

# Jaarverslag

Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA)



2021-2022



# Colofon

## Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA)

Ringlaan 3, 1180 Brussel - België  
www.aeronomie.be

## Verantwoordelijk uitgever

Martine De Mazière

## Coördinatie en eindredactie

Karolien Lefever

## Vertaling

Lucie Lamort - Karolien Lefever

## Concept en realisatie

Aanpassing van C-Company door Florian Moreau / Stéphanie Fratta  
Foto op de omslag: schilderij door Noel C. Baker / Instagram: noel.c.baker

## Wettelijk Depot

D/2023/678/3

## Publicatiedatum

November 2023

# Index

4	Voorwoord
8	Ruimtefysica
13	Impact van kortlevende polluenten op luchtkwaliteit en klimaat
20	Impact van langlevende polluenten op luchtkwaliteit en klimaat
23	Uitwisselingen tussen biosfeer en troposfeer
26	Stratosferische samenstelling en klimaat
29	Planetaire aeronomie
31	Ontwikkeling van ruimtemissies: wetenschap en technologie
35	Ontwikkeling van instrumenten op de grond en in de lucht: wetenschap & technologie
37	Belgian Radiometric Characterization Laboratory
39	Belgian User Support and Operations Centre
41	Kennis- en informatieverspreiding en vorming
45	Het BIRA in cijfers

# Martine De Mazière

« Het BIRA kan in 2021-2022 uitstekende en zeer diverse wetenschappelijke resultaten presenteren zoals uit dit verslag – dat slechts de belangrijkste realisaties in de verf zet - duidelijk blijkt. In het bijzonder zijn we fier dat twee nieuwe experimenten met belangrijke bijdragen van het BIRA aan boord van toekomstige ESA-missies geselecteerd werden voor verdere ontwikkeling. »

# Beste lezers,

Als 2021 aansloot op 2020 met het vervolg van de coronapandemie en met hoopvolle verwachtingen voor de toekomst van het Federaal Wetenschapsbeleid, is 2022 een jaar van veranderingen geweest.

4 We zijn gelukkig in de loop van 2022 stilaan uit de coronacrisis kunnen klimmen, niet zonder dat deze crisis zijn sporen heeft nagelaten. De digitale versnelling is definitief ingezet. De terugkeer naar de werkvloer is vergezeld van een regeling voor meer uitgebreid thuiswerk, en de talloze verplaatsingen voor deelname aan vergaderingen en wetenschappelijke symposia zijn vervangen door een afwisseling tussen fysieke, online of hybride vergaderingen. Het BIRA heeft zich vlot aangepast aan deze nieuwe stijl van werken. Het is duidelijk dat de (gedeeltelijke) terugkeer naar de werkvloer voor velen onmisbaar was, ofwel voor hun psychische gezondheid en sociale betrokkenheid, ofwel om de motivatie voor het werk niet te verliezen, of voor beide.

De in februari 2022 uitgebroken oorlog in Oekraïne heeft ook gevolgen gehad voor het BIRA als instelling, voor sommige personeelsleden in hun samenwerkingen met Russische en/of Oekraïense collega's, voor anderen in hun privésfeer. De grootste effecten voor het BIRA zijn de vertragingen van geplande ruimtemissies, omdat de samenwerking met Rusland voor satellietlanceringen is opgeschort, de vertragingen en kostprijsverhogingen op de levering van materiaal (instrumenten of onderdelen ervan, IT-materiaal, ...), en natuurlijk de stijging van de energieprijzen en de gevolgen van de inflatie op de salarissen van het personeel. Ondanks de welkome toelagen vanwege de federale overheid om deze verhoogde kosten deels op te vangen, kampen we met een duidelijke vermindering van de beschikbare middelen. Als deze vermindering aanhoudt, zal het huidig niveau van de wetenschappelijke activiteiten op korte tot middellange termijn noodgedwongen moeten afnemen.

Toch kan het BIRA in 2021-2022 uitstekende en zeer diverse wetenschappelijke resultaten presenteren zoals uit dit verslag – dat slechts de belangrijkste realisaties in de verf zet - duidelijk blijkt.

In het bijzonder zijn we fier dat twee nieuwe experimenten met belangrijke bijdragen van het BIRA aan boord van toekomstige ESA-missies geselecteerd werden voor verdere ontwikkeling, nl. het Venspec-H instrument aan boord van EnVision, en de Sweeping-Langmuir probes voorgesteld door het BIRA voor de Comet Interceptor missie. De bijdragen van het BIRA aan de ontwikkeling, validatie en exploitatie van de Sentinel-5P missie leveren een rits aan belangrijke en internationaal erkende resultaten betreffende de globale luchtkwaliteit, ozon en klimaat, en maken het instituut nog sterker voor zijn deelname aan de toekomstige Sentinel-4 en -5 atmosfeermissies. Ondertussen heeft het BIRA zich ook geprofileerd in de eerste geostationaire Koreaanse satellietmissie bestemd voor onderzoek naar luchtkwaliteit en in de toekomstige door EUMETSAT geleide CO2M missie, de eerste Europese missie die volledig toegespitst is op de detectie en kwantificering van de emissies van koolstofdioxide en methaan, en waarvan de lancering voorzien is in 2026. Het BIRA speelt ook een belangrijke rol in het ESA Climate Change Initiative programma, de Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) en Climate Change Service (C3S); de integratie van BIRA's model voor stratosferische

chemie in de CAMS-modellen zal leiden tot een aanzienlijke verbetering van de CAMS-producten. Het BIRA blijft natuurlijk ook zijn leidende rol spelen in de internationale netwerken voor opvolging van de atmosferische samenstelling, die deels geïntegreerd zijn in de Europese onderzoeksinfrastructuren ICOS (Integrated Carbon Observation System) en ACTRIS (Aerosol, Clouds en Trace gases Research InfraStructure). Op het gebied van ruimteweer heeft het BIRA de coördinatie op zich genomen van het Europese Space Weather Network (SWESNET).

De beleidsmakers, burgers en studenten zijn niet vergeten: niet alleen bieden we hun informatie en opleidingen aan, maar we betrekken hen ook rechtstreeks bij een aantal onderzoeksprojecten.

Een belangrijke mijlpaal uit 2022 is de verankering van het Belgian User Support and Operations Centre (B.USOC) – dat voorheen beheerd werd door Belspo - binnen BIRA, om aldus de toekomst van B.USOC te verzekeren na de afbouw van zijn

opdrachten ter ondersteuning van de experimenten aan boord van het Internationaal Ruimtestation. Een tweede belangrijk initiatief is de oprichting van het Federaal Klimaatcentrum in november 2022: het BIRA heeft een belangrijke inspanning geleverd in de werkgroepen en comités die de visie, missie en beheersstructuur van dit Centrum hebben ontwikkeld. Ten derde hebben we het Belgian Radiometric Characterization Laboratory (B.RCLab) in België op de kaart gezet.

6

Het is dus met een zekere fierheid dat ik durf stellen dat we als Instituut de twee recente grote crisissen tot nog toe wonderwel overleefd hebben, ook al was het voor vele personeelsleden een zware periode.

Ondanks deze uitstekende wetenschappelijke resultaten, zelfs in crisisperiode, en ondanks het feit dat het BIRA sterk staat dankzij een hechte groep van dynamische en gemotiveerde personeelsleden kijk ik met enige argwaan, zelfs vrees, de toekomst tegemoet. In 2021 leefde de hoop op een heropleving van Federaal Wetenschapsbeleid en meer efficiëntie en autonomie in het beheer van de Federale

Wetenschappelijke Instellingen. Eind 2022 - begin 2023 moet ik helaas het tegenovergestelde vaststellen. De bureaucratische (digitale) papiermolen neemt alsmaar toe, net zoals de procedures steeds zwaarder worden en de controles verder toenemen. Van administratieve vereenvoudiging is weinig te merken; het is niet omdat sommige processen gedigitaliseerd zijn dat ze eenvoudiger en/of efficiënter zijn! Onze autonomie wordt hoe langer hoe meer gekortwiek. De werking van Federaal Wetenschapsbeleid is nog niet merkbaar verbeterd. Zelfs de dringende vernieuwing van onze gebouwen laat nog steeds op zich wachten.

Het lijkt erop dat de wetenschappelijke activiteiten moeten inboeten ten voordele van een grotere administratieve en procedurele belasting. Mijns inziens en in overeenstemming met onze wettelijk vastgelegde opdracht moet in het BIRA de vooruitgang van het wetenschappelijk werk de eerste prioriteit zijn, en dat is ook de ambitie van het personeel dat we hiervoor aanwerven. En een goed beheer van de Instelling is belangrijk, maar moet in de eerste plaats gericht zijn op een efficiënte ondersteuning van dat wetenschappelijk werk. Als het beheer op de eerste plaats komt en het wetenschappelijk werk daarvoor

naar de tweede plaats moet verschuiven of belemmerd wordt zijn we verkeerd bezig.

Ik hoop dat mijn vrees voor een verschuiving van de prioriteiten en de daaraan toegekende middelen ongegrond is en dat we over twee jaar even mooie en talrijke wetenschappelijke resultaten zullen kunnen voorleggen, dankzij een gemotiveerde en dynamische ploeg, en niet ten koste ervan!

Tot slot wens ik alle personeel van het BIRA te bedanken en te feliciteren voor de prachtige resultaten die we vandaag als Instelling kunnen presenteren en die we graag met u, beste lezers, willen delen in dit rapport en in de bijhorende uitgebreidere onlineversie.

Martine De Mazière  
Algemeen Directeur a.i.



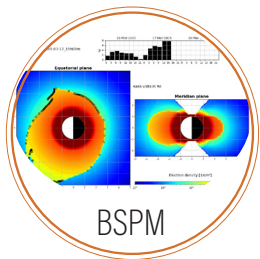
## Ruimtefysica



### Zonnewind waargenomen bij de Zon door Parker Solar Probe

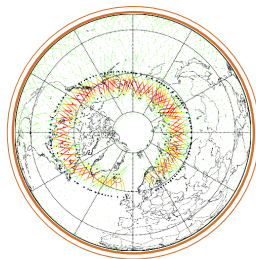
De Parker Solar Probe (PSP)-missie, gelanceerd door NASA op 12 augustus 2018, voltooide zijn 14e baan rond de zon in december 2022. Het bereikte zijn perihelium onder 15 zonneradii, waar geen ruimtesonde eerder heeft kunnen vliegen, en leverde onschatbare nieuwe inzichten op in de fundamentele mechanismen van zonnewindversnelling met behulp van kinetische modellen ontwikkeld door het BIRA-zonnewindteam. Het bevestigde de aanwezigheid van suprathermische elektronen op zeer kleine radiale afstanden, zoals verwacht, en detecteerde voor het eerst breedbandige elektrostatische golven in de zonnewind nabij de Zon.





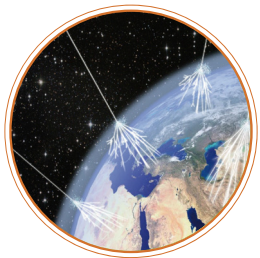
## Verbetering van het plasmasfeermodel

Het Belgische Space Weather Integrated Forecasting Framework (SWIFF) Plasmasfeermodel (BSPM) is ontwikkeld binnen het BIRA om de koude plasmaomgeving van de binnenste magnetosfeer van de aarde te simuleren. Het is onlangs verbeterd, vooral door gegevens van de Van Allen-sondes te gebruiken om de plasmatrog (het gebied buiten de plasmasfeer) aan te vullen en door het opvulproces na stormen te analyseren. Het is beschikbaar op verschillende platforms.



## De stralingsgordels waargenomen door PROBA-V/EPT

Met behulp van de Energetic Particle Telescope (EPT), een detector ontwikkeld op het BIRA in samenwerking met UCLouvain en QinetiQ Space en gelanceerd op de satelliet PROBA-V in 2013, konden we gedurende al meer dan 9 jaar energetische elektronen- en protonenfluxen meten op 820 km hoogte. Dit instrument, dat nog steeds actief is, levert uitzonderlijke waarnemingen op, gelijktijdig met NASA's Van Allen-ruimtesondes, waardoor we de dynamiek van de stralingsgordels tijdens geomagnetische stormen konden bepalen en hun grenzen konden vergelijken met de plasmapauze en de aurorale ovaal.



## Interactie van ruimte- deeltjes met de atmosfeer van de aarde

10

Hoogenergetische deeltjes interageren met de atmosfeer en dragen bij tot de stralingsdosis op lagere hoogten, die een bedreiging kan vormen voor de bemanning van vliegtuigen. Bovendien veroorzaakt ruimtestraling de ionisatie van de atmosfeer, die een grote invloed heeft op de atmosferische chemie. Met behulp van satellietwaarnemingen bestuderen wij de dynamiek van hoogenergetische deeltjes in de buurt van de aarde. De stralingsdosis en de ionisatiesnelheid op verschillende plaatsen en hoogtes worden onderzocht met de Atmospheric Radiation Interaction Simulator (AtRIS) en een model van het aardmagnetisch veld.



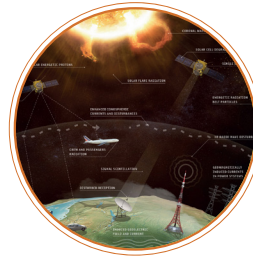
## De polarisatie van poollicht in beeld gebracht

Het BIRA bestudeert al een hele tijd het poollicht, zowel aan de hand van waarnemingen als van modellen. Daarmee proberen wij de natuurkundige processen op te helderen die aan de basis liggen van de vorming van het poollicht en van de ingewikkelde wisselwerking tussen de magnetosfeer en de ionosfeer. Recent hebben we de polarisatie van poollicht onderzocht met het PLIP-instrument, een optisch toestel speciaal bedoeld om de polarisatie te meten van de drie belangrijkste spectraallijnen van poollicht, en dat over een groot gezichtsveld aan de hemel.



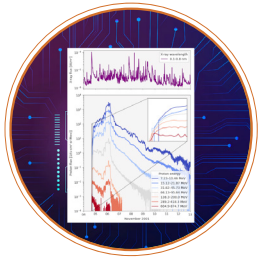
## Prototype van een ruimteweerdienst voor de Van Allen-stralingsgordels

Onze ruimte-infrastructuur kan gemakkelijk beschadigd worden door hoogenergetische deeltjes tijdens sterke geomagnetische stormen veroorzaakt door de zon. Het Europees H2020 project SafeSpace ontwikkelde een prototype voor een ruimteweerdienst die satellieten in de ruimte tegen dit soort natuurlijke risico's moet helpen beschermen. Dit werd gerealiseerd door 10 computermodellen voor de ruimte-omgeving met elkaar te combineren. Deze modellen beschrijven fenomenen op de zon, in de zonnewind, tot de Van Allen stralingsgordels rond de aarde. Het BIRA was betrokken bij de modellering van de plasmasmafeer.



## Ruimteweerinformatie op maat voor eindgebruikers

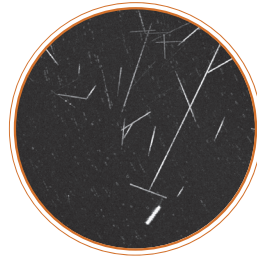
In het kader van ESA's netwerk van ruimteweerdiensten, heeft de groep ruimteweer van het BIRA (in samenwerking met de Koninklijke Sterrenwacht van België) een programma uitgewerkt om ruimteweerinformatie op maat aan te leveren voor de luchtvaartsector, satellietoperatoren, elektriciteitsnetbeheerders en vervoersdiensten die gebruik maken van GPS. Zij ontvangen waarschuwingsberichten op maat en hebben toegang tot de meest recente informatie over ruimteweer.



## Hoe kunnen ruimteweerberichten profiteren van machine learning?

12

Machine learning (machinaal leren) neemt een steeds belangrijkere plaats in de samenleving in vanwege het potentieel om voorspellingen te verbeteren in vergelijking met meer traditionele methoden. Om na te gaan hoe ruimteweervoorspellingen kunnen profiteren van machinaal leren, is een uitgebreide literatuurstudie verricht van bestaande methodes die geleid heeft tot de ontwikkeling van twee voorspellingsmodellen. Deze modellen bestreken twee verschillende natuurkundige domeinen zodat richtlijnen voor toekomstige ontwikkelingen van voorspellingsmodellen voor ruimteweer konden worden opgesteld.



## Bepaling van de baan en de snelheid van meteoroiden aan de hand van BRAMS-gegevens

Het Belgisch BRAMS-netwerk maakt gebruik van reflectie van radio-golven op geïoniseerde meteoorsporen om meteoroiden die de atmosfeer binnendringen te detecteren. Om hun baan en snelheid nauwkeurig te reconstrueren, hebben wij een methode ontwikkeld die gebruik maakt van tijdsvertragingen tussen meetoorecho's die in verschillende BRAMS-ontvangststations zijn opgenomen. De verkregen resultaten zijn vergeleken met optische waarnemingen van het CAMS-BeNeLux-netwerk. Een tweede methode waarbij aanvullende gegevens van de radio-interferometer in Humain werden gebruikt, verbeterde de nauwkeurigheid van de reconstructie aanzienlijk.

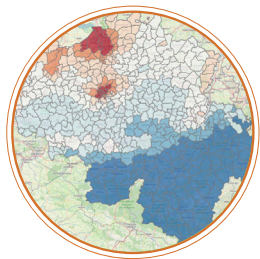


Impact van  
kortlevende  
polluenten op  
luchtkwaliteit  
en klimaat



Atmosferische samenstelling  
in hoge resolutie boven België

Grote industriële centra bij Antwerpen leiden tot hoge  $\text{NO}_2$ -verontreiniging in de regio, waargenomen door grond- en ruimte-instrumenten. Een hogeresolutiemodel (WRF-Chem) wordt gebruikt om de consistentie van de verschillende waarnemingen met betrekking tot  $\text{NO}_2$  te evalueren en de nauwkeurigheid van lokale emissie-inventarissen te beoordelen. De resultaten wijzen op een lichte onderschatting van de  $\text{NO}_2$ -kolommen door het satellietinstrument TROPOMI, in overeenstemming met voorgaand onderzoek, en op een onderschatting van de  $\text{NO}_x$ -emissies boven de steden Brussel en Antwerpen.



Sentinel-5p monitoring van NO<sub>2</sub> boven Belgische gemeenten

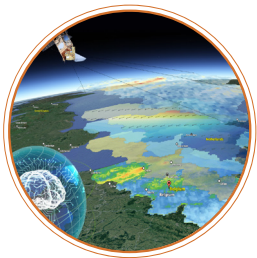


Stikstofdioxidemetingen in Brussel vanop de fiets

14

Milieubeleid met het oog op een betere luchtkwaliteit (Air Quality, AQ) vereist een objectieve beoordeling van de reële effecten van historische, huidige en toekomstige wetgeving. Daartoe biedt het LEGO-BEL-AQ-systeem een AQ-monitoringdienst die is afgestemd op de verschillende wetgevende instanties in België, van federaal en regionaal tot gemeentelijk niveau. Deze dienst maakt synergetisch gebruik van waarnemingen van de internationale AQ-satellietconstellatie en van in-situ-metingen die door de Belgische Intergewestelijke Cel voor het Leefmilieu worden verzameld.

In grote steden zoals Brussel worden regelmatig overschrijdingen van de Europese regelgeving inzake NO<sub>2</sub>-concentraties gemeld, een belangrijke verontreinigende stof die de luchtkwaliteit beïnvloedt. We hebben BIRA's speed pedelec uitgerust met een NO<sub>2</sub>-meetsysteem, bestaande uit twee complementaire instrumenten die het mogelijk maken om tegelijkertijd de geïntegreerde NO<sub>2</sub>-kolom en de concentratie aan de oppervlakte te meten. Dit systeem werd in de zomer van 2022 ingezet om de ruimtelijke variabiliteit van NO<sub>2</sub> in verschillende delen van Brussel te karakteriseren. De resultaten werden ook gebruikt om waarnemingen van het TROPOMI-satellietinstrument te interpreteren.



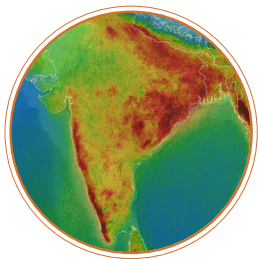
## Machine learning om oppervlakteconcentraties van stikstofdioxide te bepalen

Stikstofdioxide ( $\text{NO}_2$ ) is van groot belang vanwege zijn impact op de luchtkwaliteit en de menselijke gezondheid. Machine learning (ML) is een innovatieve aanpak om een niet-lineair verband te leggen tussen  $\text{NO}_2$ -oppervlakteconcentraties en geofysische parameters, met een hoge resolutie en nauwkeurigheid. Het blijft echter een uitdaging om ML toe te passen om operationele  $\text{NO}_2$ -producten te produceren met realistische ruimtelijke patronen en kwantificering van de onzekerheden. Dit onderzoek spitst zich toe op het ontwikkelen van een systematisch schema voor stabiele, op ML gebaseerde  $\text{NO}_2$ -oppervlakteproducten.



## Op weg naar ruimte-waarnemingen van reactief stikstof

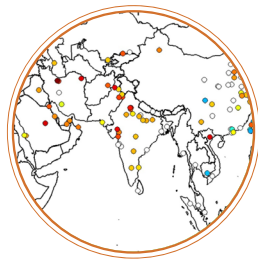
De NITROCAM-campagnes, die door ESA worden gefinancierd en door het BIRA worden gecoördineerd, zijn gericht op de gelijktijdige meting van de belangrijkste reactieve stikstofverbindingen in de atmosfeer, stikstofdioxide ( $\text{NO}_2$ ) en ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), die aan de basis liggen van een groot aantal gezondheids- en milieuproblemen. Dit ter voorbereiding van NITROSAT, een satelliet voor waarnemingen op hoge resolutie (500 m) van stikstofverontreinigingsbronnen. Deze satelliet komt in aanmerking om de 11e Earth Explorer-missie van ESA te worden.



### Monitoring van koolwaterstofemissies vanuit de ruimte met TROPOMI

16

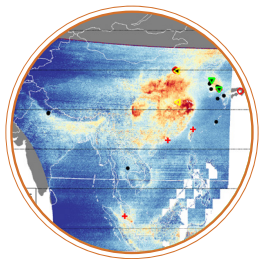
Koolwaterstoffen spelen een cruciale rol bij de luchtkwaliteit en de vorming van troposferisch ozon. Het BIRA draagt bij aan de wereldwijde monitoring ervan door de ontwikkeling van ruimtewaarnemingen van formaldehyde (HCHO) en glyoxaal (CHOCHO). Beide leveren belangrijke informatie over koolwaterstofemissies van natuurlijke of menselijke oorsprong. De uitstekende prestaties van het TROPOMI-instrument hebben geleid tot een drastische verbetering van de waarneemprecisie, waardoor we gelokaliseerde emissiebronnen beter dan ooit kunnen identificeren en uitzonderlijke gebeurtenissen snel kunnen opsporen.



### Satelliet toont significante antropogene emissietrends in Aziatische steden aan

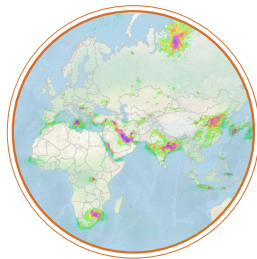
Langetermijngegevens (2005-2019) van formaldehyde gemeten met de OMI-sensor aan boord van de Aura-satelliet laten sterke positieve trends zien boven het Midden-Oosten (3.6%/jaar) en het Indiase subcontinent (2.4%/jaar), waar de regelgeving inzake de uitstoot van vluchtige organische stoffen (VOS) door menselijke activiteiten momenteel beperkt is. Zwakkere trends worden waargenomen boven Chinese steden, waar dergelijke regelgeving pas onlangs werd ingevoerd. Overwegend negatieve trends worden waargenomen boven steden in Taiwan en Japan, waar sinds het begin van de jaren 2000 reeds wetgeving van kracht is.





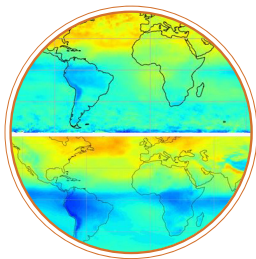
## Eerste geostationaire monitoring van luchtkwaliteit met GEMS

Sinds zijn lancering in 2020 draagt GEMS bij aan de monitoring van verschillende sporengassen en aerosolen boven Oost-Azië, met inbegrip van hun dagelijkse variatie op stadsschaal. Het BIRA is betrokken bij de validatie van operationele L2-producten en ondersteunt de Koreaanse teams bij de ontwikkeling van hun detectiealgoritmes voor  $\text{NO}_2$ ,  $\text{HCHO}$ ,  $\text{CHOCHO}$ ,  $\text{SO}_2$  en  $\text{O}_3$ . Dit werk vormt een baanbrekende voorbereiding op de komende Amerikaanse TEMPO- en Europese Sentinel-4-missies (die respectievelijk in 2023 en 2024 worden gelanceerd) en die samen een geostationaire constellatie zullen vormen.



## Detectie van zwaveldioxidepluimen met Sentinel-5P TROPOMI

De uitstoot van  $\text{SO}_2$  kan een belangrijke invloed hebben op de luchtkwaliteit en het klimaat, en een bedreiging vormen voor vliegtuigen in geval van injectie in de hogere atmosfeer na vulkaanuitbarstingen. De groep "UV-zichtbaar licht-waarnemingen" ontwikkelt nieuwe algoritmen voor het hoge-resolutie Sentinel-5P TROPOMI-instrument waarmee de  $\text{SO}_2$ -kolom en -hoogte met ongekennde details en gevoeligheid kunnen worden bepaald.



De troposferische totale ozonkolom met satellieten meten: een uitdaging

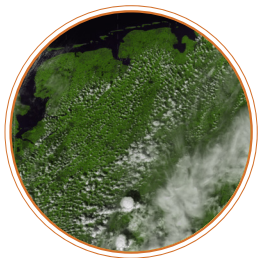
18

De afgelegen stratosferische ozonlaag, die een groot deel van de agressieve UV-straling absorbeert, beschermt het leven aan de oppervlakte. Troposferisch ozon daarentegen is een toxische molecule die de menselijke gezondheid, gewassen en ecosystemen aantast. Het is dus noodzakelijk beide lagen afzonderlijk op wereldschaal te controleren, maar het meten van troposferisch ozon vanuit de ruimte blijft een reële uitdaging. Het BIRA blijft zijn expertise in validatie- en data-assimilatietechnieken investeren om deze uitdaging te helpen oplossen.



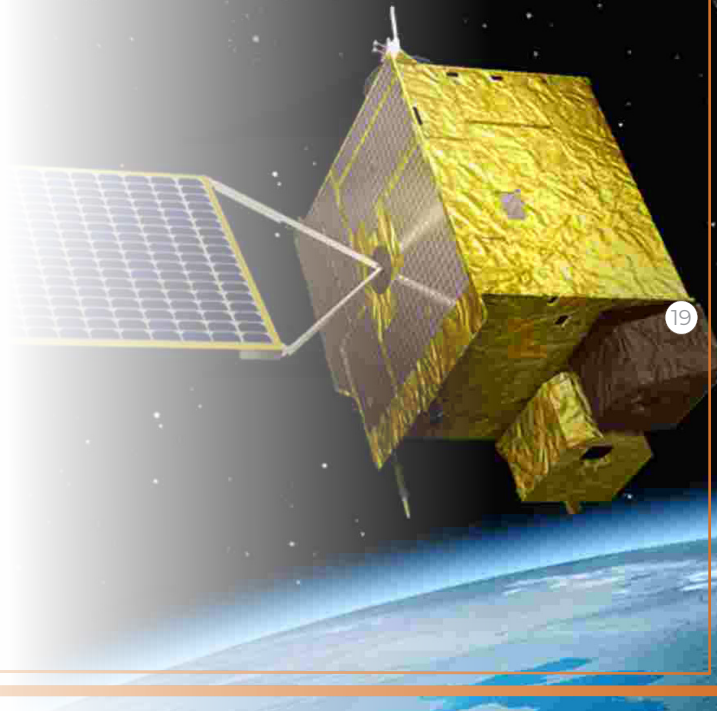
Internationaal Troposferisch Ozon Evaluatierapport

Verscheidene BIRA-onderzoeksgroepen dragen bij aan het Troposferisch Ozon Evaluatierapport (TOAR-II), dat in februari 2020 van start ging. Deze bijdragen omvatten het verzamelen en harmoniseren van gegevens over troposferisch ozon en zijn precursoren ( $\text{NO}_x$ , VOCS, CO en  $\text{CH}_4$ ) van zowel satellieten als netwerken van metingen vanaf de grond, en analyses van de distributie en trends van deze gassen. Waar mogelijk worden trends in troposferisch ozon toegeschreven aan veranderingen in de precursoren, uitwisselingen tussen stratosfeer en troposfeer, uitwisselingen tussen de hemisferen, enz.

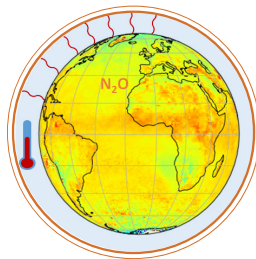


## Impact van wolken op de atmosferische sporengasproducten

Wolken hebben een sterke invloed op de analyse van troposferische sporengassen door ruimte-instrumenten. De effecten van 3D-kenmerken zoals ruimtelijke heterogeniteit en gestructureerde wolkengrenzen nemen toe wanneer de ruimtelijke resolutie van het waarnemingsinstrument de afmetingen van de wolkenstructuren benadert. Dit geldt voor instrumenten als TROPOMI en de toekomstige Sentinel-4 en Sentinel-5 sensoren, die ontworpen zijn om horizontale kenmerken van  $7 \times 7 \text{ km}^2$  of beter op te lossen. Daarom onderzochten wij de invloed van belangrijke 3D-wolkeffecten op het meten van sporengassen met behulp van een 3D-stralingstransportmodel.

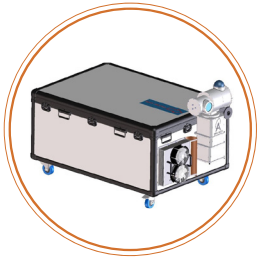


## Impact van langlevende polluenten op luchtkwaliteit en klimaat



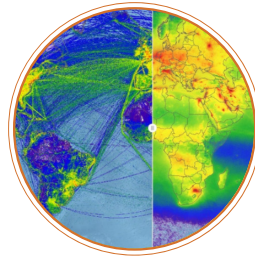
$N_2O$ , een minder bekend broeikasgas dat nu vanuit de ruimte wordt gemonitord

Distikstofoxide ( $N_2O$ ) is het op twee na belangrijkste antropogene broeikasgas (na koolstofdioxide,  $CO_2$ , en methaan,  $CH_4$ ).  $N_2O$  heeft immers een lange atmosferische levensduur van ongeveer 120 jaar en kent een continue toename van de concentratie sinds de jaren 1970. De afgelopen jaren hebben we een methode ontwikkeld om de  $N_2O$ -concentratie op te halen uit satellietwaarnemingen in het thermische infrarood. Het IASI-instrument levert al sinds 2006 tweemaal per dag wereldwijde gegevens, waarmee we langetermijntrends voor  $N_2O$  kunnen afleiden en analyseren.



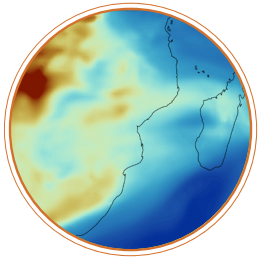
## Beoordeling van nieuwe compacte grondgebonden tele- detectieplatforms voor GHG-referentiemetingen

Fourier-transform-infraroodspectrometers met hoge resolutie vormen de basis voor hoogwaardige teledetectiemetingen van broeikasgassen die bijdragen tot de TCCON- en de NDACC-IRWG-netwerken. Het BIRA is mede-leider van het door het ESA gefinancierde FRM4GHG-project om nieuwe compacte instrumenten te beoordelen. Deze instrumenten zijn van cruciaal belang om de leemten in de bestaande netwerken op te vullen en kritieke emissiebrongebieden te bestrijken waar de standaardinstrumenten met hoge resolutie niet kunnen worden ingezet.



## Een blik op de emissies achter de satellietgegevens

Het beperken van de klimaatverandering en gezondheidsproblemen als gevolg van slechte luchtkwaliteit, dankzij het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen en verontreinigende stoffen, staat hoog op de agenda in België, evenals op Europees niveau en wereldwijd. Het bijhouden van de vooruitgang inzake emissiereductie, de identificatie van onbekende bronnen, regelmatige monitoring, rapportage en verificatie van emissies zijn verplicht. In het kader van een EUMETSAT-contract heeft het BIRA een dienst ontwikkeld die de gebruikers instrumenten aanreikt om verschillende satellietgegevens te visualiseren naast emissie-inventarisgegevens.



## Langlevende broeikasgassen op Réunion: waar komen ze vandaan?

22

Het BIRA meet tijdreeksen van atmosferische concentraties van  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  en  $\text{CO}$  op het Franse eiland Réunion in de context van internationale netwerken voor de observatie van de atmosfeer. Om de waargenomen variabiliteit van deze gassen en hun onderliggende oorzaken te begrijpen, worden deze concentraties vergeleken met simulaties van het regionale atmosferische transportmodel WRF-GHG. Hieruit blijkt dat de waarnemingen dichtbij de grond worden gedomineerd door lokale uitstoot en dynamische processen zoals windsnelheid en -richting, terwijl de kolomwaarnemingen worden beïnvloed door grootschaliger mechanismen zoals biomassaverbranding uit Afrika of Zuid-Amerika.



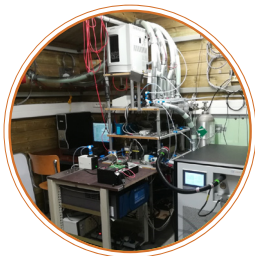


## Uitwisselingen tussen biosfeer en troposfeer



### Bronbepaling van VOS aan het Maïdo-observatiecentrum

Tijdens het OCTAVE-project werden met een Proton-Transfer-Reactie-Massaspectrometer in situ-concentraties van een selectie van vluchtige organische stoffen (VOS) gemeten in de omgevingslucht van het verafgelegen Maïdo-observatiecentrum (op 2150 m hoogte, La Réunion). Bronbepaling van deze VOS toonde aan dat de menselijke activiteiten op het eiland hun meest belangrijke bron is, meer dan de atmosferische achtergrond en verafgelegen brandhaarden, of de emissies van ecosystemen eigen aan het eiland.



### Het meten van VOS in een gemengd bos te Vielsalm

24

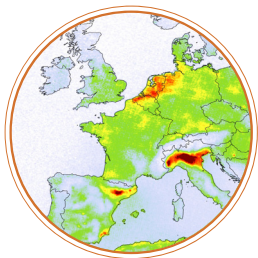
Vluchtige Organische Stoffen (VOS) zijn belangrijke precursoren voor componenten gerelateerd aan luchtkwaliteit en klimaatverandering. Om de uitwisseling van VOS tussen bossen en de atmosfeer te bestuderen hebben het BIRA en de ULiège een nieuwe onderzoeksinfrastructuur ingericht op de ICOS-site in Vielsalm. Deze infrastructuur stelt ons in staat om zowel VOS-fluxen boven de kroonlaag als verticale profielen in het bos te bepalen, gebruik makend van moderne instrumentatie en methodologieën.



### Effecten van droogte en menselijke druk op koolwaterstofemissies door vegetatie

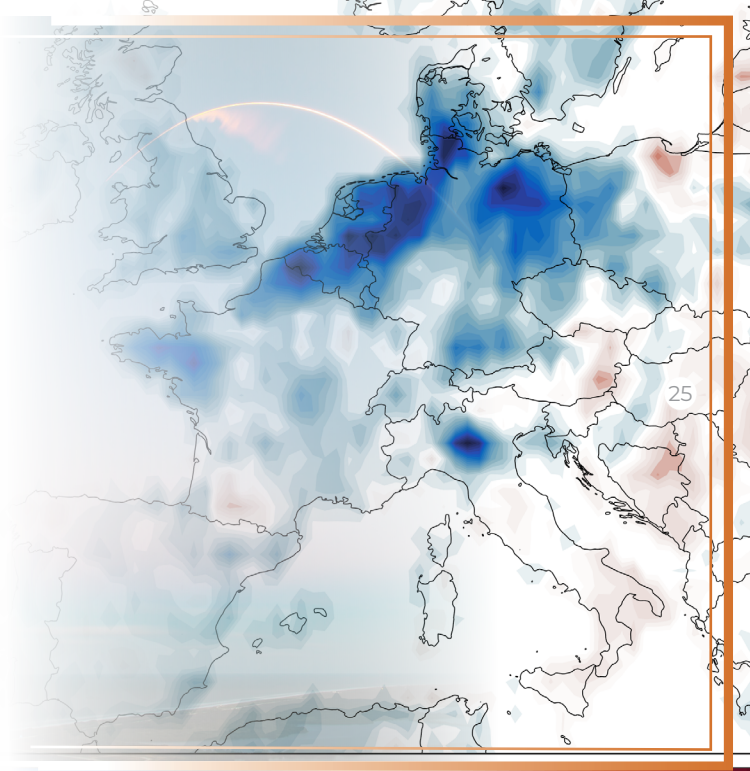
Het ALBERI project, dat gezamenlijk werd uitgevoerd door het BIRA, de UGent en de Universiteit van Californië, had tot doel de respons van isopreenemissies op veranderingen in landbedekking en droogtestress beter te begrijpen en te kwantificeren. Langetermijngegevens over landbedekking en bodemvochtigheid van satellieten, aangevuld met biogene emissiemodellen en atmosferische chemische simulaties, onthullen negatieve emissietrends boven tropische bossen als gevolg van ontbossing, en een geleidelijke vermindering van de biogene emissiecapaciteit onder ernstige of langdurige droogte, als gevolg van verminderde fotosynthese.



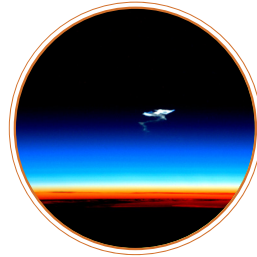


## Wekelijkse cyclus van ammoniak boven Europa gedetecteerd door satelliet

Terwijl de wekelijkse cyclus van stikstofdioxide-emissies grotendeels is gedocumenteerd, is dit nooit op grote schaal aangetoond voor ammoniak. Hier tonen wij voor het eerst de aanwezigheid van een weekendeffect aan in de totale ammoniakkolom, gemeten door de IASI-satelliet boven de belangrijkste landbouwgebieden in Europa. Grondmetingen van het Nederlandse Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) bevestigen onze resultaten. Het vastgestelde weekendeffect vertoont een sterke seizoensgebondenheid als gevolg van landbouwactiviteiten en de daarmee samenhangende regelgeving.



## Stratosferische samenstelling en klimaat



Een beter begrip  
van de veranderende  
Brewer-Dobson-circulatie

De Brewer-Dobson-circulatie (BDC) in de stratosfeer bestaat uit een opwaartse stroming in de tropen, gevolgd door een poolwaartse en neerwaartse stroming op hogere breedtegraden. De BDC bepaalt de verdeling van chemische tracers in de stratosfeer, zoals bijvoorbeeld ozon en waterdamp. Veranderingen in het patroon van de BDC hebben een aanzienlijk effect op de verdeling van deze tracers en vormen momenteel een uitdagend onderzoeksdomein. We evalueren veranderingen in de BDC in het afgelopen decennium, gebruik makende van satelliet- en grondobservaties en model-simulaties van de langlevende tracer distikstofoxide ( $N_2O$ ).



## De complexe rol van aerosolen vertalen in klimaatdatasets

Aerosolen spelen een hoofdrol in het klimaat omdat ze licht kunnen verstrooien of absorberen, wat de atmosferische temperatuur aantast. Terwijl vulkanisme tot nu toe de voornaamste bron van aerosolen was in de stratosfeer, zijn groeiende bosbranden in het opwarmende klimaat een echte game-changer. Satellietwaarnemingen helpen ons om aerosolen te identificeren en hun rol te begrijpen, maar hun signatuur moet zorgvuldig uit deze metingen worden gehaald. Het BIRA gaat deze uitdaging sinds vele jaren aan en levert klimaatgegevens over aerosolen aan de wetenschappelijke gemeenschap.



## Model en waarnemingen combineren om stratosferische componenten te bestuderen

IFS, het atmosfeermodel van het Europese programma CAMS, levert operationele analyses en voorspellingen van de atmosferische samenstelling. Het BIRA draagt bij tot deze activiteit met de integratie van zijn stratosferische chemiemodule BASCOE in IFS, maar ook met de uitbreiding van de aerosol-module van IFS van de troposfeer naar de stratosfeer. Een belangrijk doel is het voorspellen van de evolutie van grote aerosol-episodes zoals vulkanische uitbarstingen en grote bosbranden.



## Operationele validatie van satellieten die de atmosferische samenstelling meten

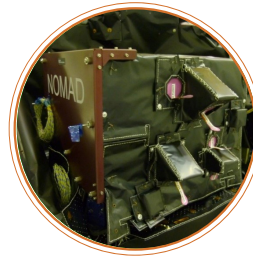
28

Het Europese programma Copernicus implementeert een constellatie van nieuwste generatie-satellietinstrumenten voor het opvolgen van de luchtkwaliteit, klimaatverandering, uitstoot van verontreinigende stoffen en broeikasgassen, de evolutie van ozon in de stratosfeer en milieurisico's. Als onderdeel hiervan, en voortbouwend op een drie-decennia-lange expertise in satellietvalidatie, ontwikkelt het BIRA operationele diensten die zorgen voor de nodige kwaliteitsbeoordeling van de atmosferische gegevens, de interoperabiliteit van de verschillende sounders en een vroegtijdige waarschuwing voor anomalieën.



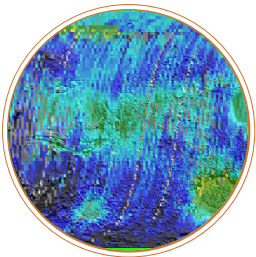


## Planetaire aeronomie



### ExoMars NOMAD onthult nieuwe inzichten in de atmosfeer van Mars

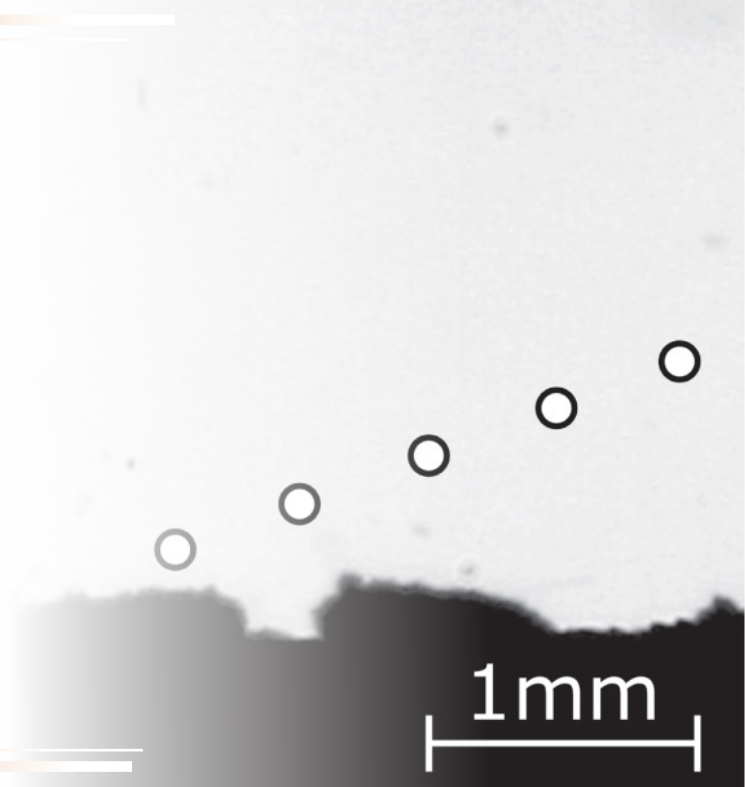
NOMAD, een instrument aan boord van de ExoMars Trace Gas Orbiter, werd in 2016 gelanceerd en meet sinds 2018 de atmosfeer van Mars. Onlangs hebben wetenschappers van het NOMAD-team 16 papers gepubliceerd, waarin nieuwe resultaten worden gepresenteerd over een breed scala aan onderwerpen: atmosferische temperatuur en dichtheid; metingen van stof en aerosolen; metingen van CO<sub>2</sub>-ijswolken; waterdampconcentratie en isotoopverhoudingen; ozonconcentraties; koolstofmonoxideconcentraties; metingen van hemellicht; en waarnemingen van oppervlaktevorst en -ijs.



## De rol van stof in de Marsatmosfeer begrijpen

30

Het weer op Mars wordt in belangrijke mate bepaald door atmosferisch stof. Door de combinatie van ruimteobservaties van de atmosferische samenstelling met laboratoriummetingen op analogen van de Marsbodem, leren we meer over deze klimaatspeler. Enkele van de vragen waar we aan werken zijn: hoe komt stof in de lucht en hoe wordt het getransporteerd? Welke rol speelt het bij de vorming van wolken en hoe verstrooit en absorbeert het stof het zonlicht?





**TIME LINE**  
Space mission  
with BIRA-IASB



BIRA-IASB contribution

BIRA-IASB contribution

The International Geophysical Year marks the onset of the Space Age and the birth of "aeronomy" as a research domain.

Sputnik-1

1957

Ontwikkeling van  
ruimtemissies:  
wetenschap en  
technologie



Geboorte van een wetenschappelijke ruimtemissie

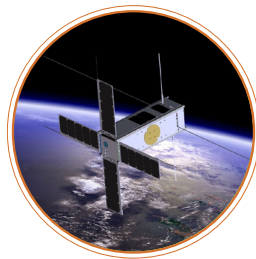
In 2021 lanceerde ESA een oproep om nieuwe wetenschappelijke ruimtemissies voor te stellen. Dat is van cruciaal belang, want de wetenschappelijke oogst van deze missies zal voer zijn voor een nieuwe generatie onderzoekers. Het BIRA is betrokken bij twee van de nog vijf overblijvende kandidaatmissies. Plasma Observatory mikt op een constellatie van meerdere satellieten voor magnetosferisch onderzoek. M-MATISSE is een missie met twee satellieten die de interactie tussen zonnwind, magnetosfeer en ionosfeer van Mars in de gaten houdt. ESA zal beide kandidaatmissies grondiger onderzoeken door voor elk ervan een basisontwerp te maken.



## ALTIUS: de Belgische ozonmissie staat in de startblokken!

32

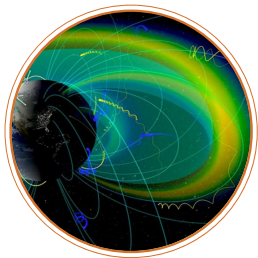
ALTIUS is een toekomstige satellietmissie om de ozonlaag ( $O_3$ ) te bestuderen. Deze ozonlaag is het schild van onze planeet tegen schadelijke UV-straling van de zon, dat helaas nog lang niet hersteld is van de schade die nog steeds veroorzaakt wordt door de beruchte CFK-uitstoot. ALTIUS zal de ozonconcentratie bepalen door de absorptie van het licht van de zon en andere sterren in de atmosfeer te meten. Momenteel is de missie in de uitvoeringsfase van ESA's Earth Watch-programma. Het BIRA ontwikkelt de zogenoemde «Level 2»-processors: de algoritmes die de ozoninformatie uit de ruwe observatiegegevens halen.



## PICASSO: afscheid van de gouden CubeSat

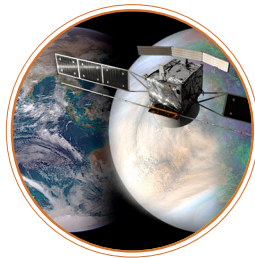
De eerste CubeSat-missie van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie, PICASSO, eindigde in 2022. Deze missie toonde de haalbaarheid aan van atmosferische metingen op afstand en van in situ-metingen van ionosferisch plasma met een CubeSat.





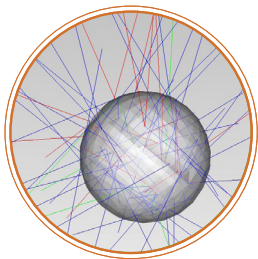
Boven onder voor achter  
links rechts ... geladen  
deeltjes alom

PROBA-3 is een missie van ESA (lancering 2024) die bestaat uit twee satellieten die “in formatie” zullen vliegen. 3DEES is een elektronenspectrometer aan boord van een van deze satellieten. Het mechanisch ontwerp, de bouw van de structuur, de oppervlaktebehandeling en de structurele kwalificatie van dit zeer compacte instrument waren in handen van de Engineeringafdeling van het BIRA.



Engineering helpt mee de  
nachtvensters op Venus  
te openen

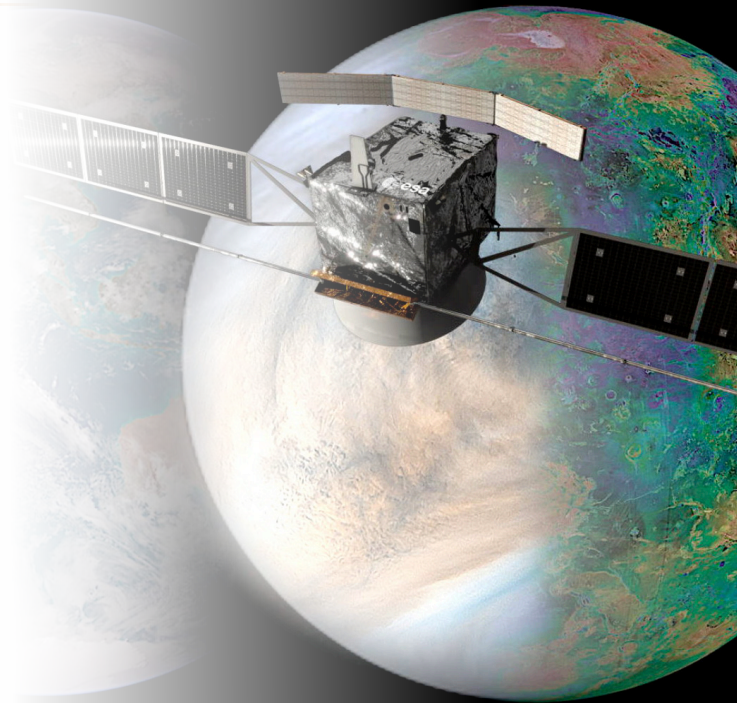
EnVision is een ESA-satelliet die in 2031 naar Venus vertrekt om er de planeet van onder het oppervlak tot in de hoge atmosfeer te bestuderen. Het BIRA leidt de ontwikkeling van de VenSpec-H-spectrometer aan boord. VenSpec-H zal o.m. via specifiek gekozen spectrale vensters, die enkel 's nachts geopend kunnen worden, door de wolken heen naar de lage atmosfeer kijken. In dit gebied heerst een uitgesproken broeikas effect, maar het is verder nog relatief onbekend. Wetenschappers hopen er parallellen te kunnen trekken met onze aarde.



## Stralingsanalyse voor EnVision's VenSpec-H- instrument

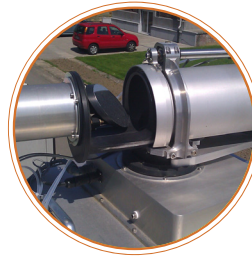
34

Als onderdeel van ESA's EnVision-missie naar Venus werkt het BIRA aan de ontwikkeling van het VenSpec-H-instrument, een spectrometer met hoge resolutie. Met behulp van het Space Environment Information System (SPENVIS, <https://www.spennis.oma.be>), een software pakket ontwikkeld aan het BIRA, hebben we de impact van de verwachte stralingsomgeving op het instrument geanalyseerd.





Ontwikkeling van instrumenten op de grond en in de lucht: wetenschap & technologie



Volg de zon... maar doe het compact

“Volg de zon” is een veelgehoord motto in atmosfeeronderzoek. Zonlicht is dan ook cruciaal om de samenstelling van de atmosfeer met een optische spectrometer te bestuderen. In de voorbije twintig jaar werden aan het BIRA verschillende zonnevolgers ontworpen, gebouwd en gebruikt. De eerste generatie is nu aan aflossing toe. Een mini-zonnevolger van de tweede generatie is klaar om de fakkel over te nemen. Veel compacter en vooral ook beter in staat om zijn werk uit te voeren in uitdagende weersomstandigheden.



De NO<sub>2</sub>-camera

36

Soms ontwikkelen we nieuwe grondinstrumenten, geïnspireerd door ruimtetechnologieën. De NO<sub>2</sub>-camera is daar een voorbeeld van: deze is ontworpen voor de observatie van NO<sub>2</sub> in industriële pluimen of boven stedelijke gebieden, maar komt voort uit de ALTIUS-satellietmissie. Wat onze NO<sub>2</sub>-camera zo speciaal maakt is de combinatie van zowel teledetectie als beeldvorming. Na een demonstratiefase is de belangstelling in de luchtkwaliteitsgemeenschap aan het toenemen en we hebben recent financiering gekregen van een door ESA geleid programma om de toegevoegde mogelijkheden van dit innovatieve instrument te demonstreren.



Regelmatige luchtkartering van NO<sub>2</sub> boven Berlijn en Boekarest

Het BIRA heeft onderzoeksvliegtuigen in Duitsland en Roemenië uitgerust met verschillende versies van het intern ontwikkelde remote sensing-instrument SWING. We hebben deze toestellen gebruikt om in 2021 en 2022 de NO<sub>2</sub>-verdeling boven Berlijn en Boekarest op regelmatige basis in kaart te brengen. Deze metingen onthullen de stedelijke emissies van NO<sub>x</sub> met een hoge ruimtelijke resolutie, waardoor hotspots zoals elektriciteitscentrales kunnen worden onderscheiden van de meer diffuse verkeers- en verwarmingsbronnen, de jaarlijkse variaties van de NO<sub>x</sub>-fluxen kunnen worden bestudeerd en het satellietinstrument voor luchtkwaliteit TROPOMI kan worden gevalideerd.

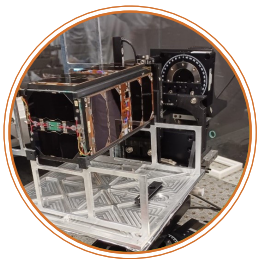
The background of the slide features a large, detailed image of Jupiter on the left side, showing its characteristic orange and white bands. Below it, the Moon is visible in a smaller, circular inset. The overall background is a dark space with a subtle gradient.

## Belgian Radiometric Characterization Laboratory



MAJIS/JUICE ter observatie  
van Jupiter en zijn ijsmanen

De Moons And Jupiter Imaging Spectrometer (MAJIS) is een Frans-Italiaans instrument aan boord van de ESA-missie JUICE (lancering in april 2023). Het is ontworpen voor een gedetailleerde studie van Jupiters atmosfeer en ijsmanen. MAJIS heeft twee kanalen die in het VIS-NIR (zichtbaar en nabij-infrarood) en IR (infrarood) licht meten. Het Belgisch Laboratorium voor Radiometrische Karakterisering (B.RCLab), geïntegreerd in het BIRA, was in 2021 betrokken bij de succesvolle karakterisering van de reservemodel (SM)-detector met behulp van een krachtige radiometrische en thermische vacuümfaciliteit.



## Radiometrische karakterisering van de Franse INSPIRE-SAT 7-CubeSat

38

INSPIRE-SAT 7 is een Franse nanosatelliet bestaande uit twee eenheden die deel uitmaken van het INSPIRE-programma (International Satellite Program In Research and Education). De satelliet is onder andere bedoeld om vanuit een baan om de aarde essentiële klimaatvariabelen te observeren, zoals de zonnestraling en de straling die door de aarde wordt gereflecteerd. Het zal dus de stralingsbalans van de aarde meten. Het B.RCLab heeft een radiometrische kalibratiebank ontworpen. Deze werd in 2022 gebruikt om de sensoren van INSPIRE-SAT 7 te karakteriseren.



A photograph of an astronaut in a brown t-shirt and green cargo pants, wearing blue gloves, working on a complex array of cables and equipment inside the International Space Station. The astronaut is positioned on the left side of the frame, reaching upwards. The background is filled with various scientific instruments and structural elements of the station.

## Belgian User Support and Operations Centre



## Verplaatsing van het ASIM-experiment op het Internationaal Ruimtestation

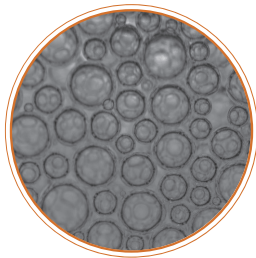
In december 2021 stond de afloop van de Atmosphere-Space Interactions Monitor gepland. ASIM zou zijn locatie buiten de Columbus-module van het ISS moeten afstaan aan een nieuw experiment. Dankzij de uitstekende wetenschappelijke prestaties bij het waarnemen van elektrische ladingen in de hogere atmosfeer, zoals red sprites of blue jets, besloot ESA echter om het experiment te verplaatsen i.p.v. te verwijderen. In zeer korte tijd behandelde het team alle technische moeilijkheden en werd ASIM getransformeerd van een nadir instrument naar een instrument dat naar de horizon kijkt, waardoor het nu nieuwe wetenschappelijke resultaten kan verzamelen.



## Het beheer van ESA's Space Weather Service Network

40

De omstandigheden op de zon kunnen direct of indirect leiden tot potentieel gevaarlijke en plotselinge gevolgen voor sommige menselijke activiteiten in de ruimte of op aarde. Ter ondersteuning van de evaluatie en beperking van deze gevolgen startte ESA in 2008 met het opzetten van een netwerk voor ruimteweersdiensten om tijdig betrouwbare informatie over het ruimteweer te verstrekken aan verschillende gebruikersgemeenschappen. Sinds februari 2021 leidt het B.USOC een consortium van 52 teams over heel Europa die meewerken aan de exploitatie, ontwikkeling en verbetering van dit netwerk.



## Proeven en beproevingen van FSL en zijn Experiment Containers

De afgelopen jaren heeft het Fluid Science Laboratory (FSL) aan boord van het ISS vele stalen uitgewisseld en volle Experiment Containers (EC) zien komen en gaan. Begin 2021 werd de RUBI Experiment Container vervangen door de SMD Experiment Container. Deze laatste container onderzocht de CompGran en Foam-C stalen, beide voor de tweede maal in het experiment. Later dat jaar leidden laserproblemen, die zelfs door een paar goedgeplaatste hamerslagen niet konden worden opgelost, tot een wetenschappelijke onderbreking van 5 maanden. De activiteiten konden in maart 2022 worden hervat met de installatie van een nieuwe container en de PASTA-stalen.





Kennis- en  
informatie-  
verspreiding en  
vorming



## A Touch of Space Weather - ruimteweer voor leerlingen met een visuele beperking

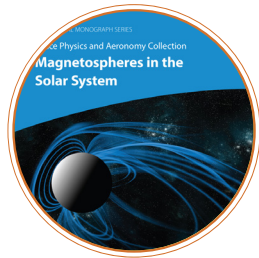
A Touch of Space Weather laat blinde en slechtziende leerlingen voelen en horen wat ruimteweer is. Via workshops en een website kunnen deze leerlingen de zon, de atmosfeer en het magnetisch veld van de aarde, het noorderlicht en andere onderwerpen in verband met ruimteweer verkennen door middel van de tastzin en het gehoor. Het project ontwikkelde tastbare beelden voor de kinderworkshops, zodat ze het ruimteweer op gevoel kunnen visualiseren. Het biedt ook online tutorials op de website en zal binnenkort audioboekjes aanbieden.



MOMSTER, een mobiel meteordetectiestation voor onderwijs en outreach

42

Het BIRA bestudeert brokstukken en stof uit de ruimte die de atmosfeer van de aarde binnendringen. In samenwerking met de KU Leuven, het Planetarium van de Koninklijke Sterrenwacht van België en de International Polar Foundation hebben we het MOMSTER educatief project opgezet, waarin leerlingen tussen 16 en 18 jaar aan de slag gaan als wetenschappers door op de computerbeelden met radiosignalen van meteoren te analyseren. Samen met hun leraar onderzoeken ze op die manier het zonnestelsel, en meer bepaald het stof in het zonnestelsel.



Een nieuw boek over de magnetosferen in ons zonnestelsel gepubliceerd door Wiley

Een boek over de magnetosferen in ons zonnestelsel werd gepubliceerd door Wiley in opdracht van de American Geophysical Union. De 47 hoofdstukken van dit boek, geredigeerd door onze BIRA-collega Romain Maggiolo, presenteren de stand van zaken van onze kennis over de magnetosferen in het zonnestelsel. Het geeft een uitgebreid overzicht van de huidige kennis en toekomstige onderzoeksrichtingen in de magnetosfeerfysica, van de mini-magnetosfeer van Mercurius tot de reuzenmagnetosferen van Jupiter en Saturnus.



## Opendeurdagen bij het aeronomie-instituut: ruimte voor het klimaat

Tijdens het laatste weekend van september 2022 opende de Pool Ruimte zijn deuren voor het publiek. Het thema van dit jaar, «Ruimte voor het Klimaat», was een gelegenheid om klimaatgerelateerd onderzoek in de kijker te zetten, zonder al het andere onderzoek dat in ons instituut wordt uitgevoerd te vergeten. Medewerkers van het BIRA verwelkomden bezoekers van alle leeftijden en deelden hun kennis en motivatie voor aard- en ruimtewetenschappen. Tijdens de opendeurdagen schilderde een van onze wetenschappers, Noel C. Baker, een schilderij in real-time, dat te zien is op de omslag van dit rapport.



## Al onze doelgroepen aanspreken

Diversiteit in de wetenschap wordt weerspiegeld in de diversiteit van onze doelgroepen en in de onderwerpen die we brengen. Zo organiseerden we o.m. een netwerkevenement voor de Belgische ruimtevaartindustrie, een Academische Zitting tijdens de Belgian Space Week en het openingsevent van het Federaal Klimaatcentrum. Daarnaast bieden we burgers en studenten informatie en opleidingen aan, en betrekken we hen ook rechtstreeks bij een aantal onderzoeksprojecten. We houden steeds rekening met het feit dat niet iedereen even gemakkelijk toegang heeft tot wetenschap.



## Open Science objectieven en distributie van Open Data

44 In overeenstemming met het open-wetenschapsbeleid van de EU en de Belgische open-dataprotocollen heeft het IT-departement van het BIRA een visualisatietoolbox ontwikkeld die de toegankelijkheid van onze dataproducten verbetert. De toolbox wordt gebruikt in prototypes van dataportalen van Belgische bijdragen aan onderzoeksinfrastructuren van de EU. BIRA heeft bovendien een API ontwikkeld op basis van de OpenAPI-specificatie, die de basis vormt van programma's voor gegevensdistributie die door de EU worden gefinancierd. De API maakt een eenduidige verspreiding van gegevens mogelijk, met de nadruk op machine-naar-machine distributie.

**OPEN SCIENCE  
DATA CATALOGUE**

### Het BIRA in cijfers (\*)

Tussen 2020 en 2022 (dus sinds ons vorige jaarverslag) is het Instituut blijven groeien. Op 31 december 2022 werkten er in totaal 172 medewerkers (of 160,95 VTE) bij het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie. We kunnen ze onderverdelen in 4 hoofdcategorieën: wetenschap (65%), administratie (10,5%), engineering & techniek (14%) en IT (10,5%). Vooral het aantal PhD-studenten is flink gestegen, van 8 eind 2020 naar 15 eind 2022.

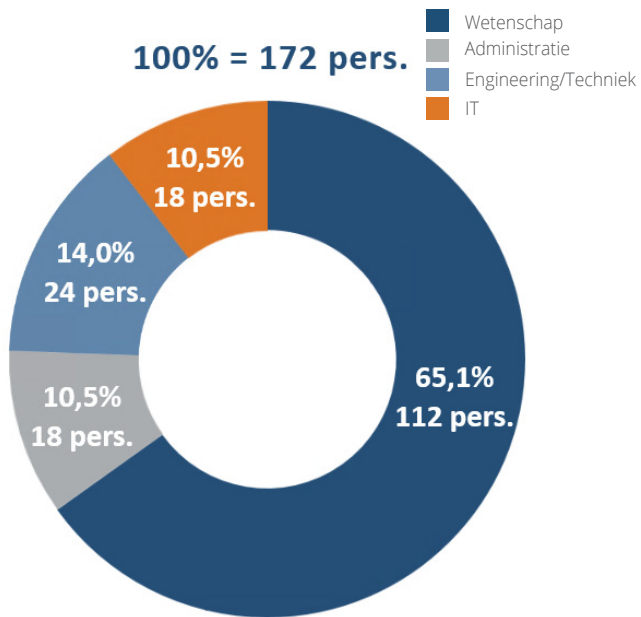
Naast de genoemde 172 medewerkers hebben nog vele anderen bijgedragen aan de werkzaamheden die in de periode 2021-2022 bij het instituut zijn verricht. Het gaat om mensen met een extern contract, zoals 3 IT-ers met een Egov-contract, 2 personen met een FNRS-contract en gastwetenschappers, of mensen die in de loop van deze periode van 2 jaar het instituut hebben verlaten. Ze zijn niet opgenomen in onze grafieken, maar u vindt hun namen in de lijst op p. 56-58.

Meer info vindt u in de online versie van dit jaarverslag.

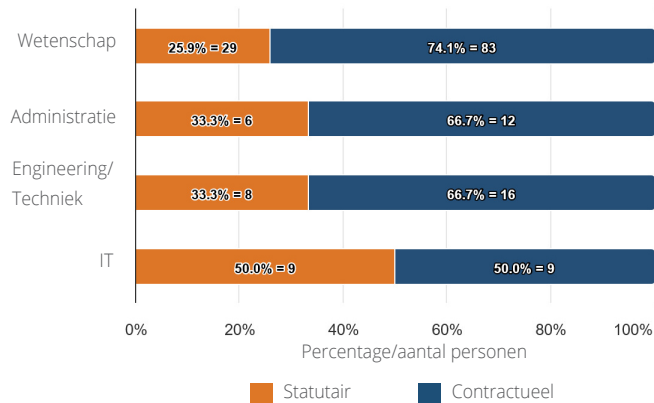
*\* Alle statistieken in dit activiteitenverslag zijn berekend op 31 december van het betreffende jaar en zijn gebaseerd op het aantal personeelsleden, niet op VTE's (voltijds equivalenten).*

## Personeel ingedeeld volgens categorie (2022)

46

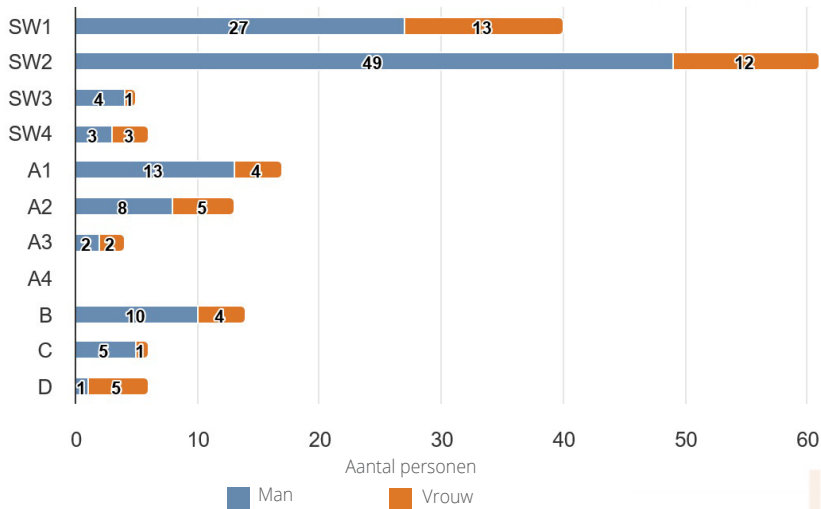


## Aandeel van contractueel personeel per categorie (2022)

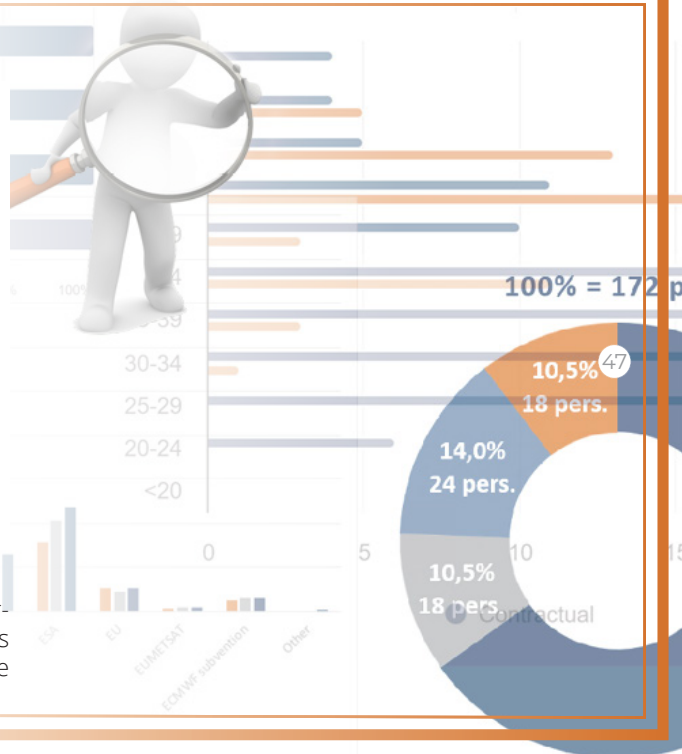


Het percentage contractueel personeel op het BIRA neemt licht toe. Het aandeel van contractueel personeel is vooral groot onder wetenschappers en bereikte bijna 75%: een stijging met 2%, van 72,1% eind 2020 naar 74,1% eind 2022.

## Personeel ingedeeld volgens niveau (2022)



Het personeelsbestand binnen BIRA bestaat uit 85% niveaus A en SW (master-niveau of hoger), slechts 8% niveau B (bachelorniveau) en 7% lagere niveaus (C en D). Dit houdt rechtstreeks verband met de basismissies van het BIRA, die voornamelijk gericht zijn op onderzoek en ontwikkeling.



## Diversiteit

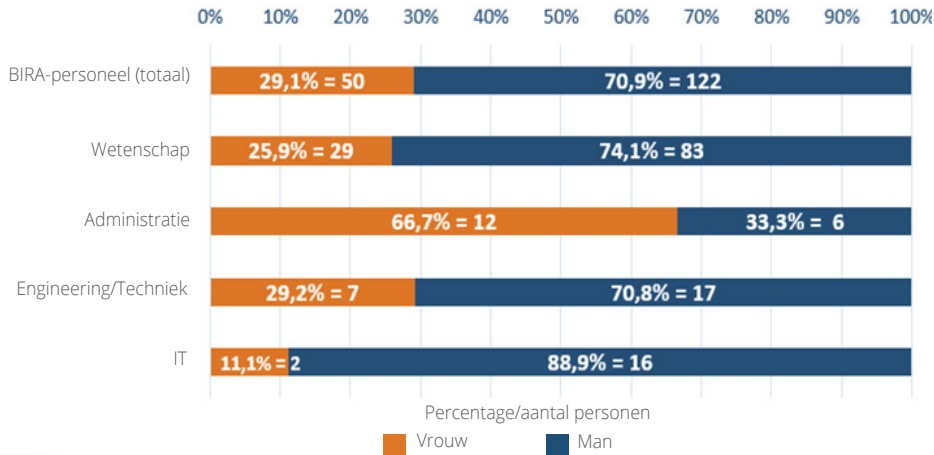
Bij het BIRA willen we het bewustzijn rond diversiteit bevorderen en maatregelen aanmoedigen waardoor iedereen zich comfortabel voelt met en respect heeft voor alle soorten diversiteit.

### Geslacht

Als reactie op recente Europese en federale regels publiceerde BIRA een Gender Equality Plan (GEP) met een actieplan dat aspecten van de balans tussen werk en privéleven, leiderschap, loopbaanontwikkeling, onderzoek en onderwijs en mogelijk gender-gerelateerd geweld intern aanpakt. Bij het BIRA werd een Gender & Diversity Team opgericht om dit GEP uit te voeren, maar ook om andere aspecten van diversiteit aan te pakken.

48

### Personeel ingedeeld volgens gender (2022)





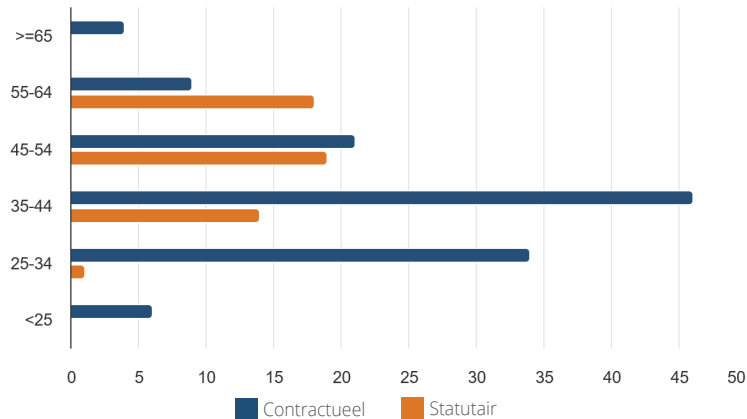
## Nationaliteiten

Het BIRA is trots op haar internationale erkenning en werkomgeving. De geboortelanden van de medewerkers van het instituut geven een goede indicatie van de diversiteit van mensen die we aantreffen onder onze medewerkers: 49 van de 172 personeelsleden zijn van buitenlandse afkomst. Ze zijn geboren in 31 verschillende landen. Sommigen wonen al lang in België en hebben zelfs de Belgische nationaliteit. Eind 2022 heeft nog 21% van ons personeelsbestand (36 personen) een buitenlandse nationaliteit, terwijl dit 10 jaar geleden, in 2013, slechts 18% (28 personen) bedroeg. Eind 2022 telt het instituut 18 verschillende nationaliteiten (waaronder de Belgische).



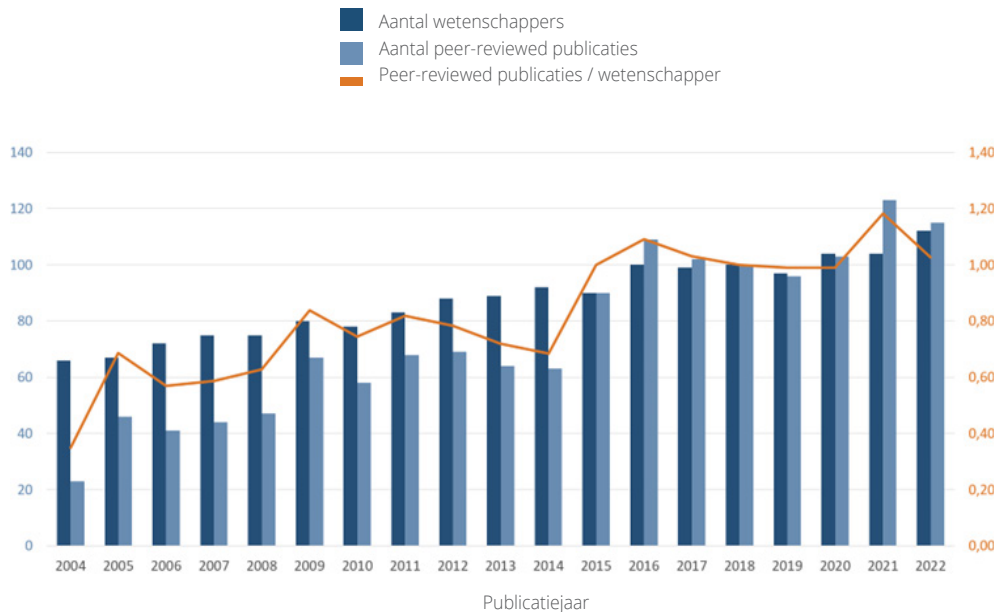
## Leeftijd

Het toenemend aantal doctoraatsstudenten binnen het BIRA brengt een verjonging van de populatie met zich mee; deze verjonging is echter beperkt tot het contractueel personeel. Het gebrek aan middelen om statutair personeel aan te werven veroorzaakt een overwicht in statutair personeel dat ouder is dan 45 jaar. Het grootste deel van het personeel (statutair en contractueel personeel samen) bevindt zich in de leeftijdsgroep 35-44 jaar, waartoe voornamelijk contractueel personeel behoort. Alleen de leeftijdsgroep 55-64 jaar wordt gedomineerd door statutair personeel.



# PUBLICATIES

In de periode 2021-2022 was het BIRA-personeel (co-)auteur van 238 peer-reviewed artikelen (123 in 2021 en 115 in 2022), wat neerkomt op een gemiddelde van meer dan 1 publicatie per wetenschapper per jaar. Deze grafiek toont de aanzienlijke groei van het aantal peer-reviewed publicaties per personeelslid sinds 2004. Alle publicaties zijn opgeslagen in het federaal institutioneel Open Acces archief Orfeo: <https://orfeo.belnet.be/>.



## ONDERZOEKSPROJECTEN EN BUDGETTEN

### *Het BIRA bereikt een recordaantal lopende onderzoeksprojecten*

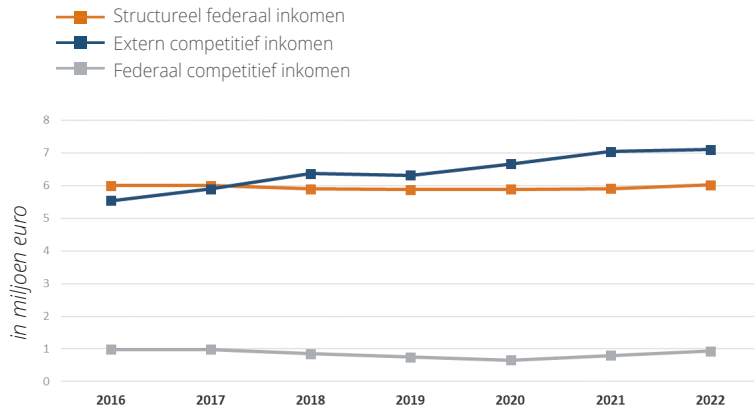
52 Dat onderzoek van hoge kwaliteit bij het BIRA voorop staat, blijkt uit de meest recente lijst van gerealiseerde projecten. Niet minder dan 45 nieuwe projecten werden gelanceerd in de afgelopen twee jaar (23 in 2021 en 22 in 2022). Waar sommige financieringsbronnen verdwenen (FNRS, FWO), verschenen er enkele nieuwe financierders op het toneel: FOD VVWL, LOTTO, EURAMET. Een mooie erkenning voor de geleverde inspanningen.

Financieringsbron	2020	2021	2022
Dotatie	-	-	-
STCE	-	-	-
Commerciële inkomsten	-	-	-
ESA	33	31	32
FNRS	3	2	0
PRODEX	12	14	15
Federale subsidie	16	17	15
EU	10	11	10
EUMETSAT	2	2	3
ECMWF	5	8	4
FED-tWIN	1	3	5
FOD VVWL	0	1	1
LOTTO	0	1	1
EURAMET	0	0	1
TOTAAL	82	90	87

## Afgevlakte evolutie van inkomsten (liquidatie kredieten; lopende gemiddelden over 4 jaar)

Onderzoekers bij het BIRA doen hun uiterste best om externe financiering te verwerven. Onderzoeksmiddelen zijn schaars en de concurrentie bij aanbestedingen van O&O-projecten is hevig. Toch zijn de onderzoekers van het BIRA erin geslaagd om een record onderzoeksbudget binnen te halen in 2021-2022. De positie van onze onderzoekers wordt hierdoor verder versterkt en nationaal en internationaal erkend.

*Aangezien we werken met meerjarige projecten en gerelateerde uitgaven en inkomsten, is het gevaarlijk om de ontwikkeling van budgetten op jaarbasis te vergelijken. Daarom hebben we ervoor gekozen om vierjarige voortschrijdende gemiddelden weer te geven, waarbij vier jaar de typische duur van een onderzoeksproject is, d.w.z. 2022 vertegenwoordigt hier de gemiddelde inkomsten over de periode 2019-2022, 2021 het gemiddelde over de periode 2018-2021, enz. Idem voor de figuren op p 54 en 55.*

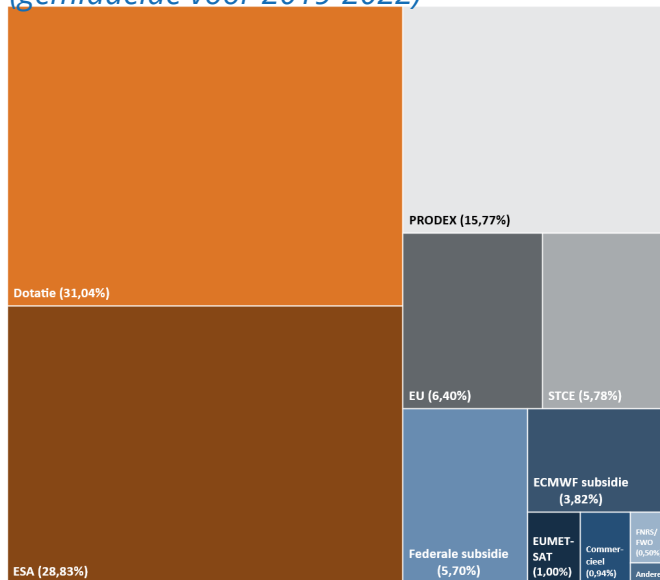


## Inkomstenbronnen (liquidatiekredieten; lopende gemiddelden over 4 jaar)

We kunnen stellen dat de structurele overheidsfinanciering bestaande uit de dotatie en het Solar-Terrestrial Centre of Excellence (STCE) ongeveer 1/3e van ons budget vertegenwoordigt, en ESA-financiering nog eens 1/3e. Het resterende derde deel van het budget bestaat voor ongeveer de helft uit PRODEX-financiering en voor de helft uit financiering van verschillende nationale en Europese O&O-projecten. Afgezien van enkele jaarlijkse variaties blijft deze verdeling door de jaren heen vrij stabiel.

54

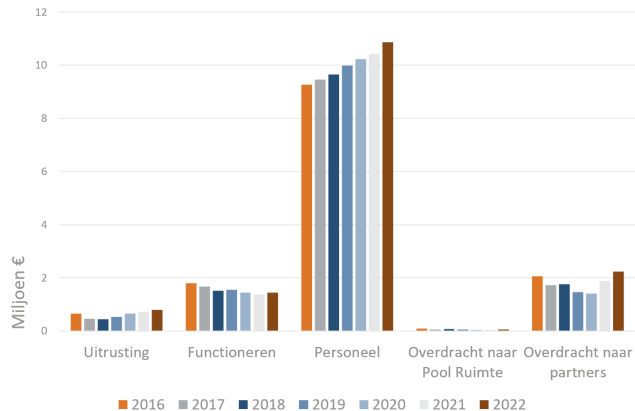
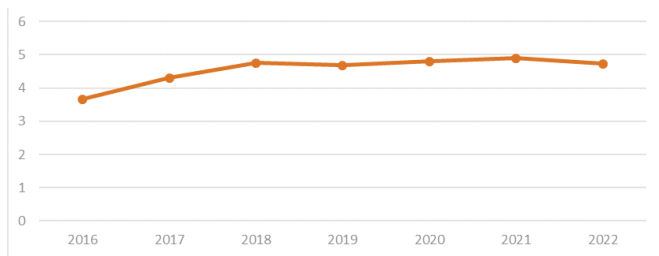
## Aandeel per inkomstenbron (gemiddelde voor 2019-2022)



## Uitgaven

Het overgrote deel van onze uitgaven (> 70%) gaat naar personeel. Deze kosten stijgen elk jaar en zijn in toenemende mate afhankelijk van onze structurele federale financieringsbron die, zoals eerder aangetoond, niet overeenkomstig is gestegen. Hierdoor is er minder ruimte voor het aannemen van statutair personeel en wordt het basis functioneren van het instituut ondermijnd.

## Verhouding tussen lonen en werkings- en uitrustingskosten (lopende gemiddeldes over 4 jaar)





56

Dank u!

Alonso Tagle Maria Luisa  
Amelynck Crist  
Anciaux Michel  
Aoki Shohei  
Arijs Yenn Michel  
Aubry Aurélien  
Bacchini Fabio  
Baker Noel Catherine  
Balis Joachim  
Bauwens Maite  
Beeckman Bram  
Berkenbosch Sophie  
Berthelot Antonin  
Bevernaegie Jessica  
Billot Pierre  
Bingen Christine  
Bjorklund Robin  
Bogaert Pieter  
Bogaerts Brigitte  
Bolsée David  
Bonnewijn Sabrina  
Bosse Léo  
Botek Edith

Brassine Ansje  
Brenot Hugues  
Brouckmans Kristien  
Brun Nicolas  
Bulcke Johan  
Calders Stijn  
Calegaro Antoine  
Callewaert Sieglinde  
Cardoen Pepijn  
Cessateur Gael  
Chabanski Sophie  
Chabrillat Simon  
Chakraborty Debdutta  
Cierkens Jana  
Cisneros Miriam  
Clairquin Roland  
Comperolle Steven  
Counerotte Frédéric  
Crosby Norma Bock  
Cüneyt Nerovali  
Da Pieve Fabiana  
Daerden Frank  
Darrouzet Fabien



De Brouwer Benedicte  
De Cock Roderick  
De Donder Erwin  
De Grave Charlotte  
de Harenne Christina  
De Keyser Johan  
De Mazière Martine  
De Pauw Samuel  
De Rudder Anne  
De Smedt Isabelle  
Debosscher Jonas  
Dekemper Emmanuel  
Demoulin Philippe  
Depiessa Cédric  
Desmet Filip  
Dhooghe Frederik  
Dierckxsens Mark  
Dils Bart  
Dimitropoulou Ermioni  
Dohogne Yves  
Dos Santos Pereira Nuno  
Drochmans Philippe  
Echim Marius

Egerickx Tom  
Errera Quentin  
Erwin Justin Tyler  
Fabris Lorenzo  
Fayt Caroline  
Flimon Zachary  
Floru Tom  
Fonteyn Dominique  
Franssens Ghislain  
Fratta Stéphanie  
Friedrich Martina  
Fussen Didier  
Gaffé Dominique  
Gerard Pierre  
Geunes Yves  
Granville José  
Gray Tramaine  
Haumont Etienne  
Helderweirt Anuschka  
Hemerijckx Geert  
Hendrick François  
Hermans Christian  
Heymans Carine

Hubert Daan  
Iterbeke Philippe  
Jacobs Lars  
Kalb Nathalie  
Keppens Arno  
Kindarkhedra Dhiren Arvindkumar  
Kruglanski Michel  
Kumps Nicolas  
Lambert Jean-Christopher  
Lamort Lucie  
Lamy Hervé  
Langerock Bavo  
Leclere Fabienne  
Lefebvre Arnaud  
Lefever Karolien  
Lerot Christophe  
Letocart Vincent  
Liber Corentin  
Litefti Karim  
Maes Jeroen  
Maggiolo Romain  
Mahieux Arnaud  
Martinez Tarin Ana

Massano Santos Cristina  
Mateshvili Nina  
Merlaud Alexis  
Messios Neophytos  
Mettepenningen Gytha  
Mezhoud Sami  
Michel Alice  
Middernacht Michael  
Minganti Daniele  
Minion Jean Louis  
Miron Octavian  
Moreau Didier  
Muller Alexis  
Müller Jean-François  
Nay Maité  
Neary Lori  
Neefs Eduard  
Noel Christian  
Oomen Glenn-Michael  
Ooms Tim  
Opacka Beata  
Pauwels Dirk  
Pawlak Jordan

Piccialli Arianna  
Pieck Gerry  
Piens Matthias  
Pieroux Didier  
Pierrard Viviane  
Pinardi Gaia  
Poraicu Catalina  
Queirolo Claudio  
Ranvier Sylvain  
Rasoanaivo Aina  
Rasson Olivier  
Ristic Bojan  
Robert Charles  
Robert Séverine  
Sall Massamba  
Santos Branca Claudia  
Sathiyanthan Viththakhan  
Sayyed Umar  
Schoon Niels  
Sfendla Yasmine  
Sha Mahesh Kumar  
Simoni Rachel  
Somers Tim

Sotiriadis Sotiris  
Soumaré Ablaye  
Stavrou Trissevgeni  
Sun Wenfu  
Szabo Peter  
Tack Frederik  
Teunissen Jos  
Theys Nicolas  
Thomas Ian  
Trompet Loïc  
Van Damme Martin  
Van Gent Jeroen  
Van Laeken Lionel  
Van Roozendael Michel  
Vandaele Ann Carine  
Vandenbussche Sophie  
Vanhamel Jurgen  
Vanhellemont Filip  
Vasquez Michel  
Verbracke Fabian  
Verhoelst Tijl  
Verreyken Bert  
Vervalcke Sarah

Vigouroux Corinne  
Viscardy Sébastien  
Vispoel Bastien  
Vlietinck Jonas  
Voytenko Yuriy  
Willame Yannick  
Winant Alexandre  
Yu Huan  
Zhou Minqiang  
Zychova Lenka







Dit boekje geeft in een oogopslag weer bij welke fascinerende projecten het BIRA betrokken was in 2020-2021.

We nodigen je uit om dieper in te gaan op deze topics, en het instituut verder te leren kennen op onze website:

[www.aeronomie.be/jaarverslag](http://www.aeronomie.be/jaarverslag)



@bira\_iasb



@IASB.BIRA



BIRA\_IASB Aeronomy



@BIRA\_IASB

Ce rapport annuel est aussi disponible en français.

This annual report is also available in English.

