

VAN INTERPLANETAIR NAAR INTERDISCIPLINAIR

MOMSTER-monsters in de klas.

Mieke Sterken^{1,6}, Katrien Kolenberg^{1,2,3}, Stijn Calders⁴, Karolien Lefever⁴, Anne-Lize Kochuyt⁵, Hervé Lamy⁴

1 KULeuven, Groepsdienst Wetenschap & Technologie

2 VUB, Vakgroep Fysica, Onderzoeksgroep Astronomie & Astrofysica

3 Universiteit Antwerpen, Departement Fysica

4 BIRA, Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie

5 Planetarium Brussel

6 International Polar Foundation

Meteoren en meteorieten kunnen ons verrassend veel leren over het ontstaan en de evolutie van het zonnestelsel. De wetenschappers van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) pionieren al jaren met hun onderzoek naar meteoren aan de hand van het Belgische netwerk van radio-ontvangers (BRAMS), dat dag en nacht meteoren detecteert in onze regio. Sinds kort kunnen burgers ook meehelpen met het onderzoek, door beelden (spectrogrammen) te analyseren waar signalen van meteoren op te zien zijn. Dit gebeurt via de online tool 'Radio Meteor Zoo' op het burgerwetenschapsplatform Zooniverse.org. Tijdens het schooljaar 2020-2021 trokken de onderzoekers naar een aantal middelbare scholen, waar ze leerlingen met Radio Meteor Zoo in contact brachten en hen inwijdden in de wondere wereld van kometen, meteoroiden, sterren en planeten. Het project bleek een hit: leerlingen waardeerden het rechtstreekse contact met de onderzoeker en de bijdrage die ze zelf konden leveren aan de wetenschap. Ze leerden op een 'andere' manier bij over de verschillende aspecten van ons zonnestelsel. Voor 2021-2022 hebben drie projectpartners (BIRA, KULeuven en Planetarium Brussel) de handen in elkaar geslagen voor de start van 'MOMSTER': een educatieve versie van het burgerwetenschapsproject. Binnen MOMSTER zullen drie mobiele radio-ontvangers heel België rondreizen om gedurende enkele weken door een school geadopteerd te worden. De ontvangers zullen data aanleveren en een aanknopingspunt vormen voor interessante vakoverschrijdende discussies en lesmomenten op school. Het project MOMSTER biedt educatieve materialen aan, niet alleen voor het vak aardrijkskunde, maar voor alle aan STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics) gerelateerde vakken. In dit artikel geven wij u alvast een introductie in het waarom en het hoe van dit onderzoek.

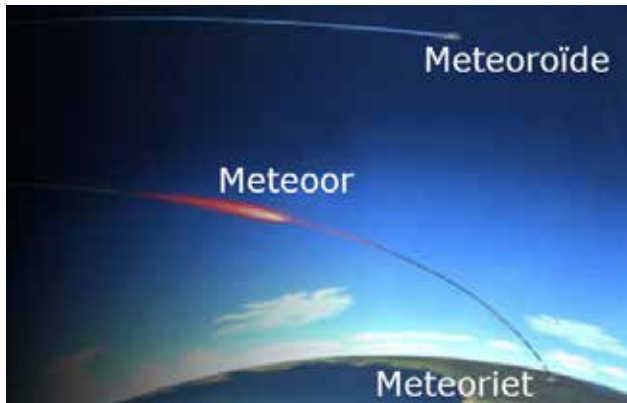
1. Meteo-wat?

Meteoriet, meteoroïde, meteor, planetoïde, asteroïde: het is een kluwen aan woorden, maar in de juiste volgorde komen we er snel aan uit: laat ons starten in het heelal, waar we veel '-oïden' vinden: planetoïden (of asteroïden) en meteoroiden. Het suffix '-oïde' betekent letterlijk 'een soort van' of '-achtige'. Een planetoïde is dus iets wat lijkt op een pla-

neet en een meteoroïde kan je associëren met een meteor. Als uitzondering op de regel is een asteroïde echter geen 'sterachtige', maar is het woord een anglicisme: een afgeleide van het Engelse woord 'asteroid', wat gelijk staat aan onze 'planetoïde'. Ben je nog mee?

Een meteoroïde is een klein object van steen, ijzer en/of ijs dat in de ruimte rondvliegt en veelal afkomstig is van een

groter geheel, zoals een komeet, een planetoïde (= planeetachtige die rond de zon of een andere ster draait), een protplaneet (= voorloper van een planeet), of een maan (= lichaam dat rond een planeet draait). Meteoroiden hebben per definitie een grootte tussen 30 micrometer en één meter. De meeste zijn niet groter dan een zandkorrel of een erwt. Meteoroiden groter dan een meter heten planetoïden.



Figuur 1: Schema van een meteor, meteoroïde en meteoriet.

Als een meteoroïde de baan van de aarde kruist en haar atmosfeer binnendringt, brandt deze door de wrijving met de lucht geheel of gedeeltelijk op. We zien dan een lichtflits aan de hemel die we een meteor, of in de volksmond ‘vallende ster’, noemen. Blijft er na de verbranding nog een stukje van de meteoroïde over en valt die op aarde? Dan noemen we dit object een meteoriet.

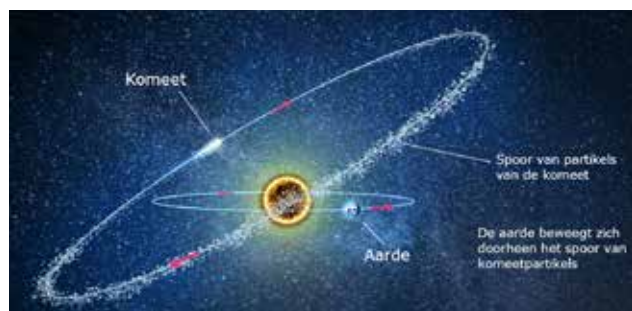
2. Meteo-waarom?

Meteorieten zijn de enige vaste objecten die regelmatig rechtstreeks vanuit ons zonnestelsel op aarde terechtkomen. De meeste meteorieten dateren ofwel uit de vroege ontwikkeling van het zonnestelsel zo’n 4,6 miljard jaar geleden (chondrietten), ofwel zijn ze meer recent ‘afgebroken’ van hun moederlichamen (planetoïden, of uitzonderlijk een planeet zoals Mars, of een maan). Doordat ze afkomstig zijn van hemellichamen die zich vormden bij het prille begin van ons zonnestelsel, kunnen chondrietten ons iets leren over de temperatuur en de chemische elementen die aan- of afwezig waren bij het ontstaan ervan. Ook astrobiologen onderzoeken meteorieten, op zoek naar aanwijzingen over het ontstaan van het leven. Zo vonden onderzoekers recent nog aminozuren (organische verbindingen die de bouwstenen zijn van eiwitten) in een zeldzame meteoriet uit Antarctica die daar in 2021 gevonden werd door een Belgisch-Japanse expeditie². Zo’n 0,2% van alle gevonden meteorieten op aarde komen van de maan of van Mars en vertellen ons dus ook iets over die hemellichamen.

Om de afkomst van meteoroiden te achterhalen, onderzoeken wetenschappers verschillende sporen: (a) ze vergelijken de chemische samenstelling ervan met die van de verschil-

lende klassen van planetoïden, (b) ze dateren de gesteenten, en/of (c) ze capteren het traject (valsnelheid en richting) van meteorieten in de atmosfeer om dan de baan ervan te berekenen en de locatie te bepalen waar de meteoroiden oorspronkelijk van andere objecten afgebroken zijn; meestal is dat ergens in één van de planetoïdengordels.

Meteoroiden circuleren bijna altijd in een baan rond de zon, en vormen daarbij een gordel van brokstukken en stof langs die baan. Wanneer de aarde tijdens haar omloop een dergelijke gordel doorkruist, komen heel wat meteoroiden in onze dampkring terecht, en observeren wij dit als een ‘meteorenregen’. We zien dan veel meer meteorieten per uur in die periode. Zo kennen we o.a. tussen 1 en 15 augustus de meteorenregen ‘Perseïden’, en tussen 7 en 16 december de ‘Geminiden’. Het bestuderen van dergelijke meteorenregens levert ons vaak informatie op over kometen.



Figuur 2: Visualisatie van de relatie tussen kometen en meteoroiden in het zonnestelsel.

Omdat de baan van de aarde en die van de meteoroïdengordel elkaar kruisen lijken de meteorieten vanop aarde gezien te ontspruiten uit één punt. Dit punt noemt men de **radiant**. Vaak noemt men een meteorenregen naar het sterrenbeeld waarin de radiant ervan zich bevindt.

De twee meest bekende gordels in ons zonnestelsel zijn de *Hoofdgordel* – de planetoïdengordel die zich tussen Mars en Jupiter bevindt – en de *Kuipergordel* die zich voorbij Neptunus aan de buitenkant van ons zonnestelsel bevindt.

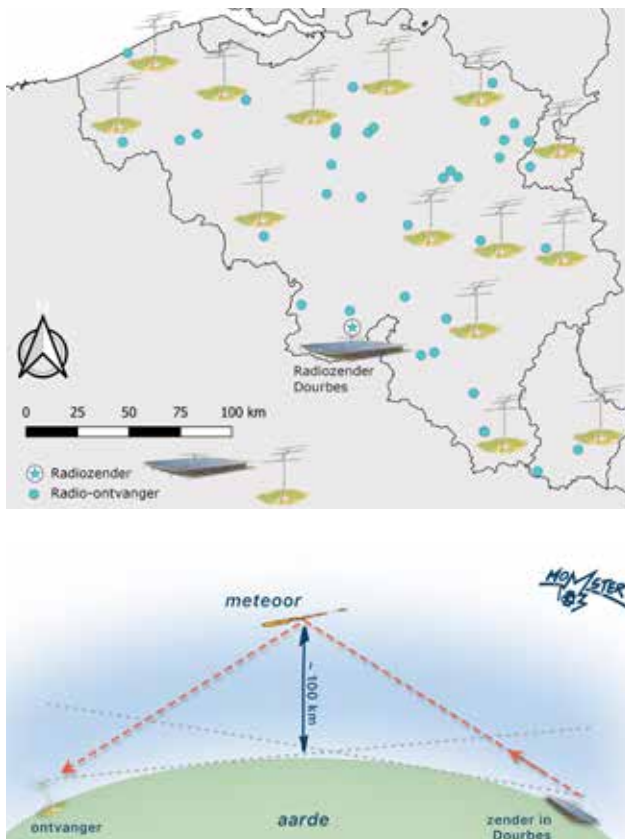
Tot slot is de studie van meteoroiden ook nuttig voor de ruimtevaart: op aarde beschermt de atmosfeer ons tegen inslagen van meteoroiden, maar in de interplanetaire ruimte is dat niet zo. Door hun zeer hoge snelheid, kunnen meteoroiden potentieel veel schade aanrichten aan ruimtetuigen of aan de baan ervan, en dat valt te vermijden.

3. Hoe doet men dat in België?

Zo klein als het Belgisch grondoppervlak is, zo groot staat ons land op de wereldkaart wat betreft onderzoek naar meteoroiden. Het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) en de Vrije Universiteit Brussel (VUB) zijn elk op een complementaire manier gespecialiseerd in

respectievelijk meteorenonderzoek (BIRA) en meteorietenonderzoek (VUB).

Terwijl het team rond Prof. Steven Goderis (VUB) regelmatig de Antarticische ijsvelden trotseert op zoek naar meteorieten, werpt 'team Lamy-Calders' (BIRA) op Belgische bodem de ogen naar de hemel op: de wetenschappers gebruiken immers radiotechnologie om de meteorenflux in de hoge atmosfeer te monitoren. Meteoren zenden zelf geen radiosignalen uit, maar ioniseren plaatselijk de lucht wanneer de meteoroiden de ionosfeer binnenkomen. Radiogolven die vanop aarde uitgestuurd worden, kaatsen terug op die geïoniseerde lucht, en kunnen dus elders op aarde terug opgevangen en geanalyseerd worden. Om hiertoe te komen, installeerde het BIRA een netwerk³ van meer dan 30 permanente radio-ontvangers bij amateurastronomen, radioamateurs en/of volkssterrenwachten verspreid over heel België en net over de grenzen (Figuur 3). Een enkele radiozender staat in Dourbes, en zendt voortdurend radiosignalen met een vaste frequentie (49.97 MHz) de ruimte in. Radiosignalen die terugkaatsen op het ionisatiespoor⁴ van meteoroiden worden dan elders in België opgevangen door één of meerdere BRAMS-ontvangers.



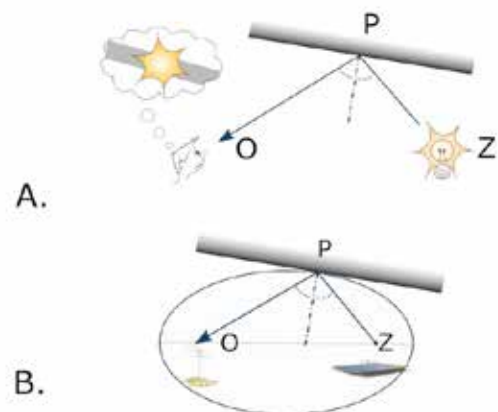
Figuur 3: Locaties van de ontvangststations uit het BRAMS-netwerk en de zender in Dourbes, en schema van het basisprincipe van radiowaarnemingen bij meteorieten.

Uit die teruggekaatste signalen, die we meteor-echo's noemen, willen de wetenschappers informatie bekomen over de baan, de mate van ionisatie, de snelheid en/of de massa

van de gedetecteerde meteoroiden. In het BRAMS-project is men vooral geïnteresseerd in de zeer kleine meteoroiden. Naast de bijdrage aan kennis over meteoroiden en het ontstaan van het zonnestelsel, hebben radio-observaties het bijkomende voordeel dat ze ons ook meer leren over de chemische processen in de hoge atmosfeer (ionosfeer, rond 90-100 km hoogte). Deze luchtlaag is te hoog voor vliegtuigen (max. 10-12 km) of weerballonnen (max. enkele tientallen km hoogte), en te laag voor satellieten. Daarnaast is radio-onderzoek in België ook meer aangewezen dan de zoektocht naar meteorieten op de grond, gezien die veel moeilijker te vinden zijn dan op de witte ijsvlaktes in Antarctica of het zand in een woestijn. Een laatste bijkomend voordeel is dat radio-observaties zowel 's nachts als overdag, én bij bewolkt weer mogelijk zijn. Zo weet men nu dat er in mei/juni meteorenregens zijn die enkel overdag actief zijn: dit noemen wetenschappers daglichtzwermen.

4. Overdense en onderdense meteoren

Wanneer in de hoge atmosfeer kortstondig een ionisatiespoor ontstaat, gedraagt dat spoor zich lokaal als een langwerpige spiegel waarop een radiosignaal afkomstig van de zender in Dourbes weerkaatst wordt in één specifiek punt (het 'speculaire punt'). Net als bij een lichtbundel die op een gewone spiegel invalt, zal bij deze 'radiospiegel' de invalende hoek van het radiosignaal op het ionisatiespoor gelijk zijn aan de uittrekkende hoek (zie Figuur 4A), en kunnen we zo de richting van het ionisatiespoor ter hoogte van het speculaire reflectiepunt berekenen. Wiskundig beschrijft men de meteor-echo als de raaklijn aan een ellips met als brandpunten Z (zender) en O (ontvanger), waarbij het speculaire reflectiepunt P het snijpunt tussen de meteor-echo en de ellips is (figuur 4B).

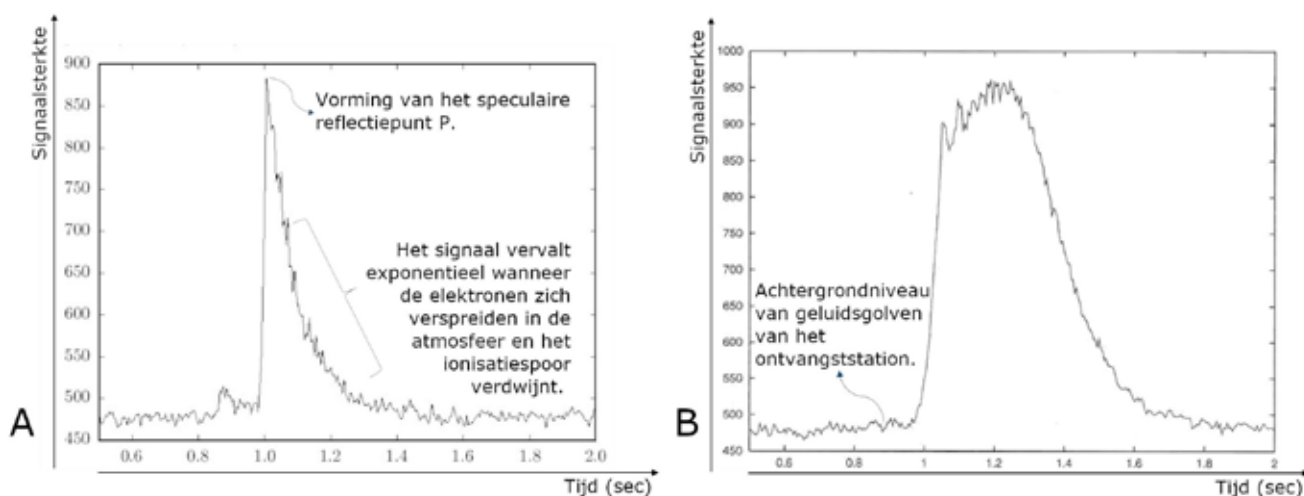


Figuur 4: A. Reflectie van een uitgezonden lichtsignaal (punt Z) dat reflecteert in punt P op een spiegel, waarna het de waarnemer in punt O bereikt. B. Eenzelfde principe geldt voor een radiobundel die uitgezonden wordt in Z, gereflecteerd in P (op het ionisatiespoor van een meteoriet), en gecapteerd wordt in de ontvanger op punt O. De punten O en Z vormen de brandpunten van de ellips waar de rechte die door P loopt aan raakt.

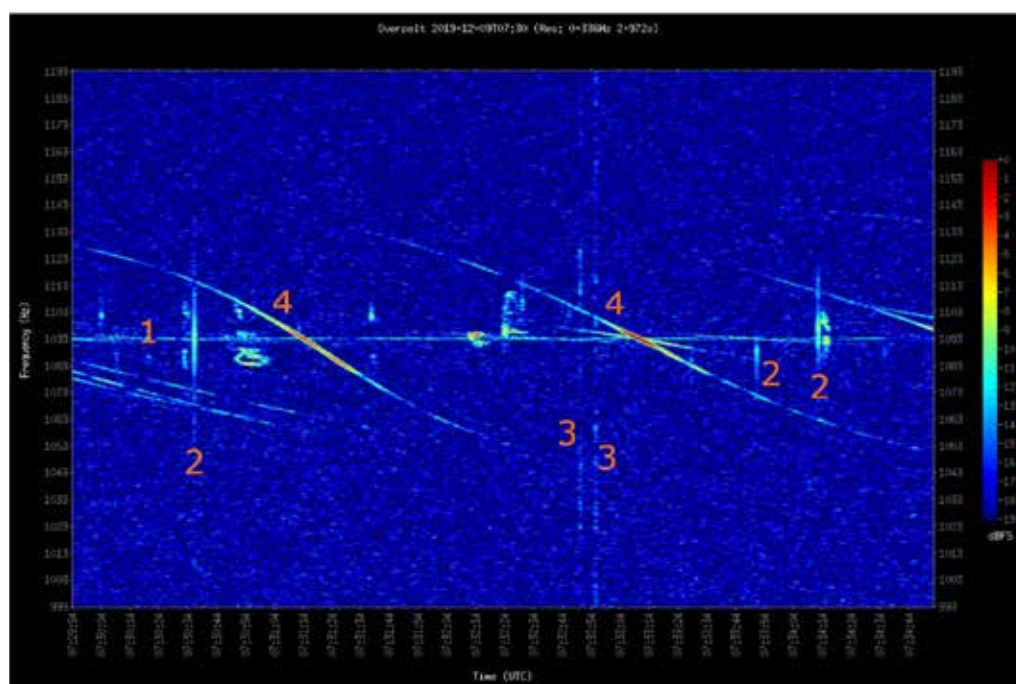
De eigenschappen van het ontvangen signaal hangen af van de dichtheid van de elektronen in de meteor-echo. Ionisatiesporen met zeer lage ionenconcentraties noemen we onderdense sporen, en ionisatiesporen met zeer hoge concentraties heten overdense meteor-echo's. De eerste categorie omvat het merendeel van de signalen die door BRAMS worden opgevangen, en wordt gevormd door meteoroiden die doorgaans kleiner zijn dan een fractie van een millimeter. De signalen komen ook maar kortstondig voor: slechts een paar tienden van een seconde lang (figuur 5A). Overdense meteoren komen veel minder voor. Ze ontstaan bij grotere meteoroiden en kunnen van enkele seconden tot zelfs enkele minuten blijven bestaan (figuur 5B).

5. Spectrogrammen

De ontvangen radiosignalen worden omgezet via een Fouriertransformatie naar interpreteerbare signalen die worden weergegeven in spectrogrammen (figuur 6). Hierin stelt de X-as de tijd voor (0-5 minuten) en de Y-as een range aan frequenties (hier: 993-1193 Hz). De pixels, of beter: datapunten, in het spectrogram krijgen een verschillende kleur naargelang de sterkte van het ontvangen signaal voor de frequentie die op dat moment wordt waargenomen. In de online BRAMS-data viewer kan je zelf data invoeren en omzetten via Fouriertransformatie: https://brams.aeronomie.be/brams_viewer.



Figuur 5: Signaal van een onderdense (A) en overdense (B) echo. De X-as stelt de tijd voor (in seconden) en de Y-as de signaalsterkte⁵ opgevangen voor deze meteor-echo's.



Figuur 6: Voorbeeld van een spectrogram uit BRAMS: de horizontale lijn (1) op 1093 Hz is de (al dan niet getransformeerde) frequentie van de rechtstreekse signalen van de radiozender. De korte verticale strepen (2) zijn (wellicht onderdense) meteor-echo's. Meteor-echo's met langere duurtijd en complexere vormen op het spectrogram zijn overdense meteor-echo's. De twee verticale lijnen (3) stellen breedband-interferentie voor, over de hele breedte van het frequentiespectrum. De langwerpige S-vormige echo's (4) zijn reflecties van vliegtuigen in de lucht en worden veroorzaakt door een combinatie van Dopplereffecten tegenover de zender en de ontvanger.

Het BIRA-onderzoeksteam werkt momenteel aan de automatisering van de verwerking van alle gegevens die uit het BRAMS-netwerk voortkomen. Het herkennen van meteor-echo's op spectrogrammen is voor een computer nog steeds minder evident dan voor het menselijk brein, vooral bij overdense meteorobservaties. Het algoritme kan hierin getraind worden als het eerst gevoed wordt met een zeer groot aantal manueel geïnterpreteerde spectrogrammen. En hiervoor kunnen de onderzoekers onze hulp gebruiken!

De online tool 'Radio Meteor Zoo' (<https://www.radiometeorzoo.be>) stelt duizenden BRAMS-spectrogrammen openbaar, zodat mensen ze kunnen helpen interpreteren. De activiteit zelf is niet erg moeilijk en dus zeer laagdrempelig: de gebruiker screent het spectrogram en duidt met zo passend mogelijke rechthoeken aan waar hij/zij een signaal van een meteor meent te herkennen. Het staat deelnemers vrij hoeveel spectrogrammen ze onder de loep nemen. Om de juistheid van de interpretaties te garanderen, wordt elk spectrogram door verschillende burgerwetenschappers geanalyseerd.

6. Burgerwetenschap: wat?

Burgerwetenschap of Citizen Science behelst wetenschappelijk onderzoek waar burgers actief aan meewerken; niet als onderzoeksobject maar als onderzoeker. Veelal gebeurt dit onder begeleiding van of in samenwerking met professionele wetenschappers die de hulp van burgers vaak dankbaar kunnen gebruiken. Omgekeerd profiteren burgerwetenschappers dan weer van de kennis en kunde van de professionele wetenschapper, het bijdragen aan echt wetenschappelijk onderzoek, inzage in data, en soms ook inspraak in de onderzoeksvraag of -methode. In het onderwijs wordt burgerwetenschap nog maar net schoorvoetend ontdekt, maar heeft het een enorm pedagogisch potentieel. Dit kwam voort uit een pioniersstudie die de KULeuven (groepsdienst Wetenschap en Technologie) samen met partners uit Polen, Spanje en Griekenland uitvoerde tijdens het schooljaar 2020-2021 (project BRITEC⁶).

7. Wat voorafging: BRITEC en de Radio Meteor Zoo

Het Erasmus+ project BRITEC exploreerde in 2020-2021 de mogelijkheden van burgerwetenschap in de klas via een tiental experimenten in bijna 30 scholen verspreid over België, Griekenland, Spanje en Polen. In ons land namen zes scholen deel aan een of meer wetenschappelijke onderzoeken die begeleid werden door een onderzoeker. Geluidsexpert Dr. Luc Dekoninck (Ugent), luchtkwaliteitsonderzoeker Dr. Geert Bauwens (KULeuven) en meteorononderzoeker Ing. Stijn Calders (BIRA) namen, net als meer dan tien leerkrachten deel aan verschillende focusgroepvergaderingen en online bevragingen, om hun kennis van en ideeën over bur-

gerwetenschap met BRITEC te delen. De onderzoekers werkten rechtstreeks samen met de leerkrachten en verzorgden ook een gastles voor de leerlingen van elke deelnemende klas. Vervolgens gingen de leerlingen samen met hun leerkrachten enkele weken aan de slag met onderzoeksactiviteiten en bijhorende educatieve activiteiten. Voor het meteorononderzoek werden de leerlingen naar het citizen science platform Zooniverse geleid, waar ze rechtstreeks de spectrogrammen van BRAMS konden interpreteren door er de signalen van meteor-echo's zo nauwkeurig mogelijk op aan te duiden in de module Radio Meteor Zoo (<https://www.zooniverse.org/projects/zooniverse/radio-meteor-zoo>).

Uit de focusgroepgesprekken is, zowel in het buitenland als in de Belgische deelnemende scholen, een unaniem enthousiasme gebleken voor citizen science in de klas: de deelnemende leerkrachten vonden de lestopics en onderzoeksactiviteiten relevant, interessant en uitdagend. Ook de leerlingen lieten enthousiast weten dat het project hen een motivatieboost gaf doordat ze, o.a., een beter beeld kregen over het beroep van wetenschapper en hoe onderzoek in zijn werk gaat. Nuttig was ook dat het onderzoek steeds breed genoeg gekoppeld kon worden met (vaak vakoverschrijdende) leerplanrelevante leerstof. De leerkrachten stipten ook hun voorkeur aan voor het aanbieden van losse lestopics in plaats van een volledig kant-en-klare vaste activiteitenreeks.

8. MOMSTER: wij komen naar je toe!

Ook de wetenschappers binnen BRITEC willen met deze ervaring verder aan de slag in (en met) scholen. Bij het BIRA, de KULeuven en het Planetarium van Brussel kwam daarom het idee om Radio Meteor Zoo permanent in te bedden in een educatieve context: via het nieuwe project MOMSTER⁷ willen zij leerlingen uit het middelbaar onderwijs motiveren om later wetenschappelijke studies te gaan doen, en de passie voor STEM op school te vergroten.

Vanaf september 2021 biedt MOMSTER verschillende educatieve materialen aan voor lessen aardrijkskunde, wiskunde, fysica, chemie, STEM en zelfs artistieke vakken.

Leerkrachten kunnen ook een van de drie mobiele radio-ontvangststations in hun school installeren om er gedurende enkele weken mee aan de slag te gaan in en naast hun lessen. De stations zullen reizen van school tot school, en zullen in de vakanties te zien zijn in planetaria en bezoekerscentra over heel België. Deze 'space boxen' bestaan uit een aluminium kist met daarin een ontvangststation en bijhorende monteerbare antenne, een rollup-banner met infographic, en eventuele bijkomende educatieve fiches.

De lesmaterialen worden online aangeboden als een 'educatief buffet': een samenstelling van verschillende lestopics



Figuur 7: De 'space box' waarvan er drie exemplaren rondreizen van school tot school.

die apart kunnen staan, maar ook als een puzzel op elkaar kunnen aansluiten; zo worden voor aardrijkskunde topics als kosmologie (meteoren, meteorieten, meteoroiden, het zonnestelsel, het heelal) aangesneden, maar ook de dynamieken van de ijskap in Antarctica, geochemie of kennis van de atmosfeer. GIS komt aan bod in een oefening over het plaatsen van ontvangststations in België (aardrijkskunde, 3e graad), en ook de stelling van Pythagoras wordt hierbij aangeraakt (wiskunde, 2e graad). Het principe van radio-observaties of van ionisatie in de atmosfeer kan dan weer in de vakken chemie en fysica aan bod komen. Ook de ontvangststations zelf hebben een groot educatief potentieel voor de lessen STEM. De materialen zullen continu worden aangevuld, naargelang suggesties en input van gebruikers.

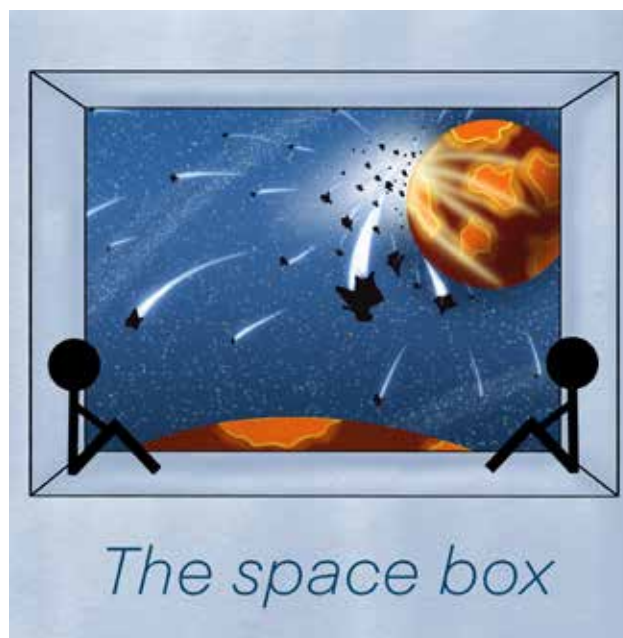
9. Van STEM naar STEAM

In 2021 organiseerden de MOMSTER-projectpartners een kunst- en designwedstrijd voor alle leerlingen uit het middelbaar onderwijs. Deze wedstrijd was meteen het startschot voor de integratie van de letter 'A' (Arts) in het STEM-gegeven: Science, Technology, Engineering, Arts & Maths.

De winnende inzendingen reizen mee met de MOMSTER-boxen, als sierende sticker (figuur 8: kunstontwerp A. Van Poppel) en als bijgevoegde rollup (figuur 9: infografiek designontwerp R. Küçük).

Omdat kunst en wetenschap hand in hand gaan, hebben de medewerkers van MOMSTER bij aanvang ook al een educatief pakket rond datavisualisatie voorzien. Samen met een extra module rond etymologie (voor vakken als Nederlands, Latijn en Grieks) illustreert MOMSTER dat eender welk onderzoeksonderwerp breed vakoverschrijdend kan gedragen worden in een school.

Wie concreet met de MOMSTER-box aan de slag wil gaan, kan een het online interesseformulier op de MOMSTER-web-



Figuur 8: Het winnende kunstontwerp (2021) van A. Van Poppel (Sint-Ursula-Instituut, OLV-Waver).

site invullen. De educatieve materialen zullen gratis downloadbaar op de website worden aangeboden (zie <https://momster.aeronomie.be/index.php/nl/educatief-materiaal>), en dit zowel in het Nederlands als in het Frans. Voor feedback, vragen of suggesties over mogelijke extra educatieve topics horen de onderzoekers zeer graag iets van jullie, de leerkrachten, via momster@aeronomie.be!

Meteoroiden, Meteoren, Meteorieten

Meteoroiden:

Een meteoroid (soms ook wel meteoride genoemd) is een vast object dat door de ruimte zweeft (met een grootte tussen 30 micrometer en 1 meter). Het reist door de interplanetaire ruimte en rond de Zon op vele verschillende banen (met snelheden van ~11 tot ~72 km/s).

Meteoor: is het zichtbare resultaat van een meteoroid die ook de aardatmosfeer doorkruist. Met een hoogte tussen ~120 en ~80 km. Een meteoor kan je ook een vallende ster noemen. Een meteoor komt met een enorme snelheid in de atmosfeer van de Aarde terecht.

Meteoriet: is een vast stuk puin dat op de Aarde inslaat na vanuit de ruimte door de atmosfeer te zijn gevallen. Een meteoriet is kleiner dan de originele meteoroid. Het kan als een meteoor te zien zijn. Alleen de grote meteoroiden kunnen aanleiding geven tot meteorieten.

Figuur 9: Het winnende designontwerp (2021) van R. Küçük (Stedelijk Lyceum Hardenvoort, Antwerpen).

› Meer weten?

De MOMSTER-webpagina, met informatie en educatieve materialen (NL, Fr): <https://momster.aeronomie.be>

Het BRAMS-netwerk (Eng): <https://brams.aeronomie.be>

Radio Meteor Zoo (NL, Fr, Eng, Sp): <https://www.radiometeorzoo.be>

De Internationale Meteoren Organisatie (IMO): www.imo.net en <https://www.imo.net/observations/methods/radio-observation/>

BRITEC: projectpagina van het Erasmus+ project 'Bringing Research Into The Classroom': <https://britec.igf.edu.pl>

BRITEC rapport voor burgerwetenschap en onderwijs (Eng): <http://www.scientix.eu/documents/10137/752677/Scientix-Bringing-Research-into-the-Classroom-April2019-online-v1.pdf/ccce91ff-def6-4bee-89c5-71ab83405ebb>

BRITEC Massive Open Online Course (Eng): <https://www.europeanschoolnetacademy.eu/courses/course-v1:BRITEC-CitizenScience+2021/about>

BRITEC citizen science toolkit voor in de klas: https://britec.igf.edu.pl/wp-content/uploads/2021/09/BRITEC-Citizen-Science-Toolkit_NL-update-v02.pdf

BRITEC: samenvatting van het project (Eng), met hyperlinks naar verschillende online bronnen: <https://app.mural.co/t/kuleuventest2805/m/kuleuventest2805/1627723403681/5c3c1d2958d4915914747960cfd3109c8d60b12c?sender=u440a06f9c2801dbc8cb79264>

Meteorietenonderzoek Prof. Goderis (VUB):

- Belgische wetenschap bestudeert Belgische meteorieten | BIRA (<https://www.aeronomie.be/nl/nieuws/2020/belgische-wetenschap-bestudeert-belgische-meteorieten>)
- www.polarfoundation.org/news_press/news/steven_goderis_on_the_geological_history_micrometeorites_can_reveal

Dankwoord

Het project Momster wordt gefinancierd door de Europlanet Society (<https://www.europlanet-society.org>), en de instituten BIRA, KULeuven en Planetarium Brussel. Speciale dank aan leerkrachten Wim Van Bugghenout (GTI-Londerzeel), Margo Nys (OLV-College Antwerpen) en Rune Dillen (Stedelijk Lyceum Hardenvoort) voor hun input bij het ontwikkelen en/of uittesten van educatieve materialen.

- 1 Chondrieten zijn steenachtige meteorieten die na hun ontstaan of afsplitsing van het moederlichaam geen chemische of fysische verandering meer hebben ondergaan. Deze meteorieten leren ons dus rechtstreeks iets over de structuur van die moederlichamen.
- 2 Bron: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/pristine-space-rock-offers-nasa-scientists-peek-at-evolution-of-life-s-building-blocks>
- 3 Dit netwerk heet BRAMS: Belgian RAdio Meteor Stations (<https://brams.aeronomie.be>).
- 4 Zo'n ionisatiespoor ontstaat achter de meteoroïde wanneer die de ionosfeer binnenkomt: de meeste meteoroïden zijn zo klein dat hun verbranding in de atmosfeer nauwelijks of niet zichtbaar is, maar door botsing met moleculen uit de hoge atmosfeer ontnemen de

meteoroïden elektronen van die moleculen, een proces dat we ionisatie noemen. De reflectie van radiosignalen doet zich voor tussen 80 en 110 kilometer hoogte: boven de 110 km is de lucht te ijl om nog voldoende ionen te creëren die een radiosignaal kunnen reflecteren, en onder de 80 km zijn de meeste meteoroïden al volledig geëvaporiseerd.

- 5 De signaalsterkte wordt normaal gesproken weergegeven in Volt of Watt, maar omdat de waarnemingen niet gecalibreerd zijn worden hier arbitraire eenheden weergegeven.
- 6 BRITEC – Bringing Research Into The Classroom: <https://britec.igf.edu.pl>
- 7 MOMSTER – MOBILE Meteor STation for Education and outReach: <https://momster.aeronomie.be/index.php/nl/>