b>6,7%</b>	<b>0,90%</b>	<b>14</b>	<b>1,23</b>	<b>5</b>	<b>0,92</b>	<b>1,97</b>		<b>0,95</b>	<b>0,75</b>
854	Hypersonic Aerodynamics; Hypersonic Flow; Reentry	47	23%	↓ -2%	↔	0,90%	14	1,23	5	0,92	1,97	Iran	0,95	0,75
<b>Algemene technologie</b>		<b>8.322</b>	<b>14%</b>	<b>↔ 8,6%</b>	<b>2,9%</b>	<b>1,13%</b>	<b>23</b>	<b>1,51</b>	<b>8</b>	<b>1,68</b>	<b>3,20</b>		<b>1,57</b>	<b>1,39</b>
0	Algorithms; Computer Vision; Models	1.581	9%	↔ 15%	↓ 9%	0,74%	24	2,14	11	1,97	3,85	Switzerland	1,02	0,97
8	Photocatalysis; Photocatalysts; Solar Cells	693	17%	↔ 13%	↔ 17%	0,53%	30	2,64	9	2,28	5,08	Switzerland	2,11	1,90
30	Secondary Batteries; Electric Batteries; Lithium Alloys	457	8%	↑ 27%	↓ 8%	0,34%	31	2,42	10	2,33	4,07	Singapore	2,51	2,05
50	Superconductors (Materials); Superconducting Materials; Superconductivity	309	29%	↔ -2%	↔ 29%	1,10%	30	1,46	3	1,46	1,71	Canada	1,76	1,00
55	Antennas; Slot Antennas; Microwave Antennas	526	15%	↔ 4%	↔ 15%	0,89%	28	1,13	9	0,99	1,53	Hong Kong	0,63	0,73
59	Semiconductor Quantum Dots; Semiconductor Quantum Wells; Gallium Arsenide	241	60%	↓ -3%	↑ 60%	0,97%	24	1,03	4	0,83	1,28	Switzerland	1,10	1,04
61	Organic Light Emitting Diodes (OLED); Solar Cells; Conjugated Polymers	718	14%	↓ -4%	↓ 14%	1,20%	21	1,68	6	1,57	3,48	Hong Kong	1,66	1,55
97	Silicon Solar Cells; Solar Cells; Silicon	381	16%	↓ -5%	↔ 16%	1,61%	15	1,30	3	0,90	1,52	Finland	1,82	1,39
111	Fiber Lasers; Fibers; Optical Fibers	131	12%	↑ 34%	↓ 12%	0,35%	34	0,92	16	0,91	1,16	Singapore	0,89	0,88
183	Composite Materials; Laminates; Fiber Reinforced Plastics	517	3%	↔ 12%	↓ 3%	2,10%	17	1,21	6	1,02	1,62	Italy	1,91	1,51
197	Microfluidics; Fluidic Devices; Microchannels	444	13%	↔ -2%	↓ 13%	1,64%	17	1,05	10	1,04	1,42	Australia	1,56	1,52
203	Photonic Crystals; Photonics; Waveguides	409	11%	↔ 3%	↓ 11%	1,49%	19	1,07	11	1,09	2,00	Switzerland	0,99	0,90
246	MEMS; Gyroscopes; Resonators	286	4%	↔ -1%	↓ 4%	1,50%	18	1,40	7	1,31	4,93	Ukraine	1,42	1,09
256	Combustion; Combustors; Ignition	252	12%	↓ -2%	↓ 12%	1,16%	17	1,03	12	1,05	1,83	Singapore	1,19	1,39
340	Solar Energy; Photovoltaic Cells; Solar Radiation	269	15%	↔ 15%	↔ 15%	1,09%	33	1,32	14	1,29	2,02	Australia	1,81	1,29
426	Beams (Radiation); Accelerators; Free Electron Lasers	53	13%	↔ 6%	↓ 13%	0,39%	26	1,74	6	1,53	2,69	Denmark	2,35	0,94
560	Detectors; High Energy Physics; Readout Systems	151	8%	↔ 4%	↓ 8%	1,04%	22	2,43	5	1,97	2,95	Portugal	3,47	2,41
609	Additives; Manufacture; Printing	255	8%	↑ 36%	↓ 8%	1,25%	20	3,57	1	1,92	3,57	<b>Netherlands</b>	4,29	2,82
619	Thermoelectricity; Thermoelectric Equipment; Thermal Conductivity	56	7%	↔ 11%	↔	0,37%	40	1,19	15	1,17	2,22	Singapore	1,43	1,42
660	Surface Emitting Lasers; Semiconductor Lasers; High Power Lasers	44	4%	↔ 22%	↔	0,64%	23	2,38	2	0,92	2,62	Sweden	0,86	0,72
710	Adaptive Optics; Telescopes; Wavefronts	320	32%	↔ 3%	↔ 32%	2,91%	10	1,63	10	1,60	2,63	Brazil	0,69	0,87
861	Gallium Arsenide; Semiconducting Gallium; Solar Cells	45	17%	↔ 20%	↔	1,52%	15	0,79	8	0,99	3,14	Australia	0,73	1,24
951	Cadmium Telluride; Cadmium Alloys; Infrared Detectors	13	33%	↓ -11%	↔	0,36%	29	0,62	12	0,66	0,92	Canada	0,75	0,96
1004	Laser Damage; Fused Silica; High Power Lasers	50	29%	↑ 35%	↔	1,10%	12	0,67	11	0,73	1,24	Czech Republic	0,94	0,90
1025	X Rays; Fluorescence; Shielding	44	7%	↔ 11%	↔	0,88%	27	1,30	7	1,54	2,77	Turkey	1,68	1,25
1074	Composite Materials; Homogenization Method; Elasticity	34	6%	↔ 17%	↔	0,66%	27	1,52	1	0,93	1,52	<b>Netherlands</b>	3,11	1,22
1099	Lenses; Microlenses; Refractive Index	43	7%	↔	↔	1,27%	15	1,02	2	0,65	1,15	Hong Kong	0,86	0,92

# Bijlage 5. Netwerkvisualisaties (ruime afbakening)

Co-citation networks

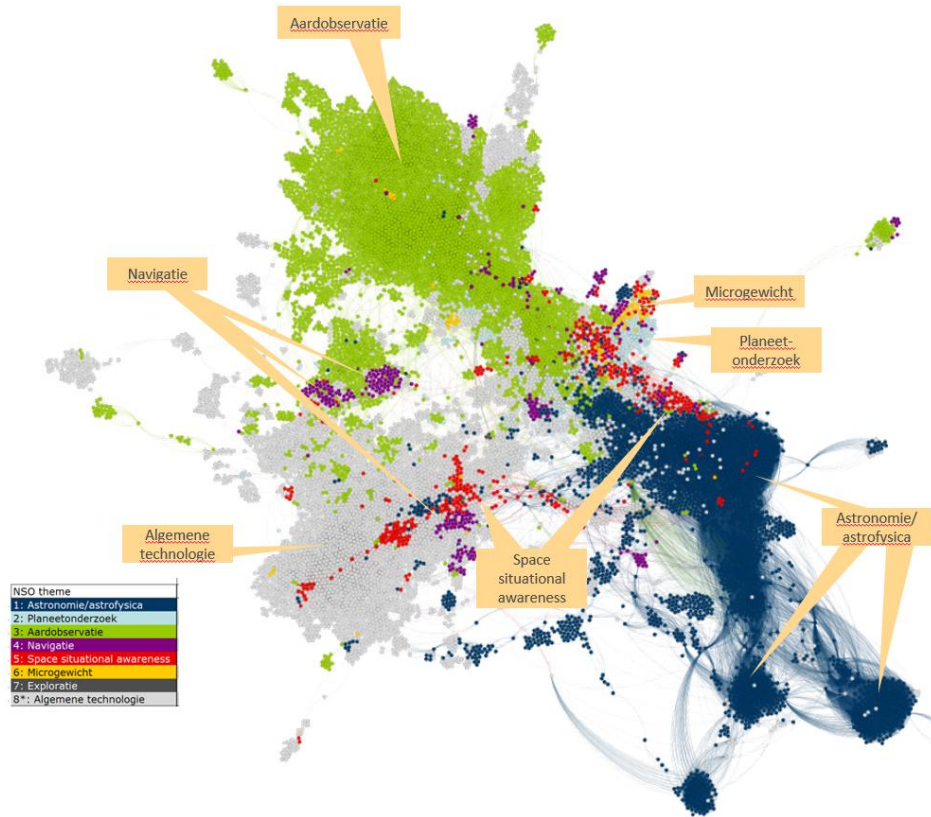


Leiden algorithm

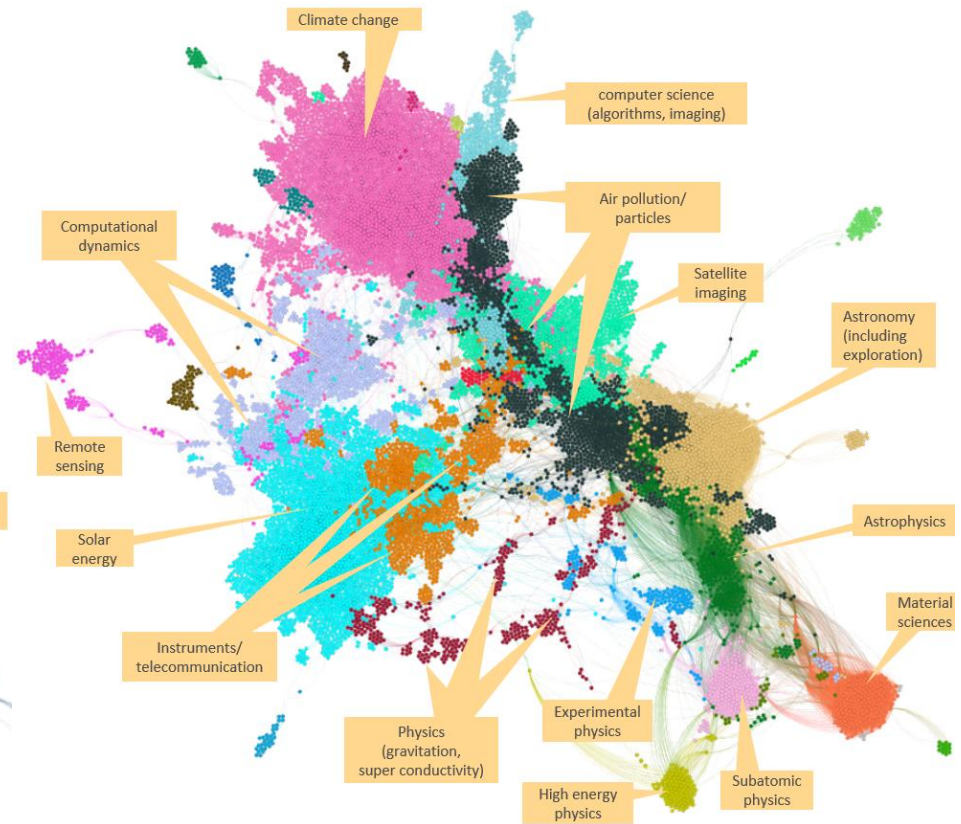




## Co-author networks




























## Leiden algorithm



## Bijlage 6. Trends 2014-2019 per Topic Cluster

TC omschrijving	brede afbakening		nadere afbakening		
	Output	groei	Output	groei	trend
<b>1 Astronomie/Astrofysica</b>		<b>0,7%</b>		<b>2,7%</b>	
1 Galaxies; Stars; Planets	7.074	2,1%	3.717	2,5%	
6 Decay; Quarks; Neutrinos	2.323	1,9%	248	5,2%	
15 Gravitation; Black Holes (Astronomy); Models	1.236	-2,8%	656	0,3%	
746 X Ray Optics; Phase Contrast; Synchrotron Radiation	189	13,4%	84	21,4%	
<b>2 Planeetonderzoek</b>		<b>6,2%</b>		<b>14,6%</b>	
133 Asteroids; Comets; Mars	698	9,8%	444	14,6%	
<b>3 Aardobservatie</b>		<b>1,9%</b>		<b>10,1%</b>	
5 Climate Models; Model; Rainfall	2.136	4,3%	893	2,6%	
34 Reynolds Number; Boundary Layers; Large Eddy Simulation	825	2,0%	162	9,0%	
42 Aerosols; Air Quality; Atmospheric Aerosols	1.063	2,7%	547	4,2%	
52 Oceans; Lakes; Dissolved Organic Matter	838	5,5%	205	1,1%	
103 Glaciers; Holocene; Glacial Geology	697	6,0%	242	6,5%	
151 Forests; Landscapes; Plants	991	6,7%	136	10,6%	
153 Remote Sensing; Image Classification; Satellite Imagery	1.001	17,1%	544	23,1%	
204 Synthetic Aperture Radar; Radar; Radar Imaging	447	4,2%	280	9,5%	
206 Ozonization; Degradation; Wastewater Treatment	353	18,8%	28	45,0%	
252 Tides; Ocean; Ocean Currents	494	6,4%	179	17,9%	
278 Fires; Forests; Wildfires	127	4,1%	22	27,7%	
282 Aquifers; Groundwater Resources; Groundwater Flow	340	8,5%	75	10,9%	
284 Waves; Water Waves; Wave Energy Conversion	778	2,5%	281	2,5%	
399 Corals; Coral Reefs; Cnidaria	426	-0,4%	57	3,3%	
431 Particulate Matter; Air Pollution; Air Pollutants	394	5,5%	69	41,1%	
451 Infrared Devices; Near Infrared Spectroscopy	99	-4,1%	20	36,7%	
508 Geological Surveys; Ground Penetrating Radar Systems	110	-2,7%	34	28,2%	
515 Geographic Information Systems; Maps; Models	367	15,2%	58	14,5%	
621 Farmers; Smallholder; Farms	444	-7,5%	77	22,8%	
663 Forest; Deforestation; Conservation	553	2,1%	55	9,3%	
773 Benthic & Planktonic Foraminifera; Paleoceanography	351	4,7%	53	-3,2%	
797 GRACE; Gravitation; Geodetic Satellites	195	8,0%	147	13,4%	
972 Remote Sensing; Photogrammetry; UAV's	124	13,8%	37	48,4%	

(vervolg)

TC omschrijving	brede afbakening		nadere afbakening		
	Output	groei	Output	groei	trend
<b>4 Navigatie</b>		<b>0,0%</b>		<b>4,3%</b>	
590 Atomic Clocks; Rubidium; Frequency Standards	84	28,7%	21	48,7%	
712 Global Positioning System; Satellites; Navigation	280	-10,4%	213	-8,2%	
796 Optical Communication; Atmospheric Turbulence	230	17,6%	90	23,3%	
<b>5 Space situational awareness</b>		<b>3,8%</b>		<b>9,2%</b>	
31 Magnetic Fields; Ionospheres; Sunspots	320	14,2%	239	13,5%	
184 Discharge; Plasma Applications; Plasma Jets	320	-6,4%	82	7,1%	
493 Orbits; Spacecraft; Satellites	383	3,9%	271	6,1%	
<b>6 Microgewicht</b>		<b>9,0%</b>		<b>17,9%</b>	
935 Weightlessness; Space Flight; Manned Space Flight	135	15,2%	71	25,5%	
1303 Space; International Cooperation; Space Research	182	25,5%	70	10,1%	
<b>7 Exploratie</b>		<b>-5,8%</b>		<b>74,3%</b>	
854 Hypersonic Aerodynamics; Hypersonic Flow; Reentry	48	-5,8%	23	74,3%	
<b>8 Algemene technologie</b>		<b>1,3%</b>		<b>15,3%</b>	
0 Algorithms; Computer Vision; Models	1.571	15,1%	176	25,9%	
8 Photocatalysis; Photocatalysts; Solar Cells	694	15,1%	119	17,8%	
30 Secondary Batteries; Electric Batteries; Lithium Alloys	461	27,8%	48	55,9%	
50 Superconductivity; Superconducting Materials;	313	-1,0%	92	3,2%	
55 Antennas; Slot Antennas; Microwave Antennas	525	2,1%	167	-4,3%	
59 Semiconductor Quantum Dots & Wells; Gallium Arsenide	243	0,7%	150	1,6%	
61 Solar cells; OLED's; Conjugated Polymers	722	-1,9%	100	7,2%	
97 Silicon Solar Cells; Solar Cells; Silicon	380	-8,7%	61	18,5%	
111 Fiber Lasers; Fibers; Optical Fibers	134	26,3%	24	76,7%	
197 Microfluidics; Fluidic Devices; Microchannels	441	4,7%	60	0,8%	
203 Photonic Crystals; Photonics; Waveguides	401	3,5%	51	44,7%	
256 Combustion; Combustors; Ignition	251	-2,4%	31	-7,7%	
340 Solar Energy; Photovoltaic Cells; Solar Radiation	274	8,4%	48	14,3%	
560 Detectors; High Energy Physics; Readout Systems	154	11,2%	21	18,3%	
609 Additives; Manufacture; Printing	255	33,6%	25	70,0%	
710 Adaptive Optics; Telescopes; Wavefronts	324	10,4%	134	16,7%	

## Bijlage 7. Vragenlijst interviews

1. Inhoudelijk profiel van Nederland: OCW/NSO onderscheidt 7 thema's in ruimteonderzoek (1) astronomie/astrofysica; 2) planeetonderzoek; 3) aardobservatie; 4) navigatie; 5) space situational awareness; 6) microgewicht; 7) exploratie (Bijlage A). Vragen:
  - a. Dekken deze 7 thema's het overgrote deel van het Nederlandse ruimteonderzoek?
  - b. Welke (bestaande of opkomende) thema's mist u eventueel?
  - c. Overlap evt toe- of afgenomen?
  - d. Is de verdeling van onderzoeksinspanningen over de 7 thema's gewijzigd sinds 2014, en zo ja, hoe?
2. Welke wetenschappelijke disciplines zijn sinds 2014 meer of minder belangrijk geworden? Is de interdisciplinariteit van het Nederlandse ruimteonderzoek sinds 2014 toe- of afgenomen?
3. Kern en schilspelers in het Nederlandse ruimteonderzoek. Stel we maken in het Nederlandse ruimteonderzoek een onderscheid tussen kernspelers (exclusief gefocust op ruimteonderzoek, geven het domein vorm), spelers 1<sup>e</sup> schil (zijn in belangrijke mate afhankelijk van en geven mede vorm aan ruimteonderzoek) en 2<sup>e</sup> schil (zijn actieve gebruikers resultaten ruimteonderzoek, maar geven geen vorm aan ruimteonderzoek zelf). Vragen:
  - a. Is het aantal kernspelers toe- of afgenomen? Kunt u voorbeelden noemen?
  - b. Idem 1<sup>e</sup> schil en 2<sup>e</sup> schilspelers
4. Hoe beoordeelt u de omvang en kwaliteit van het Nederlandse ruimteonderzoek t.o.v. ruimteonderzoek in Europa/Wereld? Wat is het belang van deelname in c.q. 'inbrengen' onderzoeksfaciliteiten daarbij? Voorbeelden?
5. Selectiviteit van het Nederlandse ruimteonderzoek. Vragen:
  - a. Wat zijn evidente zwaartepunten/specialiteiten in het Nederlandse ruimteonderzoek in vergelijking met Europa/wereld?
  - b. Zijn er specialisaties waar Nederlandse inbreng onontbeerlijk is? Of andersom, waar Nederlandse inbreng inwisselbaar is?
  - c. Wat zijn voorbeelden van recente (ca 5 jaar) doorbraken in ruimteonderzoek met Nederlandse betrokkenheid?
  - d. Zijn er voorbeelden van belangrijke wetenschappelijke doorbraken/*emerging topics* die Nederland bewust/onbewust links laat liggen?
6. Belangrijke samenwerkingspartners van het Nederlandse ruimteonderzoek. Vragen:
  - a. Binnen Nederlandse ruimteonderzoek, dus Nederlandse kernspelers die echt een spin in het web zijn?
  - b. Binnen internationale ruimteonderzoek?
  - c. Relatieve belang van ESA, bijvoorbeeld specifieke programma's en missies?
  - d. Buiten het ruimteonderzoek, in Nederland en internationaal?
  - e. Samenwerking met bedrijven in Nederland?
  - f. Samenwerking met bedrijven internationaal?

7. Wat zijn de belangrijkste bijdragen van het Nederlandse ruimteonderzoek aan respectievelijk Topsectoren/TKIs; sleuteltechnologieën; maatschappelijke missies; en/of NWA-routes (zie bijlage B1, B2, C en D voor overzicht)?
8. Wat ziet u als de belangrijkste kansen en bedreigingen als het gaat om de ontwikkeling van het Nederlandse ruimteonderzoek in het komende decennium? Wat verdient naar uw mening vooral aandacht van onderzoekers en/of de Nederlandse overheid? Waar is evt meer samenwerking wenselijk?

## Bijlage 8. Overzicht interviewrespondenten

Naam	Organisatie
dr. Ronald Stark	NOVA
prof. Koen Kuijken	Universiteit Leiden/Sterrewacht Leiden
prof. Wim van Westrenen	VU
prof. Guus Velders	RIVM/UU
prof. Ilse Aben	SRON
prof. Henri Werij	TU Delft
prof. Martin Herold	WUR
prof. Bram Bregman	PBL
prof. Pieternel Levelt	KNMI
prof. Pieter Visser	TU Delft
dr. Bert van den Oord	KNMI
dr. Jack van Loon	VUmc
drs. Kees Buijsrogge	TNO Space
prof. Marco Beijersbergen	cosine/Universiteit Leiden
dr. Tanja Masson-Zwaan	Universiteit Leiden



# Bijlage 9. Overzicht leden begeleidingscommissie en klankbordgroep

## Leden begeleidingscommissie

Naam	Organisatie
Martijn Poel	OCW
Dorien Lanting	OCW
Radboud Koop	NSO
Martijn Deenen	NWO
Wim Ploeg	IenW
Hans Scholten	IenW
Eelco van der Eijk	EZK

## Leden klankbordgroep

Naam	Organisatie
Bert van den Oord	KNMI
Chris Verhoeven	TU Delft
Erik van Sebille	UU
Arie Korbijn	KNAW
Ewine van Dishoeck	UL/NOVA
Martijn Verwegen	VSNU
Michael Wise	SRON
Niek Doelman	TNO Space
Peter Jacob Buist	Galileo Reference Center







**Contact:**

Dialogic innovatie & interactie  
Hooghiemstraplein 33  
3514 AX Utrecht  
Tel. +31 (0)30 215 05 80  
[www.dialogic.nl](http://www.dialogic.nl)

