

Satellieten en Aardobservatie

Een NLT-module voor VWO



Satellieten en Aardobservatie

Een NLT-module voor VWO

ESERO NL i.s.m. De Praktijk



De Praktijk
natuurwetenschappelijk onderwijs & wetenschapscommunicatie

Colofon

De module Satellieten en Aardobservatie is bestemd voor de lessen Natuur, Leven en Technologie (NLT). De module is op 24 mei 2016 gecertificeerd door de Stuurgroep NLT voor gebruik op het VWO.

De module is bruikbaar in de domeinen:

C1 Processen in levende natuur, aarde en ruimte

E1 Methoden en technieken van technologische ontwikkeling

F2 Methoden en technieken van onderzoek

De module is gecertificeerd tot 1 augustus 2021 met certificeringsnummer X238-080-VC1E2.

De originele gecertificeerde module is downloadbaar via

<http://module-database.betavak-nlt.nl>

Deze module is gemaakt in opdracht van ESERO NL

(www.ruimtevaartindeklas.nl). ESERO NL is een samenwerking van ESA (European Space Agency), NSO (Netherlands Space Office) en NEMO Science Museum.

De module is ontwikkeld door De Praktijk met medewerking van

NEMO Science Museum/ESERO NL, Amsterdam Wendy van den Putte

De Praktijk, Amsterdam Miranda Jansen, Marieke Hohnen,

Maureen Voestermans, Remco Krijthe, Maarten van de Griend, Alex Verkade

KNMI, De Bilt Jos van Geffen

SRON, Utrecht/Groningen Eveline van der Linden, Frans Stravers

SarVision, Wageningen Niels Wielaard, Marcela Quinones

TU Delft, Delft Ramon Hanssen, Cornelis Slobbe en Freek van Leijen

Netherlands Space Office (NSO), Den Haag Radboud Knoop

Nuborgh College Elburg, Elburg Arjan Pruim

BètaSteunpunt Zuid-Holland, Delft Edgar de Wit, Hilma Buiten,

Annelies Voordendag

Aangepaste versies van deze module mogen alleen verspreid worden, indien in dit colofon vermeld wordt dat het een aangepaste versie betreft, onder vermelding van de naam van de auteur van de wijzigingen.

Materialen die leerlingen nodig hebben bij deze module zijn beschikbaar via het vaklokaal NLT: <http://www.vaklokaal-nlt.nl/>. Op dit vaklokaal staat ook de meest recente versie van de URL-lijst.

© 2016 Versie 1.1

Het auteursrecht op de module berust bij NCWT, de moederorganisatie van NEMO Science Museum. NCWT is derhalve de rechthebbende zoals bedoeld in de hieronder vermelde creative commons licentie.

De auteurs hebben bij de ontwikkeling van de module gebruik gemaakt van materiaal van derden en daarvoor toestemming verkregen. Bij het achterhalen en voldoen van de rechten op teksten, illustraties, enz. is de grootst mogelijke zorgvuldigheid betracht. Mochten er desondanks personen of instanties zijn die rechten menen te kunnen doen gelden op tekstgedeeltes, illustraties, enz. van een module, dan worden zij verzocht zich in verbinding te stellen met NCWT.

De module is met zorg samengesteld en getest. NCWT, Landelijk Coördinatiepunt NLT, Stuurgroep Verankering NLT, SLO en auteurs aanvaarden geen enkele aansprakelijkheid voor onjuistheden en/of onvolledigheden in de module. Ook aanvaarden NCWT, Landelijk Coördinatiepunt NLT, Stuurgroep Verankering NLT, SLO en auteurs geen enkele aansprakelijkheid voor enige schade, voortkomend uit (het gebruik van) deze module.



Voor deze module geldt een Creative Commons Naamsvermelding-Niet-commercieel-Gelijk delen 3.0 Nederland Licentie

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/nl>

Bij naamsvermelding dient vermeld te worden:

- dat het gaat om een gecertificeerde NLT module;
- de licentiehouder, zoals vermeld in dit colofon;
- de titel van de module, zoals vermeld in dit colofon;
- de instellingen die de module ontwikkeld hebben, zoals vermeld in dit colofon.

Satellietbeelden Nederland Bron: Copernicus Sentinel data (2015)/ESA

Sentinel 5P-satelliet met Tropomi instrument Bron: TNO

Voorwoord

Welkom bij de NLT-module Satellieten en Aardobservatie. Deze module neemt je in vogelvlucht mee rond de aarde tot zelfs buiten de dampkring. Daar cirkelen talloze satellieten rond die allerlei processen in, op en boven de aarde meten, registreren en als data aanleveren. In deze module maak je kennis met een aantal satellieten, de data die ze opleveren en hun toepassingen. Je gaat zelf enkele praktische opdrachten uitvoeren, satellietdata verwerken en interpreteren en een eigen onderzoek doen. Veel plezier met deze module gewenst!

Inhoud

1	Introductie Satellieten	7
	<i>Leerdoelen</i>	7
	Een nieuwe satelliet	8
	Een baan om de aarde	9
	Luchtvervuiling, een grensoverschrijdend probleem	11
	Samenstelling aardatmosfeer en menselijke invloeden	14
	Een satelliet lanceren	17
	Practicum: een raket lanceren	19
2	Atmosfeer	22
	<i>Leerdoelen</i>	23
	Een stralend blauwe hemel	24
	Temperatuur en dichtheid in de verschillende lagen	26
	Aerosolen en fijnstof	27
	UV-straling en de ozonlaag	29
	CFK's en het gat in de ozonlaag	30
	In kaart brengen van het gat	32
	UV-index	34
	Meten aan de troposfeer	37
	De tralie als spectrometer	39
	Verzonken tralie	41
	Satellieten gebruiken om stoffen te meten	44
	<i>Practicum: spectraalanalyse</i>	46
3	Land	50
	<i>Leerdoelen</i>	50
	Grenzeloos observeren	51
	Waar worden aardobservaties voor gebruikt?	52
	Passief observeren	54
	Actief observeren	56
	Gepolariseerde straling	59
	Reliëf met Lidar	61
	Toepassingen van Lidar	63

4	Zee	68
	<i>Leerdoelen</i>	68
	Onder de zeespiegel	69
	Zeespiegel, NAP en geöïde	71
	Valversnelling	73
	Zwaartekrachtmetingen: van grond naar GRACE	76
	GOCE	80
	Post-glaciale opheffing	83
	Altimetrie	84
	Zeespiegelstijging	85
	Zeespiegelstijging en dijken	87
5	Eigen onderzoek	90
	<i>Onderzoeksopdracht 1:</i>	
	UV-straling, verbranding en vitamine D	91
	<i>Onderzoeksopdracht 2:</i>	
	Luchtkwaliteit en onze gezondheid	95
	<i>Onderzoeksopdracht 3:</i>	
	De rol van plankton in voedselweb en klimaat	99
	Presentatie onderzoeksopdracht	103

1 Introductie satellieten

Leerdoelen

Na thema 1 Introductie:

- kun je verschillende typen en toepassingen van satellieten benoemen
- ken je een aantal oorzaken van luchtvervuiling en luchtvervuilende stoffen
- kun je berekeningen uitvoeren aan de lancering van basis van satellietgegevens geïnterpreteerd
- heb je kennisgemaakt met meetinstrumenten op satellieten die actief waren, nu actief zijn of dat in de toekomst zullen zijn



Een nieuwe satelliet

Opdracht 1.1

Bekijk het filmpje 'André Kuipers over satelliet Tropomi - KOFFIETIJD' van het kanaal RTL Entertainment: <https://www.youtube.com/watch?v=6XU9BjhmBzY>

In 2017 wordt een nieuwe satelliet gelanceerd, met aan boord het instrument TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument). TROPOMI is ontwikkeld en gebouwd door SRON, een Nederlands instituut voor ruimteonderzoek. Het richt zich op het meten van de luchtkwaliteit in de troposfeer; de onderste laag van onze atmosfeer. Met een resolutie van 7x7 kilometer kan er met dit instrument op stadsniveau onderzoek worden verricht.

TROPOMI maakt deel uit van het Copernicus-programma. Dit is een satellietprogramma van de Europese Unie. Het wordt sinds 2001 uitgevoerd door de Europese ruimtevaartorganisatie ESA. Het staat geheel in het teken van aardobservatie. Een belangrijk onderdeel van dit programma zijn de vijf Sentinel-missies. Iedere missie bestaat uit vier satellieten en richt zich op een ander aspect van aardobservatie. De atmosfeer, het land en de oceaan worden onderzocht en er wordt bijvoorbeeld ook gekeken naar ontbossing en vegetatie. TROPOMI valt onder Sentinel-missie 5: atmosfeerobservatie. Behalve met satellieten worden ook observaties vanaf de grond en uit de lucht gedaan. Het Copernicus-programma gaat de toestand van de aarde goed in de gaten houden ten bate van onze veiligheid en de kwaliteit van het milieu.



Een baan om de aarde

Een satelliet beweegt in een baan rond de aarde, maar hoe? Er zijn verschillende mogelijkheden. Welke baan je voor een satelliet kiest, hangt af van wat je de satelliet wil laten doen.

Een satelliet in een baan om de evenaar ziet bijvoorbeeld niet wat er boven de polen gebeurt. Dat kan wel als de satelliet een polaire baan heeft, van de Noordpool naar de Zuidpool en aan de andere kant van de aarde weer van zuid naar noord. Door de draaiing van de aarde om haar as vliegt de satelliet uiteindelijk overal overheen.

Sommige satellieten vliegen zo dicht mogelijk bij het aardoppervlak, zodat de resolutie van de metingen zo hoog mogelijk is. Dat kan bijvoorbeeld in lage banen (low earth orbit) tussen pakweg 350 en 1000 km hoogte. Op iets grotere afstand is er meer overzicht, dus als je een groot oppervlak tegelijk wilt bekijken kan dit de voorkeur hebben.

Voor sommige toepassingen is het niet handig als een satelliet de hele aarde bekijkt. Het kan nodig zijn dat de satelliet altijd aan een bepaald punt aan de hemel 'staat'. Zo'n satelliet heeft een zogenaamde geostationaire baan, met een omlooptijd van precies 24 uur, waardoor het voor een waarnemer op aarde lijkt of de satelliet op steeds hetzelfde punt in de hemel hangt. Om dit te bewerkstelligen moet de afstand tot de aarde wel een stuk groter zijn: zo'n 36.000 km. Later in deze module leer je meer over geostationaire banen.

Verder is het mogelijk een satelliet naar een punt in de ruimte te brengen, waar de zwaartekracht van de zon en aarde elkaar als het ware opheffen, waardoor de satelliet vrij kan 'hangen' tussen de aarde en zon in. Dit punt wordt een Lagrangepunt genoemd en één zo'n punt ligt zo'n anderhalf miljoen kilometer naar de zon toe. Vanuit dit punt ziet een satelliet de hele tijd de zon-verlichte kant van de aarde.

Opdracht 1.2

Vul de tabel hieronder in. Bedenk wat het type satelliet moet doen, en welke keuzes je daarom zou maken voor de kijkrichting, de baan, en de vlieghoogte.

<i>Functie satelliet</i>	<i>Kijkrichting: naar aarde/ van aarde af</i>	<i>Baan: polair/ geostationair/ Lagrangepunt</i>	<i>Baanhoogte: hoog/laag</i>
<i>Observatie luchtvervuiling</i>			
<i>Wetenschappelijk onderzoek zonnewind</i>			
<i>Weerobservatie</i>			
<i>Spionage</i>			
<i>Communicatie (TV)</i>			
<i>Navigatie (GPS)</i>			

Opdracht 1.3

Ga naar: <http://apps.agi.com/SatelliteViewer/>. Bestudeer de verschillende satellietsoorten en banen door opties aan en uit te vinken.

- a** Schat de verhouding tussen het aantal operationele en het aantal niet-operationele satellieten.
- b** Welke landen of organisaties hebben veel satellieten?
- c** Zoals je ziet zijn veel satellieten niet meer operationeel. Die kunnen dus beschouwd worden als 'ruimtepuin'. Dit is een groot probleem, aangezien botsingen met nog werkende satellieten voorkomen moeten worden. Hoe meer ruimtepuin, hoe lastiger dit wordt. Brainstorm met zijn tweeën of drieën over oplossingen voor dit probleem. Hoe halen we oude satellieten uit de ruimte en hoe bouwen we nieuwe satellieten op zo'n manier dat het probleem niet erger wordt?

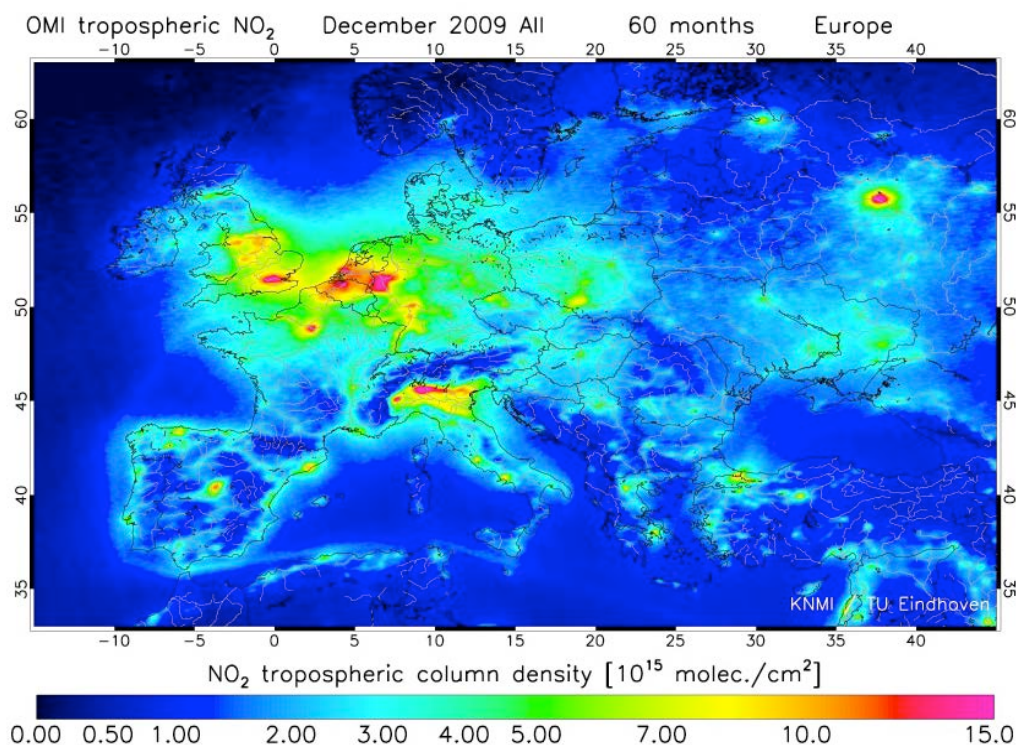


Luchtvervuiling, een grensoverschrijdend probleem

In de volgende opdrachten gaan we dieper in op de observatie van luchtvervuiling. TROPOMI, het in 2016 gelanceerde meetinstrument, is zo gloednieuw, dat we nog weinig observatiedata hebben. Van de voorganger OMI, overigens ook een Nederlands instrument, hebben we die wel.

OMI staat voor Ozone Monitoring Instrument. OMI meet de dikte van de ozonlaag en de concentratie van allerlei stoffen in de atmosfeer, zoals stikstofdioxide (NO_2) en andere luchtverontreinigende stoffen, waaronder zwaveldioxide (SO_2) en fijnstof. OMI bevindt zich aan boord van de satelliet Aura van NASA, de Amerikaanse ruimtevaartorganisatie. Deze satelliet draait gemiddeld 14,5 keer per dag rond de aarde over de polen om zo de atmosfeer wereldwijd in de gaten te kunnen houden.

Afbeelding 1 is afkomstig van metingen door OMI. De afbeelding laat het gehalte stikstofdioxide in de atmosfeer boven Europa zien.



Afbeelding 1 Gemiddelde waarde troposferisch NO_2 , gemiddeld over de jaren 2004-2009, zoals gemeten door OMI Bron: KNMI/TUe

Opdracht 1.4

Bekijk afbeelding 1. Op een aantal plekken in Europa, waaronder een groot deel van Nederland, zie je een hoge concentratie van stikstofdioxide. Leg uit waarom er juist op die plekken zoveel NO₂ in de atmosfeer zit.

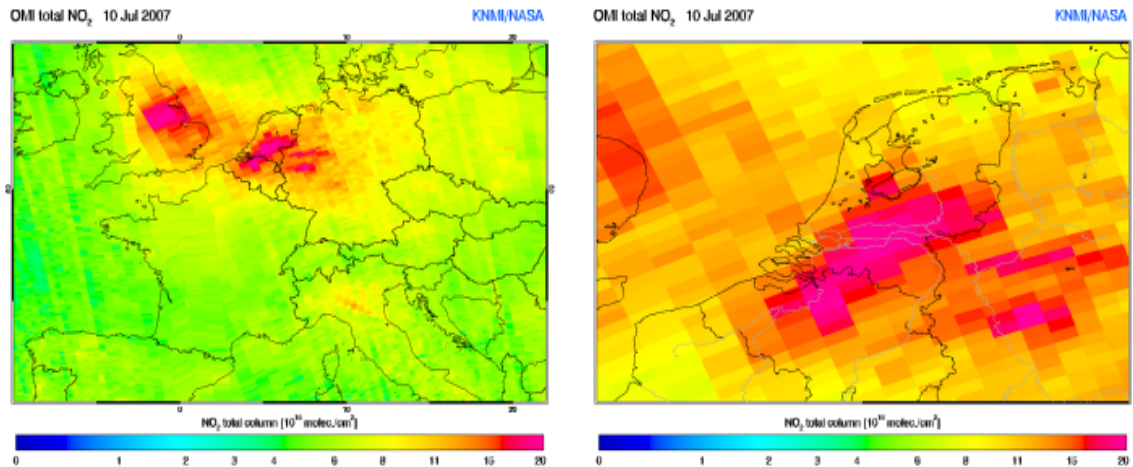
Overheden proberen door maatregelen in te stellen de luchtkwaliteit te verbeteren. Denk bijvoorbeeld aan het stimuleren van schone (elektrische) auto's of het instellen van milieuzones in grote steden. Om te kunnen onderzoeken hoeveel effect dergelijke maatregelen hebben, is het noodzakelijk om wereldwijd gegevens over meerdere jaren te verzamelen. Alleen dan valt te concluderen of de luchtkwaliteit daadwerkelijk is veranderd. Satellieten zijn hier bij uitstek geschikt voor. Ze kunnen ongestoord en onafgebroken de aarde jarenlang observeren. Zo houdt OMI al sinds 2004 onze gehele atmosfeer dag in dag uit nauwlettend in de gaten. Het instrument vangt weerkaatst zonlicht van het aardoppervlak op en bepaalt aan de hand daarvan in welke mate bepaalde stoffen zich in de atmosfeer bevinden. Hoe dat precies in zijn werk gaat, komt later in deze module aan de orde.



Afbeelding 2 Milieuzone voor vrachtwagens

Bron: Wikipedia

Een meting door OMI op een individuele dag is te zien in afbeelding 3. Je ziet de concentratie van stikstofdioxide in de gehele atmosfeer, dat wil zeggen tussen het aardoppervlak en de satelliet. De 'blokjes' zijn de zogenaamde grondpixels van OMI: een grondpixel is het stukje aardoppervlak dat OMI in één keer bekijkt. OMI bekijkt per baan een ongeveer 2600 km brede strook van het aardoppervlak.



Afbeelding 3 Beeld van OMI van 10 juli 2007 Bron: KNMI

Opdracht 1.5

De grootte van een grondpixel van een satellietinstrument is de ruimtelijke resolutie van dat instrument. De Aura-satelliet beweegt in een deel van zijn baan van zuid naar noord, terwijl de aarde onder de satelliet om haar as draait. Het gevolg is dat de strook aardoppervlak die OMI in dit deel van de baan ziet, loopt van zuidoost naar noordwest.

- a** *Gegeven dat de afstand tussen Maastricht en Den Helder 243 km is, bepaal de grootte van een OMI grondpixel in de vliegrichting van de satelliet.*
- b** *Wat valt je op aan de horizontale afmeting (van links naar rechts op de afbeelding) van de pixels? Kun je hier een verklaring voor geven?*

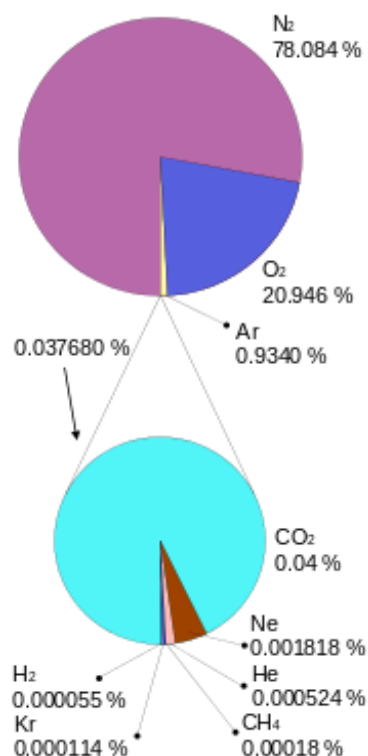
De resolutie van OMI was voor zijn tijd ongekend. Nog nooit eerder kon met zulk detail de luchtkwaliteit in kaart worden gebracht. Echter, als je naar afbeelding 3 kijkt, zie je dat het lastig is om met deze resolutie de luchtkwaliteit per stad te beoordelen. Het nieuwe satellietinstrument TROPOMI gaat daar met zijn hogere resolutie verandering in brengen.



Samenstelling aardatmosfeer en menselijke invloeden

Lucht bestaat niet uit één molecuulsoort, maar is een mengsel van voornamelijk stikstof (N_2) en zuurstof (O_2). Zuurstof maakt ongeveer 21% van de atmosfeer uit en is van groot belang voor veel organismen, die het in hun cellen gebruiken voor de omzetting van energie. Stikstof, waar 78% van de atmosfeer uit bestaat, wordt tijdens de ademhaling niet opgenomen, maar weer uitgeademd. De overige 1% van de atmosfeer bestaat onder andere uit argon (Ar), waterdamp in sterk wisselende concentraties en koolstofdioxide (CO_2).

Afbeelding 4 Samenstelling van lucht



Opdracht 1.6

- Welk organel in dierlijke cellen zorgt voor de omzetting van energie, waarbij zuurstof wordt verbruikt?
- Noteer de omzettingsreactie die plaatsvindt.

De concentratie van koolstofdioxide in de atmosfeer bedraagt momenteel zo'n 400 ppm (parts per million). Dit wordt beïnvloed door uitstoot ten gevolge van de verbranding van fossiele brandstoffen zoals steenkool, olie en aardgas. Koolstofdioxide is een belangrijk broeikasgas. Dankzij broeikasgassen is het gemiddeld 15° Celsius op aarde. Zonder broeikasgassen zou het gemiddeld -18° Celsius op aarde zijn. Een verhoogde concentratie broeikasgassen zorgt voor een versterking van het broeikaseffect.

Opdracht 1.7

- a Zoek op internet op welke stof het meeste bijdraagt aan het broeikaseffect.*
- b Zouden overheden zich moeten richten op vermindering van deze stof in de atmosfeer volgens jou? Leg uit waarom wel of waarom niet.*

De mens zorgt voor uitstoot van verschillende gassen; sommige daarvan hebben schadelijke gevolgen. Gassen kunnen bijvoorbeeld bijdragen aan het broeikaseffect doordat ze verhinderen dat de aarde 's nachts afkoelt. Een voorbeeld van een broeikasgas is methaan (CH_4), dat wordt uitgestoten bij agrarische activiteiten zoals veehouderij en rijstteelt. Het gas is een veel sterker broeikasgas dan koolstofdioxide – dat wil zeggen dat het per eenheid een veel grotere invloed heeft op de opwarming van de aarde – maar de huidige concentratie in de lucht en ook de uitstoot van methaan is veel lager dan die van koolstofdioxide. Daardoor is de totale invloed van koolstofdioxide op aarde toch groter. Methaan komt ook op natuurlijke manier vrij uit moeras- en veengebieden. Dat een gas bijdraagt aan het broeikaseffect betekent niet dat het giftig of schadelijk is: methaan is niet giftig, en koolstofdioxide natuurlijk al helemaal niet.

Zwavel dioxide (SO_2) is een voorbeeld van een gas dat op een andere manier schadelijk is: het irriteert de longen en kan hoesten en oedeem veroorzaken. Zwavel dioxide komt onder andere uit de schoorsteen van veel fabrieken. De stof komt vooral vrij bij het verbranden van zwavelhoudende fossiele brandstoffen, zoals sommige soorten aardolie, bruinkool of steenkool. Het is geen belangrijk broeikasgas, maar wel een van de belangrijkste componenten van luchtvervuiling en smog.

Aan het begin van dit hoofdstuk kwam stikstofdioxide (NO_2) al voorbij. Dit gas kan schadelijk zijn voor de gezondheid (het kan oedeem veroorzaken en rode bloedcellen aantasten), en het veroorzaakt zure regen doordat het oplost in waterdruppeltjes. Zure regen heeft een negatieve invloed op plantengroei en waterleven. NO_2 is geen broeikasgas.

Stikstofdioxide vind je in grote steden met veel industrie. Het wordt (in principe tijdelijk) gevormd in de productiecycclus van salpeterzuur. Dit zuur kent veel industriële toepassingen. Salpeterzuur kan onder invloed van licht weer uiteenvallen, met NO_2 -uitstoot tot gevolg. Ook komt het gas vrij bij onvolledige verbranding van fossiele brandstoffen, bijvoorbeeld in de motor van auto's en in kolencentrales.

Hoe satellieten precies de aanwezigheid van schadelijke stoffen in de atmosfeer in kaart brengen, komt in het thema Atmosfeer in meer detail aan bod.

Opdracht 1.8

Het industriële vervaardigingsproces van salpeterzuur bestaat uit drie stappen. Als eerste wordt ammoniak geoxideerd. Bij de tweede stap wordt stikstofdioxide gevormd. Bij stap 3 ontstaat naast salpeterzuur ook stikstofoxide. Geef de drie reactievergelijkingen die uiteindelijk leiden tot de productie van salpeterzuur (HNO_3).

Opdracht 1.9

- a** Noem drie manieren waarop jijzelf direct of indirect zorgt dat stoffen zoals koolstofdioxide en stikstofdioxide in de atmosfeer terechtkomen. Noem minimaal 1 directe en 1 indirecte manier.*
- b** Hoe zou je zelf de uitstoot van schadelijke stoffen kunnen beperken? Geef een voorbeeld.*

Opdracht 1.10

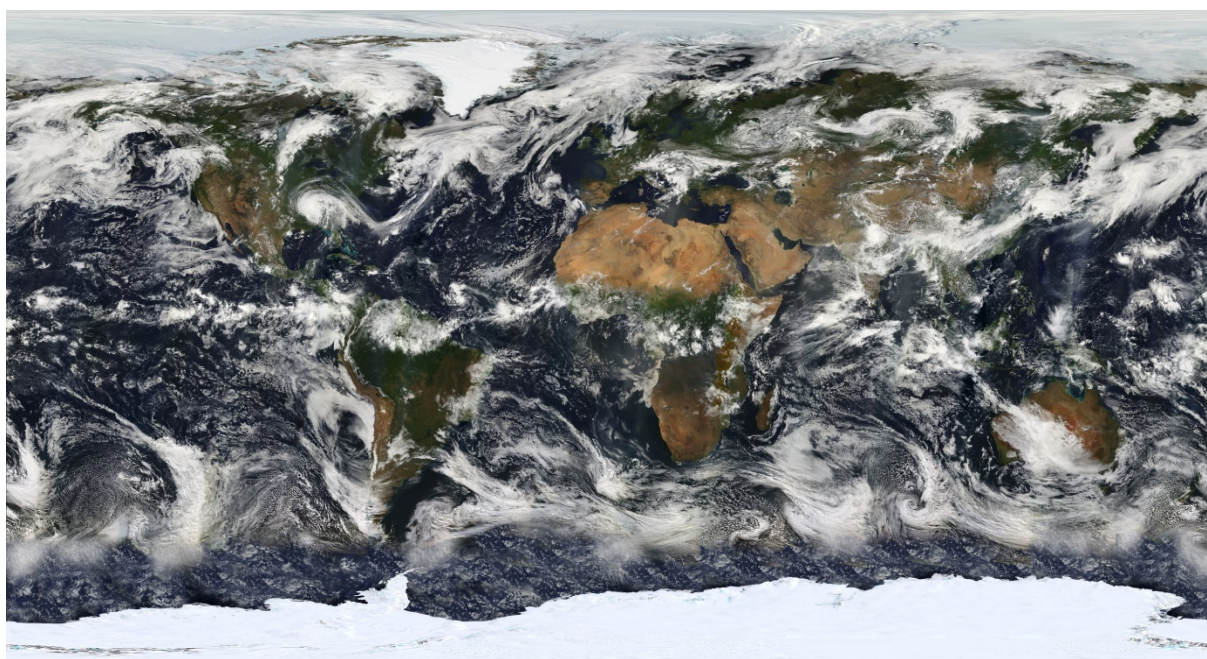
De luchtdruk en dichtheid van de atmosfeer neemt af met de hoogte boven het aardoppervlak. Als we alle lucht zouden samenpersen zodat de dichtheid overal gelijk is aan die op het aardoppervlak, krijgen we een luchtkolom van 8 km hoog.

- a** Bereken de gemiddelde atomaire massa van een luchtdeeltje.*
- b** Zoek op wat de dichtheid van lucht op het aardoppervlak is en reken dit om naar deeltjes per volume.*
- c** Schat wat de gemiddelde concentratie stikstofdioxide in Nederland is (ofwel hoeveel procent van de deeltjes) aan de hand van afbeelding 1 en je antwoord bij a.*



Een satelliet lanceren

Voordat een satelliet in een baan om de aarde komt, moet die eerst gelanceerd worden. De satelliet moet daarbij genoeg snelheid meekrijgen om niet terug te vallen, maar juist rond de aarde te blijven vallen, oftewel in een baan terecht te komen.



Afbeelding 5 Wolkendek over aarde op 11 juli 2005, gebaseerd op metingen van de Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) op de Aqua satelliet Bron: NASA

Opdracht 1.11 NATUURKUNDE

Een satelliet in een baan om de aarde volgt dezelfde vergelijkingen (natuurwetten) als de aarde doet in een baan om de zon. Dit komt doordat het verschil in massa tussen de twee objecten heel groot is.

- a** *Welke natuurwet ken je die de omlooptijd van het lichte object relateert aan de afstand tussen de objecten?*
- b** *Schrijf deze formule om zodat je de omlooptijd kan bepalen en reken dit uit voor een satelliet op 400 km hoogte. Bedenk goed waar het aangrijpingspunt van de zwaartekracht van de aarde is en welke afstand dus relevant is.*

- c Geostationaire satellieten staan op dusdanige afstand van de aarde dat ze voor een waarnemer op aarde op een vast punt aan de hemel lijken te staan. Bedenk in welk vlak ze hun rondjes draaien en reken uit op welke afstand ze staan van het aardoppervlak.*

Opdracht 1.12 NATUURKUNDE

- a Welke soort energie wordt omgezet in welke andere soort energie bij de lancering van een raket? Ga ervan uit dat de snelheid ver weg van de aarde verwaarloosbaar klein wordt.*
- b Stel de energiebalans op. Druk de snelheid uit in de andere symbolen. Je hebt nu een formule voor de ontsnappingssnelheid op het oppervlak van een willekeurige bol.*
- c Zoek de waarden voor de aarde op in BiNaS, vul ze in en druk je antwoord uit in km/s.*



Practicum:

een raket lanceren

Je gaat nu zelf aan de slag met een proefopstelling voor het lanceren van een waterraket. Deze bestaat uit een PET-fles die deels gevuld is met water, en deels met lucht. Deze fles wordt ondersteboven op een lanceerplatform geplaatst en afgesloten met een stop, kurk of O-ring. De inhoud van de fles wordt onder druk gebracht met een fietspomp. Als de druk hoog genoeg is kan de raket gelanceerd worden door de stop of kurk te verwijderen. Het onder druk gezette water spuit er nu aan de onderkant uit, wat de fles een opwaartse kracht geeft. Zo kan met een paar slagen van een fietspomp al een behoorlijke hoogte bereikt worden.

Veiligheid

Een waterraket onder druk is een gevaarlijk object. Bij een te hoge druk kan een onderdeel van de opstelling exploderen. Bij lancering wordt de fles met hoge snelheid weggeschoten, en valt uiteindelijk ook weer terug. Daarom is het belangrijk altijd voldoende afstand te houden.

Je dient de lancering zo verticaal mogelijk uit te voeren, dus houd rekening met de wind. Bedenk dus van tevoren welke kant de afwijking zal zijn en ga aan de andere kant staan. Als je niet zelf betrokken bent bij de lancering, zorg dan dat je minimaal 10 meter afstand houdt. Houd de vlucht van de raket in de gaten, zodat je kan voorkomen dat de fles op je hoofd terecht komt.

Als je een proefopstelling met tiewraps gebruikt, en jij bent degene die de ring naar beneden trekt om de raket te ontsteken, houd je hoofd dan laag. Ga nooit boven de raket hangen. Stap na lancering direct naar achteren en blijf naar de raket kijken.

Benodigheden

- PET-fles
- weegschaal
- water
- lanceerplatform
- fietspomp

Het experiment

a *Bedenk in tweetallen ten minste twee verschillende manieren om de hoogte die de raket gaat bereiken te meten.*

b *Welke manier van hoogtemeting is het nauwkeurigst denk je? Waarom?*

Om te beginnen, ga je in een aantal stappen de optimale hoeveelheid water voor de raket vaststellen.

c *Weeg een lege PET-fles op een weegschaal.*

d *Lanceer de raket nu een paar keer met verschillende hoeveelheden water (weeg dit ook), maar een constante druk. Meet steeds de hoogte.*

Bedenk dat als je een constante druk wilt bereiken, dit niet betekent dat je evenveel slagen met de fietspomp maakt. Kun je verklaren waarom?

Maak een grafiek van de hoogte als functie van de hoeveelheid water. Wat is de optimale verhouding tussen lucht en water?



e *Vul de raket nu telkens met de optimale hoeveelheid water en experimenteer met een verschillende druk. Als je geen drukmeter hebt, kun je een verschillend aantal slagen met de fietspomp als mate voor de druk gebruiken.*

Meet weer de hoogte. Maak een grafiek van de hoogte als functie van de druk.

f Stel dat we de versnelling van de fles tijdens het spuiten van het water willen berekenen als functie van de tijd. Welke twee effecten spelen hierbij een rol en zijn tegengesteld aan elkaar?

g (bonus) De vergelijking voor de opgeslagen energie in een samengeperst gas wordt gegeven door $E = P_B V_B \ln(P_B/P_A)$ met P de druk en V het volume van de omgeving (A) en het gas (B). Reken hiermee in het geval van een van je experimenten uit hoe hoog de raket zou komen en vergelijk met je resultaten. Waarom is de formule hier niet geldig?

2 Atmosfeer

Leerdoelen

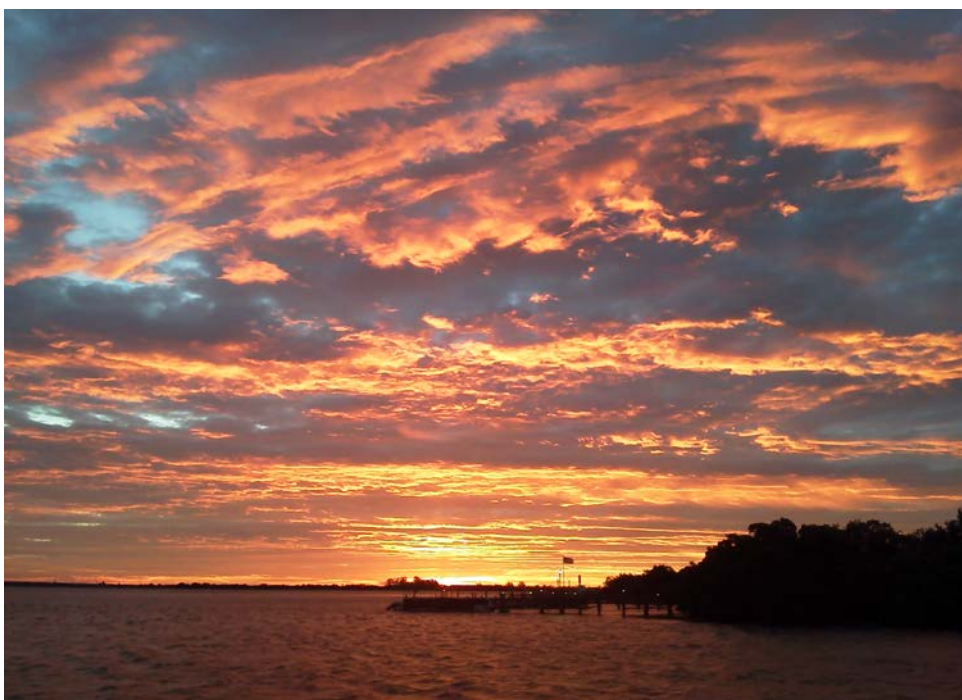
Na thema 2 Atmosfeer:

- ken je de verschillende lagen van de atmosfeer en de stoffen daarin
- kun je uitleggen wat het ozongat is en hoe de grootte ervan varieert
- ken je de relatie tussen zonkracht en de atmosfeer en geografische ligging van plaatsen op aarde
- heb je kennis genomen van een innovatieve Nederlandse technologie om satellietmetingen beter te kunnen uitvoeren (verzonken tralie)
- kun je toelichten op welke manier spectraalanalyse een methode is om metingen aan de atmosfeer te verrichten
- heb je afbeeldingen of andersoortige informatie op basis van satellietgegevens geïnterpreteerd
- heb je kennisgemaakt met meetinstrumenten op satellieten die actief waren, nu actief zijn of dat in de toekomst zullen zijn



Een stralend blauwe hemel

Als je 's ochtends wakker wordt en je gordijnen opendoet zie je meteen de lucht. Soms is de lucht fel blauw en helder, andere dagen heeft de lucht een melkwitte of grijze kleur. Deze kleuren kun je waarnemen doordat licht uit de zon je oog bereikt. Dit licht wordt uitgezonden door de zon, beweegt door de aardatmosfeer heen, gaat daar een interactie aan met de verschillende gassen (zoals zuurstof en stikstof), vaste deeltjes (stof, roet, as, etc.), waterdruppels, ijskristallen en meer, en bereikt uiteindelijk jouw ogen. Licht heeft een golflengte, die we als kleur zien. Welke interacties gaat het licht onderweg aan en hoe verhouden deze interacties zich tot het klimaat en het weer dat je ziet? En: wat heeft dit met satellieten te maken?



Afbeelding 9 Zonsopkomst boven Florida Bron: Wikipedia

Allereerst is het goed om te weten wat het verschil is tussen 'het klimaat' en 'het weer'. Als we over het weer praten, dan gaat het over de toestand van de atmosfeer op een bepaalde plaats of in een bepaalde regio én op een bepaald moment. Het woord klimaat heeft betrekking op de gemiddelde weerstoestand én de extremen in een bepaald gebied over een periode van ten minste dertig jaar. Zowel het weer als het klimaat spelen zich af in de atmosfeer. De atmosfeer kan opgedeeld worden in vijf verschillende lagen met ieder hun eigen molecuulverdeling, dichtheid en temperatuur: de troposfeer, de stratosfeer, de mesosfeer, de thermosfeer en de exosfeer.



Temperatuur en dichtheid in de verschillende lagen

In afbeelding 11 is te zien dat de temperatuur van de atmosfeer nogal varieert op verschillende hoogtes. De overgangen tussen de lagen in de atmosfeer worden bepaald door de hoogtes waarop temperatuur stopt met stijgen en gaat dalen of andersom.

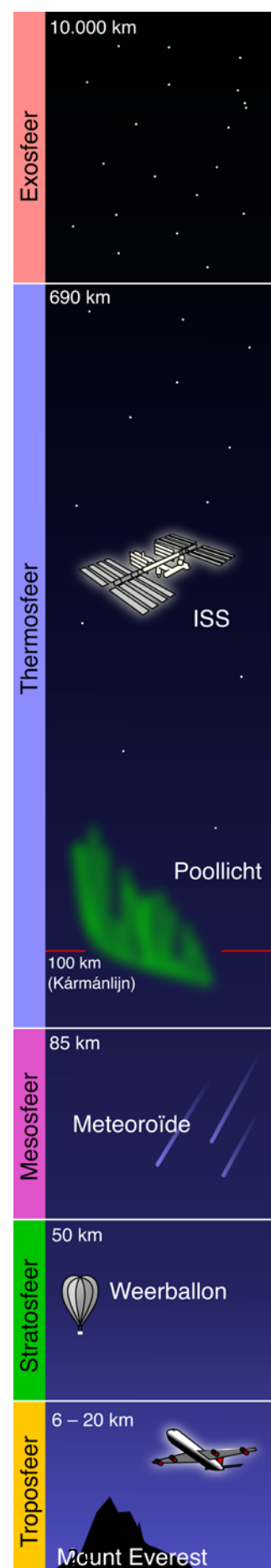
Als je van het aardoppervlak door de troposfeer opstijgt, wordt het snel kouder. Dit merk je in de bergen; vaak zijn alleen de toppen besneeuwd.

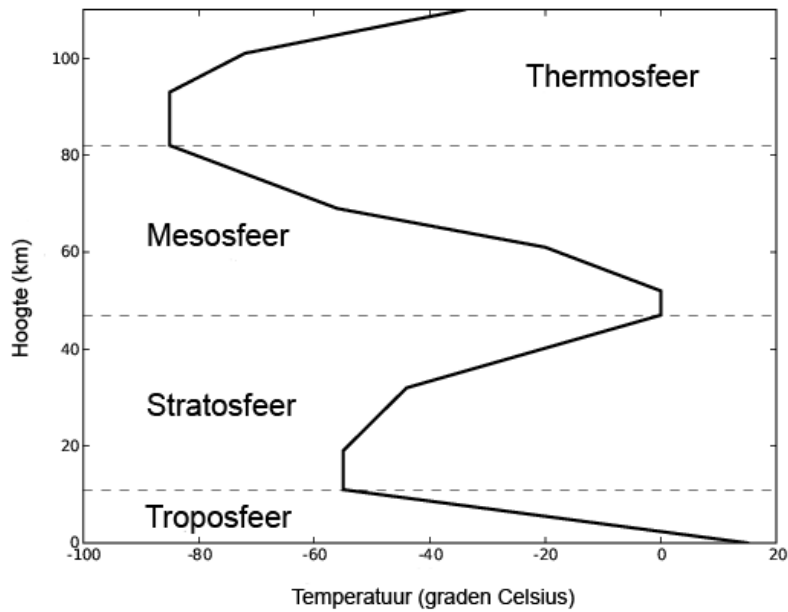
Per kilometer stijging wordt het ongeveer 6 °C kouder. Dit komt doordat het licht van de zon voornamelijk geabsorbeerd wordt door het oppervlak van de aarde en de onderste laag van de atmosfeer, wat voor opwarming daar zorgt. De aarde zelf warmt de atmosfeer vervolgens verder op, en door menging ontstaat het bovenstaand temperatuurverloop.

Ga je nog verder omhoog, dan zal op een gegeven moment de temperatuur weer gaan stijgen: je zit dan in de stratosfeer. De overgang tussen de troposfeer en de stratosfeer heet de tropopauze. De hoogte waarop deze tropopauze zich bevindt is afhankelijk van waar je op aarde bevindt.

In de stratosfeer stijgt de temperatuur doordat hier veel ozon (O_3) aanwezig is die schadelijke UV-straling tegenhoudt. De invang van dit licht zorgt ervoor dat het ozonmolecuul sneller gaat trillen en dat veroorzaakt de temperatuurverhoging. In de mesosfeer koelt het weer af, om dezelfde reden als in de troposfeer. In de thermosfeer zien we een nieuwe sterke stijging, het wordt zelfs nog warmer dan op het aardoppervlak! Niet dat je er veel van zou merken; het gas is zo ijl op deze hoogte, dat je lichaam er nauwelijks van zal opwarmen. Hier wordt UV-straling ingevangen door zuurstof (O_2), waardoor het zuurstofmolecuul kapot geslagen wordt en de temperatuur stijgt. Later botsen de losse zuurstofatomen en vormen zo weer moleculair zuurstof.

Afbeelding 10 De verschillende lagen van onze atmosfeer Bron: Wikipedia





Afbeelding 11 Temperatuurverschillen in de lagen van de atmosfeer Bron: Wikipedia

Opdracht 2.1

In 2012 maakte basejumper Felix Baumgartner een sprong vanaf enorme hoogte.

Zoek op internet naar informatie over zijn sprong.

- a** *Vanaf welke hoogte sprong hij? Welke laag van de atmosfeer is dat?*
- b** *Welke omstandigheden moest zijn ruimtepak gedurende de val kunnen doorstaan? Noem er drie.*



Aerosolen en fijnstof

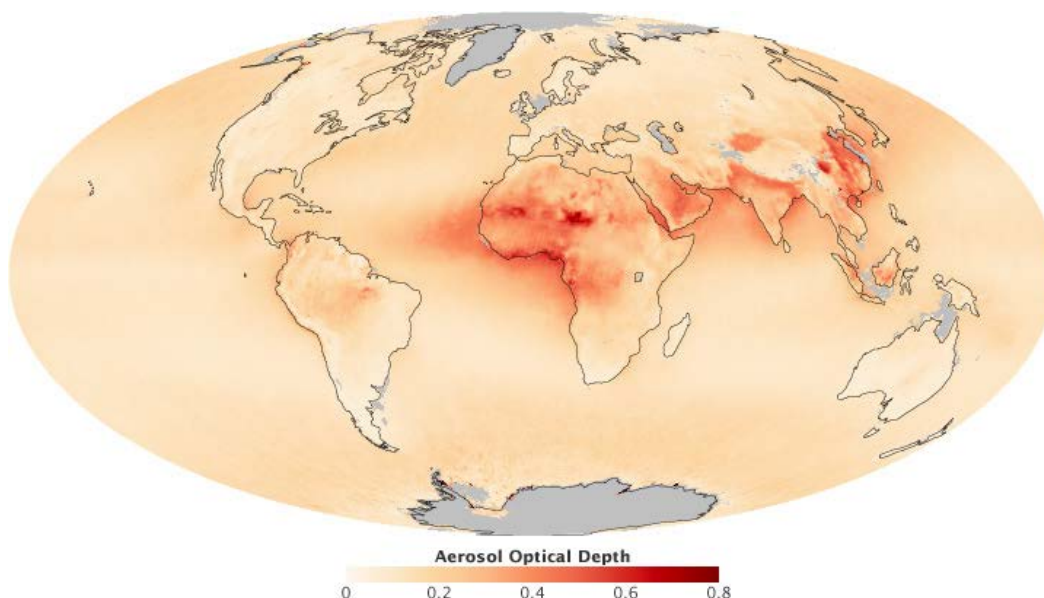
In de introductie werden al enkele stoffen besproken die zich in de lucht bevinden, zoals stikstofdioxide en zwaveldioxide. In de troposfeer zweven echter ook deeltjes die groter zijn dan dergelijke gasmoleculen: zogenaamde aerosolen. Aerosolen zijn kleine stof- of vloeistofdeeltjes die in de lucht zweven. Deze deeltjes worden ook wel fijnstof genoemd. Fijnstof wordt meestal gedefinieerd als deeltjes met een diameter van 10 micrometer of kleiner.

Veel fijnstof is van natuurlijke afkomst: bijvoorbeeld woestijnzand en zeezout.

Maar fijnstof ontstaat ook door activiteiten van de mens, zoals verkeer en industrie. Bij verbrandingsprocessen in auto's en elektriciteitscentrales komen er kleine stofdeeltjes vrij. Die kunnen uit veel verschillende elementen bestaan: ammoniumnitraat, ammoniumsulfaat, organische verbindingen (koolstof), metalen, zouten of metaaloxides.

Bij inademing kan fijnstof in de longen terechtkomen. De kleinere deeltjes kunnen doordringen tot in de longblaasjes, waar uitwisseling met het bloed plaatsvindt. Ook aan de bloedcellen blijven de deeltjes vervolgens makkelijk plakken. Welke invloed dit heeft op het interne weefsel wordt nog volop onderzocht.

De rol die aerosolen in de atmosfeer spelen is complex. Ze hebben invloed op de reflectie en absorptie van zonnestraling én op de vorming van wolken. Welke rol ze precies spelen bij klimaatverandering is nog onduidelijk. Door gebruik te maken van satellietwaarnemingen kunnen we hier meer over te weten komen.



Afbeelding 12 Wereldwijde aerosol optische dikte, gemiddeld over de periode 2000-2010. Hoe hoger de optische dikte, hoe meer aerosolen er aanwezig zijn Bron: NASA



Aerosolen meten

Meetinstrumenten, bijv. aan boord van satellieten, kunnen de aanwezigheid van aerosolen bepalen door te kijken naar de verstrooiing en absorptie van zonlicht. Alle deeltjes in de atmosfeer hebben een kans zonlicht te verstrooien. Daarbij wordt licht van kortere golflengtes meer verstrooid dan licht met langere golflengtes. Hoe groter het deeltje in de atmosfeer, hoe groter de kans dat het licht verstrooit.

Deeltjes kunnen ook licht van bepaalde golflengten absorberen. Welke golflengtes dat zijn is afhankelijk van de stof waarvan het deeltje is gemaakt.

Een satellietinstrument meet het zonlicht dat door de aardatmosfeer gegaan is, licht dus dat verstrooid is of waarvan bij bepaalde golflengten een deel geabsorbeerd is. Door die meting te vergelijken met het licht dat rechtstreeks van de zon afkomt, kun je zien hoe het licht verstrooid is en welke kleuren er geabsorbeerd zijn. Met deze informatie kun je de hoeveelheid en de soort aerosolen die aanwezig zijn in de atmosfeer meten.

Opdracht 2.2

Bekijk dit NTR-filmpje, waarin Prof. Pieter Levelt van het KNMI vertelt over haar onderzoek. <http://www.ruimtevaartindeklas.nl/lespakketten/hoe-meet-je-luchtvervuiling/beelden/6121>.

Leg in maximaal 100 woorden uit wat een absorptiespectrum is en welke rol absorptiespectra spelen in onderzoek naar luchtvervuiling.

Opdracht 2.3

- a** Zoek op hoe het fijnstof daggemiddelde voor jouw regio is voor vandaag. Kijk daarvoor op <http://www.lml.rivm.nl/verwachting/fijnstof.php>. Zoek op postcode/plaats.
- b** Leg in 50-100 woorden uit hoe het fijnstof wordt gemeten.
- c** Stel dat je satellietmetingen zou willen gebruiken om voor een relatief klein gebied continu met hoge resolutie fijnstoffluctuaties in de gaten te houden. Beargumenteer wat de beste keus is voor baan en hoogte van de satelliet.
- d** Waar komt het merendeel van het fijnstof in Nederland vandaan?

- e Wat voor soort aerosolen zweven er denk je boven Noord- en Midden-Afrika rond? En boven China?

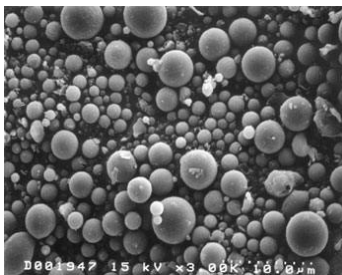
Opdracht 2.4

De komende tijd ga je een aerosolmeting uitvoeren op verschillende plekken in je omgeving.

Benodigdheden: witte kaartjes, vaseline, wattenstaafjes of roerstaafjes, plakband, microscoop.

Werkwijze:

- 1 Voordat je begint, kies je drie locaties waar je de metingen wilt uitvoeren. Beargumenteer je locatiekeuze. Schrijf op welke uitkomst je verwacht te vinden.
- 2 Smeer vaseline op drie witte kaarten met behulp van een wattenstaafje of roerstaafje en bevestig de kaarten met tape op verschillende plaatsen (zowel binnen als buiten, denk bijvoorbeeld ook aan een rookhok).
- 3 Houd dagelijks bij welk weer het is geweest (alleen voor kaarten die buiten hebben gehangen) en of er andere bijzonderheden hebben plaatsgevonden in de buurt van de kaarten, zoals schoonmaken of hout zagen.
- 4 Verwijder de kaarten na een aantal dagen. Als je de kaarten niet meteen gaat onderzoeken, pak ze dan stofvrij in en zorg ervoor dat de vaselinelaag intact blijft.
- 5 Onderzoek de kaarten met een microscoop en voer een telling van de hoeveelheid deeltjes uit.
- 6 Noteer je bevindingen en geef aan of je verwachtingen zijn uitgekomen, en waarom wel of niet.



Afbeelding 13 Asdeeltjes 2000x vergroot, bekeken met een rasterelektronenmicroscoop

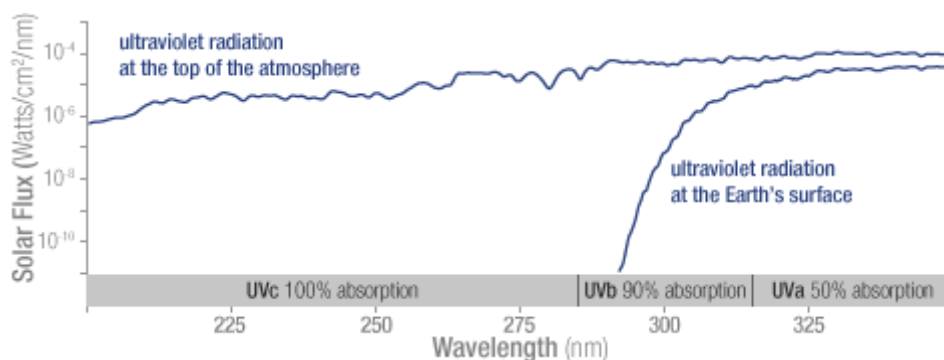
Bron: Wikipedia



UV-straling en de ozonlaag

De meeste ozon bevindt zich in de stratosfeer, in de zogenaamde ozonlaag. Daar worden de meest schadelijke delen van de UV-straling van de zon geabsorbeerd. De ozonlaag beschermt zodoende het leven op aarde tegen deze schadelijke straling. UV-straling kan het DNA in de cellen van organismen namelijk beschadigen, wat kan leiden tot (huid)kanker. Het verdwijnen van de ozonlaag zou dan ook een ernstige bedreiging voor het leven op aarde betekenen. Vóór het ontstaan van leven op aarde was er nog geen zuurstof en ozon in de atmosfeer, en bereikte veel UV-straling de aarde. Dit is een van de redenen waarom gedacht wordt dat het eerste leven onder water is begonnen, aangezien water een deel van de UV-straling tegenhoudt.

De logaritmische schaal in afbeelding 14 betekent dat elk streepje op de verticale as niet een vaste hoeveelheid straling voorstelt, maar een bepaalde factor. In dit geval stelt elk streepje 10 keer zoveel straling voor. Dit is uitgedrukt in Watt per cm^2 per nanometer. Als je de oppervlakte zou nemen onder de hele grafiek, zou je dus de flux krijgen: het totale vermogen aan straling door een oppervlak.



Afbeelding 14 Het UV-deel van het spectrum en de rol van ozon Bron: NASA

Opdracht 2.5

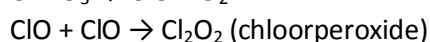
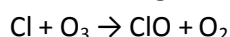
Leg uit hoe je uit afbeelding 14 kunt aflezen welke golflengten in welke mate geabsorbeerd worden door de atmosfeer.

Zou je kunnen zeggen dat een groot deel van de gevaarlijker soorten UV-straling de aarde niet bereikt? Zoek zo nodig op wat UVa, UVb en UVc betekenen.



CFK's en het gat in de ozonlaag

In de jaren '80 van de vorige eeuw ontdekten wetenschappers dat de ozonlaag snel aan het verdwijnen was door de menselijke inbreng van CFK's in de atmosfeer. Deze moleculen werden industrieel geproduceerd voor gebruik in koelsystemen. Ze bestaan uit verbindingen met chloor en fluor, zoals CCl_2F_2 . Het chloor in deze verbindingen kan onder invloed van zonlicht worden losgemaakt. Het gaat dan gemakkelijk een reactie met ozon aan en zet deze om in zuurstof. Dat gaat via de volgende reacties:



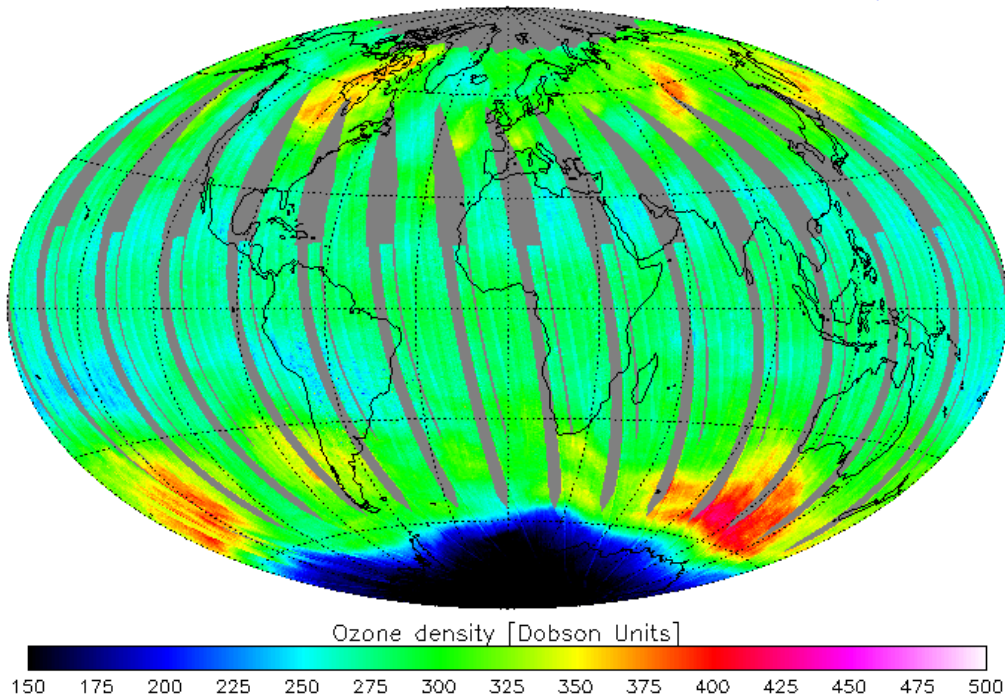
Het chloor kan vervolgens opnieuw worden losgemaakt uit de chloorperoxide onder invloed van UV-straling en kan dan weer opnieuw zuurstof maken. Netto is ozon dus in zuurstof omgezet zonder dat het chloor verdwenen is! Omdat het heel lastig is het chloor een andere reactie te laten aangaan en het op die manier uit de atmosfeer te laten verdwijnen kan één CFK molecuul heel veel ozon omzetten. Chloor werkt hier dus als katalysator in het omzettingsproces. Hoewel ozon overal ter wereld wordt afgebroken door de inbreng van CFK's, is één plek op aarde in het bijzonder de dupe: de Zuidpool. We spreken daar over een zogenaamd 'gat' in de ozonlaag. Elke Antarctische lente (vanaf september) ontstaat een gat dat in oktober het grootst is. Daarna wordt het warmer op het continent en verdwijnt het gat langzaam weer.

We weten dit allemaal door satellietmetingen. Het Nederlandse meetinstrument OMI verricht zulke metingen. In afbeelding 15 zie je de metingen van een dag in 2015.

Opdracht 2.6

Bekijk afbeelding 15.

- a** In wat voor soort baan beweegt de Aura-satelliet met meetinstrument OMI aan boord, die de ozonmetingen verricht?
- b** Waaruit kun je dat afleiden?
- c** Waarom zijn er grijze streken, stukken waarvan geen data zijn?
- d** Waardoor is het vlak boven de Noordpool grijs?
- e** Ga naar <http://www.temis.nl/protocols/O3global.html> en bekijk in verschillende seizoenen en verschillende jaren hoe het ozongat zich heeft ontwikkeld. In welke van de beschikbare jaren was het gat het grootst?



Afbeelding 15 Kleurgecodeerd is de hoeveelheid ozon op aarde te zien op 15 oktober 2015, de maand waarin het gat boven de Zuidpool op zijn grootst is Bron: KNMI

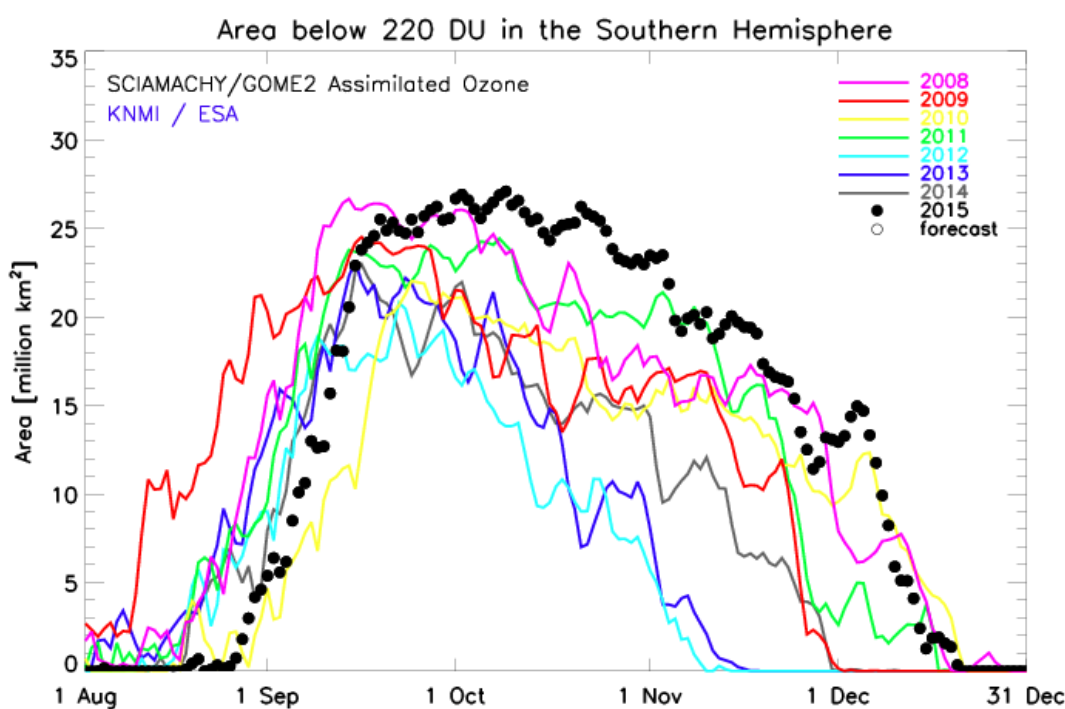
Er is beduidend minder ozon aanwezig in het ozongat dan op andere plekken op aarde. Dit komt doordat de Zuidpool de enige plek op aarde is waar temperaturen zo laag worden dat de stratosfeer -80°C bereikt. Daardoor ontstaat er in de wintermaanden een goed geïsoleerde atmosfeer. Deze atmosfeer mengt in dit seizoen bijna niet met die in de rest van de wereld, omdat er dan een zeer stabiele straalstroom om het continent loopt: de wind waait in een cirkel terwijl het daarbinnen bijna windstil is. Hierdoor en door het gebrek aan zonlicht ontstaan stratosferische wolken waar het chloor in verbindingen vast komt te zitten. Als in september de zon doorkomt, smelten de ijskristallen in de wolken. Onder invloed van de UV-straling komt al het chloor vrij, klaar om ozon af te breken. Als de temperatuur in de stratosfeer gestegen is tot -70°C (meestal is dat rond begin oktober), dan stopt het vrijkomen van chloor uit de verbindingen en daarmee ook de ozonafbraak in het ozongat. Als daarna de zomer nadert en het warmer wordt, verdwijnt de straalstroom. Er kan weer verse lucht worden aangevoerd met daarin ook ozon; het gat verdwijnt.

De Noordpool heeft niet zo'n langdurig stabiele straalstroom en het wordt daar meestal ook lang niet zo koud. Om die reden vinden we daar geen ozongat. Wel zijn er soms heel lage ozonwaarden, maar dan op kleine schaal en voor korte tijd.



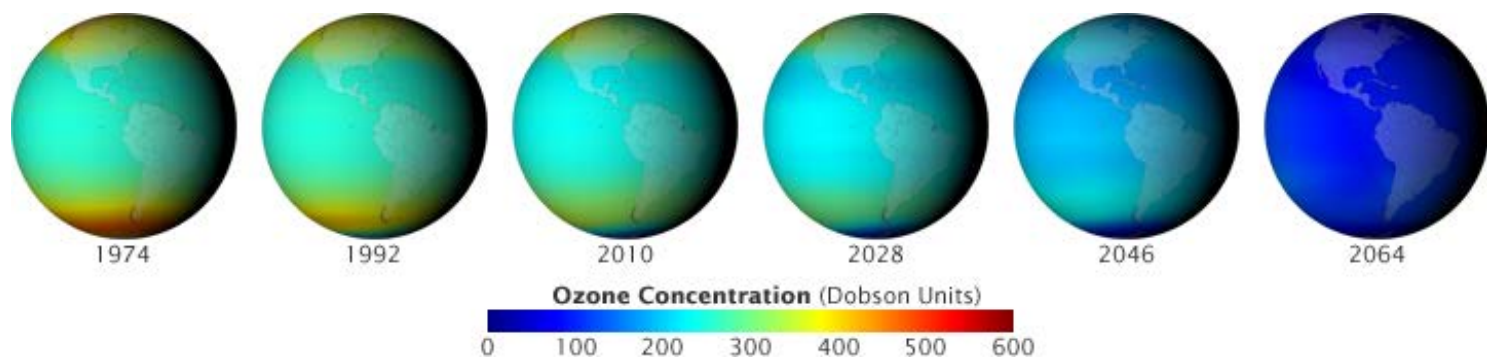
In kaart brengen van het gat

Als we vanuit de ruimte een vierkant ten grote van 1 vierkante meter naar de aarde zouden laten vallen, gaat er een bepaalde hoeveelheid lucht door het vierkant. Dit noemen we een luchtkolom. De hoeveelheid ozon in een verticale luchtkolom van de atmosfeer wordt gemeten door satellieten zoals OMI en TROPOMI en drukken we uit in Dobson eenheden. Dit is als volgt gedefinieerd: één Dobson eenheid ozon komt overeen met een kolom ozongas van 10 μm bij een druk van 1 atmosfeer bij 0°C. Een typische waarde voor ozon in de atmosfeer is enkele honderden Dobson eenheden. Als hoeveelheid ozon in een luchtkolom onder de 220 Dobson eenheden komt, spreken we van een gat. De grootte van het gat boven de Zuidpool bepalen we door de oppervlakte te meten waar die waarde lager is. In afbeelding 16 is te zien dat er flink wat variatie van jaar tot jaar is.



Afbeelding 16 Grootte van het ozongat in miljoenen km^2 . Er is geen forecast zichtbaar, aangezien de afbeelding na 31 december 2015 gemaakt is Bron: KNMI

Nu we bijna geen CFK's meer uitstoten verwachten we voor de toekomst een langzaam herstel van het ozongat. Als er geen afspraken over waren gemaakt in het internationale verdrag dat het Montrealprotocol wordt genoemd (1987), zou de ozonkaart er mogelijk zo uitzien als in afbeelding 17.



Afbeelding 17 Scenario waarin de uitstoot van CFK's jaarlijks met 3% zou toenemen t.o.v. 1974, zoals gebeurde voor de invoering van het Montreal protocol Bron: NASA

Opdracht 2.7 NATUURKUNDE

Reken met behulp van de ideale gaswet uit hoeveel ozonmoleculen er in een luchtkolom van 1 m^2 zijn behorende bij een waarde van 220 Dobson eenheden.

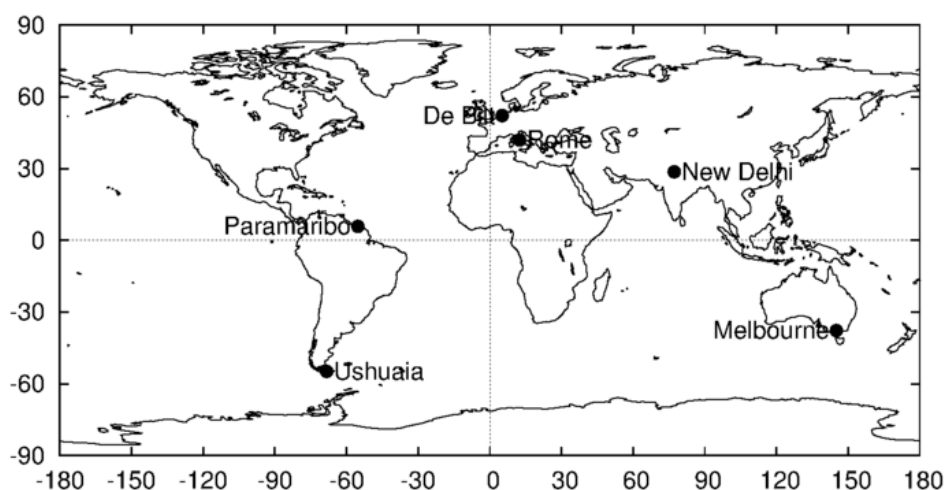


UV-index

Als we een kaart hebben van de aarde met ozonwaardes, kunnen we die gebruiken om de UV-index op een willekeurig punt op aarde te voorspellen. De UV-index (ook wel zonkracht genoemd) is een maat voor de intensiteit van UV-straling die betrokken is bij het bruin worden en/of verbranden van de huid (zonnebrand). De UV-index wordt bepaald door de dikte van de laag atmosfeer waar de zon doorheen schijnt uit te rekenen zodat we weten hoeveel ozon een zonnestraal tegenkomt. Het is een lineaire schaal. Dat wil zeggen dat als je normaal gesproken 30 minuten tegen de zon kan bij een UV-index van 5, je bij een UV-index van 10 nog maar een kwartier in de zon kan voordat je verbrandt. Uiteraard hangt dit ook van je huidtype af, en van welk stukje huid wordt blootgesteld. Een UV-index boven de 6 wordt als hoog bestempeld. In Nederland is de maximale waarde in de zomer 8, dat is in 2015 twee dagen het geval geweest. Het wereldrecord voor UV-index staat op 43,3, in 2003 gemeten bij een vulkaan in Bolivia. Dat is vergelijkbaar met Mars, waar bijna geen atmosfeer is om UV-straling tegen te houden.

Opdracht 2.8

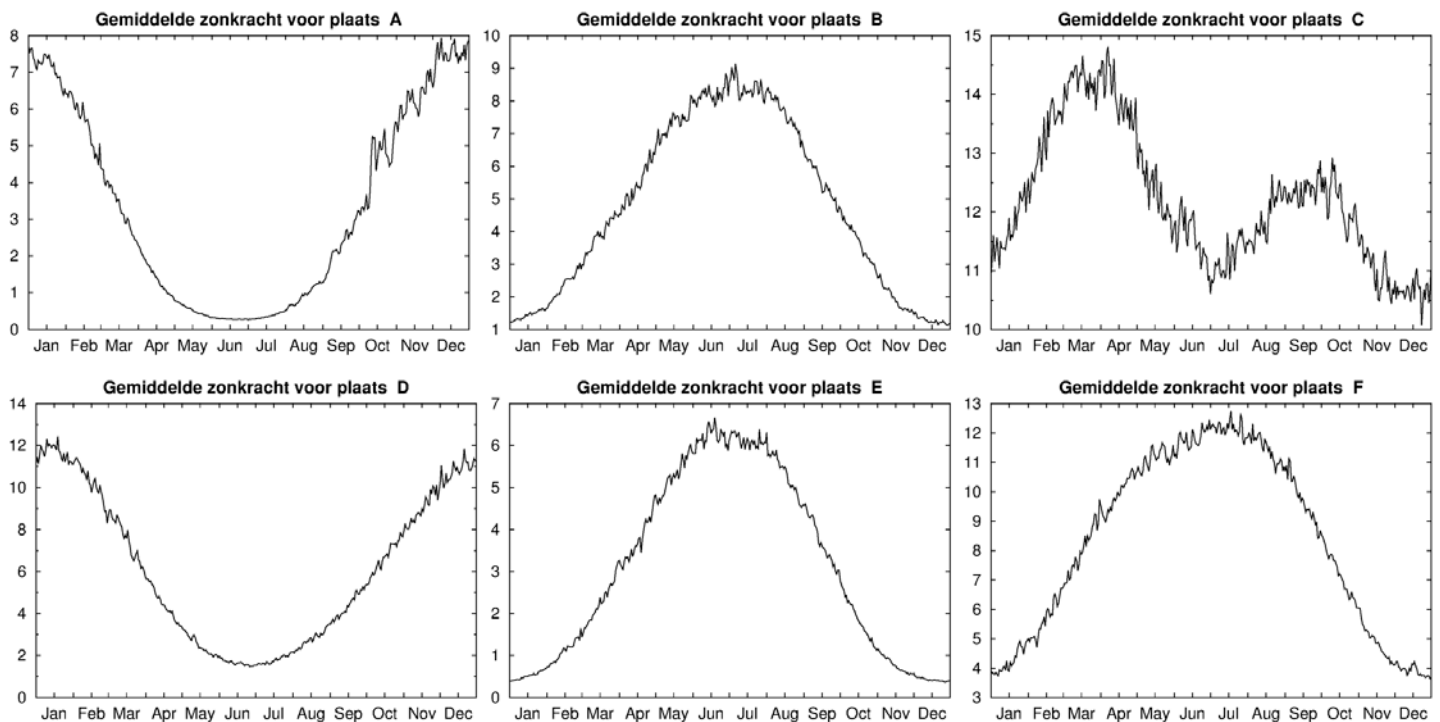
- a** Zoek op wat de zonkrachtverwachting is voor de komende dagen op de website van het KNMI.
- b** Noem twee factoren die van invloed zijn op de zonkracht.



Afbeelding 18 Kaart van de aarde met zes wereldsteden Bron: KNMI

Opdracht 2.9

- a** Waar op aarde verwacht je een hoge UV-index en waar een lage? Leg je antwoord uit.
- b** In afbeelding 18 staan de locaties van zes steden aangegeven en in afbeelding 19 hun bijbehorende jaarlijkse zonkracht. Er staat alleen niet aangegeven welke grafiek bij welke plaats hoort. Verbind zelf de juiste plaatsen met de grafieken A t/m F.



Afbeelding 19 Zonkracht op de zes plaatsen van afbeelding 18 gedurende het jaar Bron: KNMI

Opdracht 2.10

- a** Ga naar <http://www.temis.nl/nlt-module/sciamachy-meting.html> en lees de tekst aandachtig door.
- b** Op <http://temis.nl/nlt-module/uv-reeksen.html> vind je data vinden over de UV-index en UV-dosis in Nederland en in enkele andere plaatsen voor de periode jan 2006 -dec 2015. Klik op de rastercel van jouw woonplaats om een zip-bestand te downloaden.

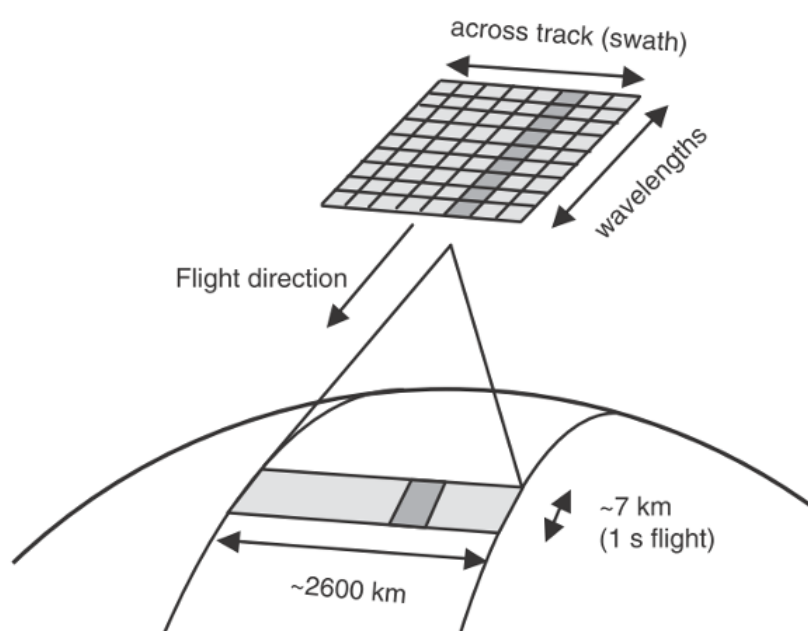
Dit zip-bestand bevat twee databestanden in het CSV-format: eentje met dagelijkse UV-waarden en eentje met maandgemiddelde UV-waarden; de laatste heeft "mnd" in de naam van het bestand staan.

- c** Open het CSV bestand van de dagelijkse waarden in Excel en bekijk de header (ongeveer de eerste 20 regels). Daarin wordt uitgelegd wat er in het bestand staat. Dit wordt ook uitgelegd op de genoemde webpagina*
- d** Maak een grafiek van de ozondikte met behulp van de tijdsreeks. Maak in dezelfde plot ook een grafiek van UVIE, de UV-index. Verklaar waarom veel ozon niet per se een lage UV-index tot gevolg heeft.*
- e** Plot nu ook de wolkenfractie in deze periode en vergelijk de UVDEW met UVDEF. Is het verschil goed te verklaren met behulp van de wolkenfractie?*
- f** Gebruik nu de data voor Ushuaia. Deze plaats is interessant, omdat het ozongat boven Antarctica soms tot hier reikt. Kijk zelf waar je een verhoging kunt zien van de UV-index gedurende de hele tijdsreeks en of dit overeenkomt met het seizoen van het ozongat. Zoek verder op www.temis.nl of je plaatjes of grafieken ziet waaruit blijkt dat het ozongat toen boven Ushuaia lag.*



Meten aan de troposfeer

De Europese ruimtevaartorganisatie ESA heeft de afgelopen jaren een aantal satellieten gelanceerd met als doel aardobservaties te doen. Een van deze satellieten is de zogenaamde Sentinel-5 Precursor satelliet. TROPOMI is een spectrometer aan boord van deze satelliet, die op 824 km hoogte vliegt. Het instrument onderzoekt de troposfeer door het gereflecteerde licht van de zon te meten dat door de atmosfeer beweegt. De spectrometer kan in een groot golflengtebereik meten, van UV tot infrarood. Hierdoor is het mogelijk de concentraties van verschillende moleculen te meten. TROPOMI kijkt naast stikstofdioxide (NO_2) ook naar zwaveldioxide (SO_2), methaan (CH_4), koolstofmonoxide (CO), formaldehyde (CH_2O), ozon (O_3) en aerosolen. De spectrometer weegt maar liefst 200 kg en verbruikt 170 W aan elektriciteit, die opgewekt wordt door zonne-energie. Elke seconde bekijkt TROPOMI een strip van 7 bij 2600 km, met een resolutie van 7 bij 7 km. 7 km is ook ongeveer de afstand die de satelliet in een seconde vliegt boven het aardoppervlak. Dit is schematisch weergegeven in afbeelding 20.



Afbeelding 20 Het beeldveld van TROPOMI Bron: www.tropomi.nl

Opdracht 2.11

Bekijk dit filmpje (van een andere satelliet) om een indruk te krijgen van een waarnemingsproces:

http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/03/Monitoring_changing_land_with_Sentinel-1.

- a** Aangenomen dat TROPOMI elke seconde een ander deel van de aarde kan bekijken, en dat er geen overlap is tussen de banen, hoe lang duurt het dan voordat heel de aarde in kaart is gebracht?
- b** TROPOMI bevindt zich op 824 km hoogte. Wat is de kijkhoek van TROPOMI als er 2600 km breed wordt gekeken? Je hoeft de kromming van de aarde niet mee te nemen.

Opdracht 2.12

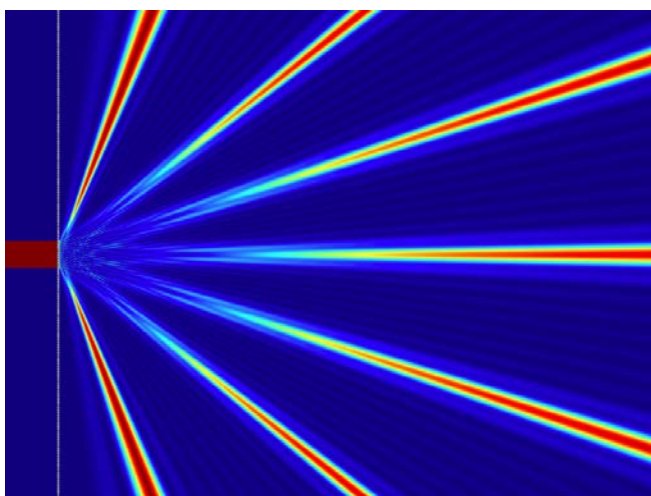
- a** TROPOMI beschrijft aan boord van de Sentinel-5 precursor een polaire baan over de aarde. Omdat de aarde om haar as draait, ziet TROPOMI de hele aarde. Daarbij wordt data verzameld, en naar de aarde verstuurd. Wat is denk je een handige plek om een ontvangende satellietschotel te plaatsen om de data op te vangen? Licht je antwoord toe.
- b** In totaal bestaat TROPOMI uit vier detectoren met elk 250.000 pixels, die iedere seconde worden uitgelezen. Om één pixel op te slaan gebruikt het instrument 2 byte. Hoeveel data genereert de spectrometer elke dag?
- c** De omlooptijd van TROPOMI is 1 uur en 41 minuten. Hoe groot moet de harde schijf van TROPOMI minstens zijn als maar eens per omloop informatie gedownload kan worden?



De tralie als spectrometer

We gaan nu in detail kijken hoe TROPOMI in staat is kleuren te scheiden en wat het tot zo'n goede spectrometer maakt. Een normale spectrometer werkt met behulp van een tralie. Een tralie bestaat uit een heleboel lijnen naast elkaar, waar licht afgewisseld wel en niet doorheen kan schijnen. Je kunt een tralie dus ook zien als een reeks spleten. Als de breedte van die spleten kleiner is dan de golflengte van het licht dat er doorheen gaat, kan elke spleet als een aparte lichtbron worden beschouwd. Het licht dat op een object valt dat zich achter deze tralie bevindt, is dus het product van heel veel lichtbronnen samen. Deze vormen een interferentiepatroon doordat de padlengte tot elk van de afzonderlijke spleten verschillend is. Daardoor kunnen de golven van een bepaalde kleur elkaar versterken of elkaar juist uitdoven, net als bij watergolven. Rode lichtgolven versterken elkaar op een andere plek dan blauwe golven, omdat het verschil in padlengte tot de spleten bij een andere hoek precies een hele golflengte is. Om een golf te versterken is een hele golflengte verschil in padlengte nodig, om het te laten uitdoven heb je een halve golflengte verschil nodig. Dit is voor monochromatisch licht zichtbaar gemaakt in afbeelding 21. Een voorbeeld van een tralie is een DVD. Hier zie je verschillende kleuren doordat de groeven in de schijf als tralie werken. Net als bij veel andere tralies wordt het licht gereflecteerd in plaats van doorgelaten.

Als je een camera achter een tralie plaatst met verschillende pixels onder verschillende hoeken, kun je de intensiteit van het licht meten. Aangezien je kunt uitrekenen welke kleur licht je ziet aan de hand van de padlengtes, heb je alle informatie die je nodig hebt om het spectrum te tekenen: Een grafiek die lichtintensiteit uitzet tegen de golflengte van het licht.



Afbeelding 21 Intensiteit achter een tralie van monochromatisch (één kleur) licht

Je kunt uitrekenen onder welke hoek de maxima van intensiteit zich bevinden met behulp van de tralieformule: $d \sin(\theta_m) = m \lambda$
Hierin is d de afstand tussen twee naast elkaar liggende spleten, λ de golflengte van het licht en θ_m de hoek tussen de centrale lichtbundel en de volgende maxima. Voor elk geheel getal m is een maximum te vinden.

Opdracht 2.13 NATUURKUNDE

- a** *Neem een tralie met $d=1500 \text{ nm}$. Hoeveel maxima zijn er te vinden voor rood licht met golflengte 700 nm ?*
- b** *Hoeveel maxima zijn er te vinden voor blauw licht van 450 nm ?*
- c** *Waarom is niet elke gehele waarde van m geldig?*



Verzonken tralie

In de ruimtevaart kost elke kilogram massa energie om in een baan om de aarde te brengen. Elke extra kilogram is ook heel duur om mee te nemen. Daarom moeten instrumenten zo klein en licht mogelijk gehouden worden. Als er een manier is om kleuren extra te kunnen scheiden, kan de spectrometer kleiner blijven. Die methode is er en wordt gebruikt in TROPOMI: het verzonken tralie.

Opdracht 2.14

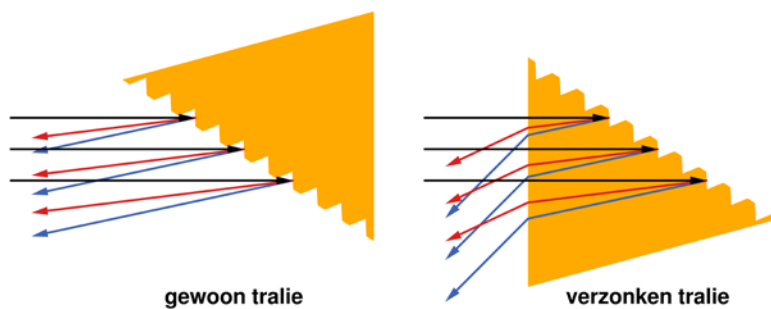
Bekijk dit NTR-filmpje over het verzonken tralie:

<http://www.ruimtevaartindeklas.nl/lespakketten/de-verzonken-tralie/beelden/6141>

Waarom gebruikt TROPOMI het verzonken tralie van silicium alleen voor infrarood licht, en niet voor zichtbaar licht?

Het oppervlak van het verzonken tralie bestaat uit kleine V-groeven, geëtst in een silicium oppervlak. Bij een gewone reflectietralie splitst het groevenpatroon aan de buitenkant de kleuren van de invallende lichtbundel. Dit wordt duidelijk gemaakt in afbeelding 22. Bij het verzonken tralie valt de lichtbundel het silicium binnen, waarna het groevenpatroon aan de binnenkant de kleuren van de invallende lichtbundel splitst. Als het licht het verzonken tralie verlaat beweegt het niet door het vacuüm, zoals bij een gewone tralie, maar in een blok silicium. Silicium heeft een hele hoge brekingsindex van 3,4. Dat betekent dat als het licht het silicium verlaat, het nog 3,4 keer meer gebroken wordt. Daardoor is de spectrometer 3,4 keer kleiner in alle drie dimensies. Dit scheelt dus een factor 40 in volume en massa! Als het licht het silicium vervolgens uit gaat wordt het extra gebroken op de overgang van silicium naar vacuüm door het verschil in brekingsindex. Hierdoor wordt het infrarode licht zeer efficiënt in kleuren opgesplitst. Zo kan de infraroodsensor van TROPOMI veertig keer kleiner zijn dan wanneer gewone tralies worden gebruikt.

Als licht wordt gebroken aan een oppervlak, wordt ook altijd een deel weer gereflecteerd het silicium in. Hierdoor ontstaan vervelende secundaire interne reflecties. Door slim ontwerp kan voorkomen worden dat deze zichtbaar zijn op de spectrometer. Ook is het tijdens de fabricage van de reflectiecoating van de verzonken tralie heel belangrijk dat er geen stofdeeltjes bij komen. Die kunnen catastrofale gevolgen hebben voor de werking, omdat ze alle kanten op reflecteren. Daarom vindt de productie in een stofvrije *clean room* plaats.



Afbeelding 22 Gewoon tralie en verzonken tralie Bron: SRON

TROPOMI meet het ontvangen licht in vier kanalen:

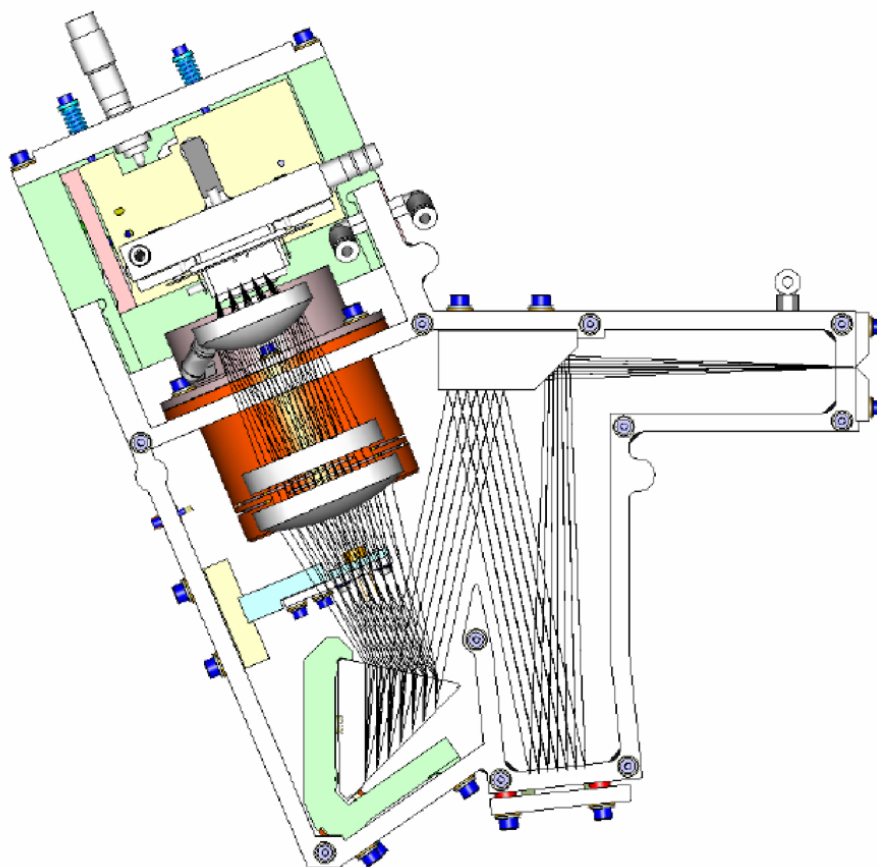
270 - 320 nanometer: ultraviolette straling

320 - 500 nanometer: ultraviolette straling en zichtbaar licht

675 - 775 nanometer: zichtbaar licht

2305 - 2385 nanometer: infraroodstraling

De eerste drie kanalen werken met een gewone tralie, de laatste met een verzonken tralie. Een afbeelding van de verzonken tralie met bijbehorende optica is te zien in afbeelding 23.



Afbeelding 23 De hele opstelling van het infraroodkanaal, met de verzonken tralie links onderin en de camera linksboven. De oorspronkelijke lichtstraal komt van rechts Bron: SRON

Opdracht 2.15 NATUURKUNDE

Silicium heeft een brekingsindex van 3,4. Wat is het golflengtebereik van het licht terwijl het zich in het silicium bevindt?

Opdracht 2.16

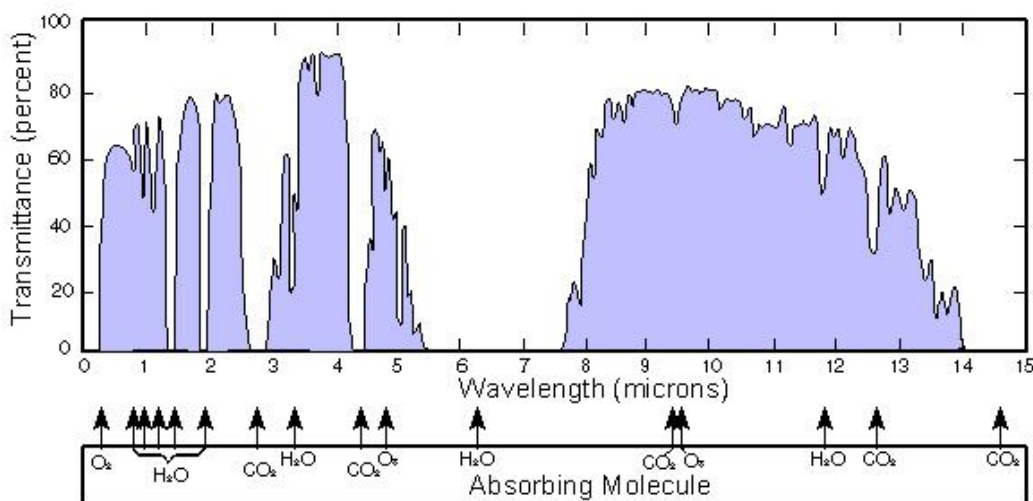
Bekijk het filmpje over TROPOMI van SRON ruimteonderzoek:

<https://www.youtube.com/watch?v=TkPCTqS5ZLE>



Satellieten gebruiken om stoffen te meten

Een belangrijke reden om de concentratie van atmosferische stoffen te meten, is om te weten waar de meeste vervuiling is. Satellieten zijn hierbij essentieel, omdat ze grote gebieden tegelijk kunnen overzien. De concentratie van bijvoorbeeld NO_2 op een bepaalde plek kan worden gemeten met een spectrometer. De kleur van licht wordt ook wel in golflengte uitgedrukt, omdat de lichtdeeltjes of fotonen uit een elektromagnetische golf bestaan. Fotonen kunnen in principe alle golflengten hebben. Onze ogen kunnen maar een heel klein deel van het spectrum zien: golflengten tussen pakweg 300 (violet) en 800 (rood) nanometer. Daarbuiten is een groot bereik aan golflengten die we op andere manieren zichtbaar kunnen maken. De spectrometers in TROPOMI kunnen dit ook. Omdat een molecuul bepaalde golflengten licht absorbeert, kan een dip in intensiteit bij die golflengte verwacht worden waar zo'n molecuul veel aanwezig is. In afbeelding 24 is te zien welke moleculen welke golflengtes tegenhouden, gemeten vanuit een satelliet. Water bijvoorbeeld neemt licht van bepaalde golflengtes op en gebruikt de energie om de atomen te laten bewegen.



Afbeelding 24 Doorlaatbaarheid van de atmosfeer in het infrarood. Verschillende moleculen absorberen licht op verschillende golflengtes Bron: US Navy, via Wikimedia Commons

Opdracht 2.17

- a** Welke stoffen zijn volgens het bovenstaande grafiek verantwoordelijk voor de meeste absorptie?
- b** Welke golflengtes worden goed doorgelaten? Wat voor soort licht is dit?

De reden dat er absorptie plaatsvindt op hele specifieke golflengten heeft te maken met de elektronen van het molecuul. Deze bewegen om de atoomkern in specifieke banen en zijn niet vrij om elke baan te kiezen. Dit volgt uit de theorie van de kwantummechanica. De daarbij behorende energieën zijn dus ook *gekwantificeerd*. Als een molecuul een foton met precies de juiste energie tegenkomt kan het foton geabsorbeerd worden en wordt de energie gebruikt om een elektron naar een hogere baan te brengen. Dit veroorzaakt dus een dip in het spectrum van het totale licht. Omdat deze energiewaarden voor alle moleculen anders zijn, kunnen we een molecuul herkennen aan de golflengte waarbij deze dip plaatsvindt.



Practicum

Spectraalanalyse

In dit practicum bouw je je eigen spectrometer met eenvoudige materialen. Daarmee bekijk je diverse lichtbronnen en beschrijf je wat je ziet.

Maken van een tralie

Benodigdheden

- Een lege opneembare cd en een laserpointer (hoe korter de golflengte hoe beter).
- Een rol duct-tape en normaal plakband.
- Een potlood, een stevige schaar en een scherp mesje.

Wat moet je doen?

- Neem de lege cd en knip hem in vier kwarten.
- Leg de stukjes met de label naar boven op je werkblad.
- Snij met een mesje de buiten- en binnenrand van de cd eraf zodat enkel het gelabelde deel van de cd overblijft.
- Plak netjes een paar stroken duct-tape op de label. Zorg dat het tape overal goed plakt. Er mogen geen luchtbelletjes onder zitten. Wrijf goed over de tape heen om te zorgen dat het echt plakt.
- Trek de tape er weer vanaf. De label zit nu aan de tape vast en de cd is als het goed is gedeeltelijk of compleet doorzichtig. Probeer met je vingers niet aan de kant van de cd te zitten waar het label zat. Je kunt deze kant namelijk niet goed schoonmaken!

Nadat je de tralie hebt geprepareerd, ga je eerst de tralieafstand bepalen. Dit doe je door met een laserpointer waarvan de golflengte bekend is te schijnen op je tralie. Zorg daarbij dat het laserlicht loodrecht op de tralie schijnt. Zorg dat je in een donkere ruimte bent en projecteer het resultaat op een witte muur, met ongeveer 20 cm tussen de tralie en de muur.

Opdracht 2.18

Probeer zoveel mogelijk lichtmaxima te vinden en meet de afstanden tussen de maxima.

Opdracht 2.19

- a Bepaal met deze informatie de hoek tussen twee maxima. Doe dit voor de centrale lichtbundel ($m=0$) en het eerstvolgende maxima ($m=1$) en bepaal met behulp van de tralieformule de tralieafstand.*
- b Waarom is de oriëntatie van de denkbeeldige lijn die de punten verbindt in de richting die je ziet?*

Bouwen van een spectrometer

Benodigheden

- Een lege keukenrol
- Een stuk zwart, hard karton (1 mm dik, 5 cm x 5 cm groot)

Stap 1: de spleet

- Neem het stuk karton, zet de keukenrol erbovenop en teken met het potlood de omtrek van de keukenrol op het karton. Knip daarna dit cirkeltje uit.
- Knip het cirkeltje zo precies mogelijk doormidden.
- Plak een van de helften met een beetje plakband vast op het uiteinde van de keukenrol.
- Plak de tweede helft er naast. Laat een klein spleetje tussen de twee helften over. Het spleetje moet overal ongeveer een halve millimeter breed zijn.
- Gebruik de duct-tape om de cirkelhelften rondom goed op de keukenrol te plakken. Zorg dat er nergens licht binnen kan komen, behalve door de spleet zelf.

Stap 2: de spectrometer in elkaar zetten

- Trek over de lengte van de keukenrol twee potloodstrepen om aan te geven in welke richting de spleet loopt.
- Zet de keukenrol met de spleet naar beneden op je werkblad.
- Leg het stukje cd met de kant waar het label zat naar beneden. Op die manier kan deze kant niet meer vies worden.
- Verschuif en draai het stukje totdat het ligt zoals op de foto hieronder. Die manier waarop het stukje gedraaid ligt ten opzichte van de spleet is belangrijk! Als je cd maar gedeeltelijk doorzichtig is, zorg er dan voor dat dit deel zo goed mogelijk in het midden komt te zitten.
- Plak het stukje vast met twee stukjes tape.
- Knip de uitstekende stukjes cd zo netjes mogelijk af zonder het stukje te verschuiven.
- Plak de cd rondom met duct-tape stevig en lichtdicht vast. Zorg dat het doorzichtige gedeelte van de cd vrij blijft.



Opdracht 2.20

Bekijk met je spectroscop nu zoveel mogelijk verschillende lichtbronnen en beschrijf wat je ziet. Te denken valt aan een TL-balk, kaars, gloeilamp, witte LED of radonlamp als deze beschikbaar is. Maak foto's van minstens drie verschillende spectra (bijvoorbeeld met je smartphone) en verklaar wat je ziet.

Let op! Kijk alleen naar de zon als je een goed filter hebt en je docent dit heeft goedgekeurd!

Probeer op internet te achterhalen hoe deze vormen van verlichting werken en waarom dit resulteert in het spectrum dat je ziet.

3 Land

Leerdoelen

Na thema 3 Land:

- kun je voorbeelden noemen van toepassingen van aardobservatie
- kun je het verschil tussen passieve en actieve observatie van satellieten uitleggen
- weet je dat de eigenschappen golflengte en polarisatie van licht worden gebruikt om aardobservaties te kunnen doen
- weet je wat Lidar is en waarvoor het kan worden gebruikt
- heb je afbeeldingen of andersoortige informatie op basis van satellietgegevens geïnterpreteerd
- heb je kennisgemaakt met meetinstrumenten op satellieten die actief waren, nu actief zijn of dat in de toekomst zullen zijn



Grenzeloos observeren

Het aantal toepassingen voor satellieten die aardobservaties doen is haast grenzeloos. We zullen in dit thema een aantal van deze toepassingen nader bestuderen. Wolken worden vanuit de ruimte gefotografeerd voor het doen van weersvoorspellingen, maar ook op het aardoppervlak speelt zich een hoop af dat makkelijker met satellieten bekeken kan worden dan vanaf de grond. Wist je bijvoorbeeld dat met satellieten pinguïngedrag op de Zuidpool wordt onderzocht? Of dat belastingontduikers gepakt worden door hun illegaal gebouwde zwembad vanaf grote hoogte te spotten?

In dit thema leer je meer over de werking van achterliggende technologieën met betrekking tot aardobservaties. Er bestaan namelijk veel verschillende methodes om waarnemingen te doen, met allemaal hun eigen toepassingen. Je gaat ook zelf aan de slag met satellietdata om je een beter beeld te geven hoe deze data geïnterpreteerd wordt.



Waar worden aardobservaties voor gebruikt?

Laten we het voorbeeld van de pinguïns verder uitlichten. Het is niet makkelijk voor de mens om in het Zuidpoolgebied te komen en de leefgebieden van de pinguïns te vinden. Satellieten hebben deze problemen allemaal niet. Op de satellietbeelden zijn geen individuele pinguïns te zien, maar wel kolonies en hun poep op het ijs. Zo zijn wetenschappers meer te weten gekomen over de aantallen kolonies keizerspinguïns en hun broedgedrag. Er zijn aanwijzingen ontdekt dat kolonies pinguïns op andere plaatsen broeden dan voorheen vanwege klimaatveranderingen.



Afbeelding 26 Een kolonie keizerspinguïns Bron: Wikipedia

Opdracht 3.1

Wat zou je nog meer allemaal vanuit de ruimte willen bekijken? Welke problemen kan je hiermee oplossen? Bedenk zelf nog een drietal toepassingen van aardobservaties. Zet achter elke toepassing a. welk type baan de satelliet zou moeten beschrijven en b. of de satelliet hoog of laag zou moeten vliegen.

Opdracht 3.2

- a** Bij een olieramp op zee worden satellieten ingezet om de grootte en verspreiding van de olievlek te meten. Dit zou je ook met een vliegtuig kunnen doen. Bedenk wat de voor- en nadelen zijn van het gebruik van satellieten in deze context.*
- b** Zoek de website van Netherlands Space Office. Zoek daar op waardoor een olievlek op de oceaan zichtbaar is voor satellieten.*
- c** Onder welke voorwaarden is een olievlek niet zichtbaar, en waarom?*
- d** Zoek nog een voorbeeld van een toepassing waarbij satellieten worden gebruikt om te helpen het milieu te beschermen.*

Door over langere termijn waarnemingen te doen, kunnen met satellietwaarneming trends en langzame ontwikkelingen in kaart worden gebracht. Denk bijvoorbeeld aan smeltend zee-ijs, ontbossing of verwoestijning. Bij incidenten kunnen satellieten overzicht bieden: zo kan er bij grote bosbranden gezien worden waar brandhaarden zijn, waar hulp nodig is en waar brandweerlieden het beste kunnen worden ingezet. Bij een grote olieramp in de oceaan kan, in sommige gevallen, de grootte van de olievlek en de richting waarin die zich verplaatst worden gemeten. In geval van een overstroming kan gekeken worden langs welke route hulp nog ter plaatse kan komen. Enzovoorts. En er zijn ook economische toepassingen: zo worden satellietbeelden gebruikt in grootschalige landbouw, om vast te stellen waar de gewassen klaar zijn voor oogst. En, iets waar je misschien minder snel aan denkt: de omzet van winkels kan worden geschat door auto's op parkeerplaatsen te tellen.



Passief observeren

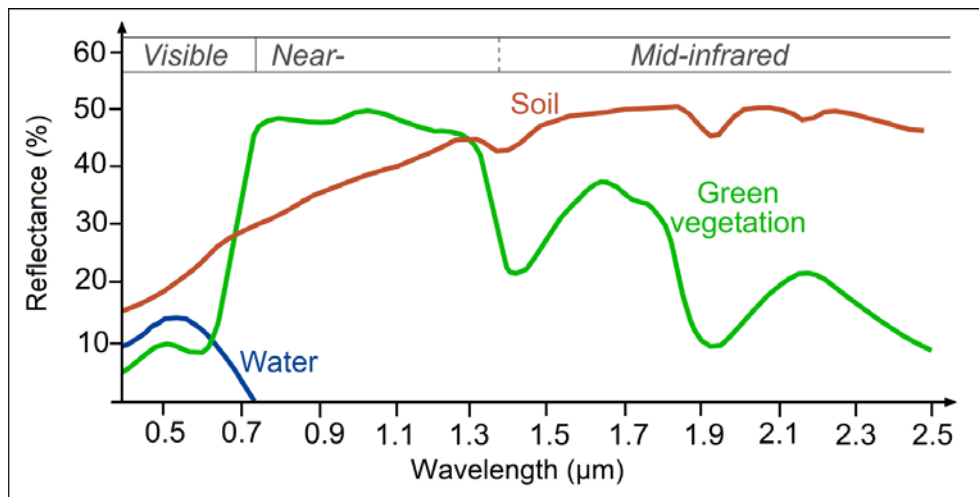
Een satelliettoepassing waar veel aandacht naar uitgaat, is het in kaart brengen en vervolgens bestrijden van ontbossing. Het gaat dan vooral om het kappen van tropisch regenwoud in bijvoorbeeld Colombia en Indonesië. Er wordt in deze gebieden veel illegaal hout gekapt. Zonder hulp van satellieten is dit lastig te achterhalen, vanwege de onherbergzame gebieden en de enorme oppervlaktes waar dit plaats kan vinden. Mensen kappen stukken bos om land vrij te maken voor agrarische activiteiten, mijnbouw of om (spoor)wegen aan te leggen naar plantages. Ook kan het hout veel geld opleveren. Als er in een gebied gekapt wordt en dit opgemerkt wordt door satellieten, kan na interpretatie van de gegevens binnen enkele dagen deze informatie aan de lokale autoriteiten gegeven worden. Kappen van tropisch regenwoud bedreigt de leefgebieden van veel dieren, zoals orang-oetans op Borneo. Het leidt ook tot erosie doordat de wortels van de bomen de ondergrond niet meer bij elkaar kunnen houden en er veel (vruchtbare) aarde wegspoelt. Het zorgt ervoor dat er minder op de bodem kan groeien en het verhoogt het risico op overstromingen.



Afbeelding 27 Foto genomen vanuit het International Space Station waarop regenwoud ontbost wordt door 'slash-and-burn' (bomen inhakken zodat ze afsterven en daarna verbranden) Bron: Wikipedia

Zogenaamde passieve observaties meten het gereflecteerde licht van de zon op het aardoppervlak of vangen infraroodstraling geproduceerd door de aarde op.

Het meetinstrument van de satelliet bestaat alleen uit een ontvanger. Gewone fotografie kan hierbij een optie zijn, maar vaak worden satellieten uitgerust met een spectrometer, omdat uit een spectrum veel informatie kan worden afgeleid over verschillende ondergronden. Verschillende ondergronden reflecteren verschillend licht, zoals goed te zien is in afbeelding 28. De afbeelding laat zien welk percentage van het licht gereflecteerd wordt bij verschillende golflengtes voor verschillende ondergronden.



Afbeelding 28 Sterkte van reflectie van licht voor verschillende golflengten in het zichtbare en infrarode deel van het spectrum. Duidelijke verschillen zijn te zien tussen water, braak liggende grond (soil) en door planten overdekte aarde (green vegetation) Bron: SEOS

Opdracht 3.3

In welk golflengtegebied kan je het beste meten als je ontbossing in kaart wil brengen, als je kijkt naar afbeelding 28?

Er is natuurlijk nog een beter onderscheid te maken tussen de verschillende soorten planten of bomen, of verschillende soorten aarde. Vaak kunnen satellieten deze verschillen ook meten en kan er zo dus een redelijk volledig beeld worden gemaakt van een gebied. Het is echter wel van belang de gegevens ter plaatse te toetsen om te begrijpen wat de satellietbeelden precies laten zien.

Opdracht 3.4



Hoe zou een zwart-wit foto in het midden-infrarood eruit zien met de verschillende soorten ondergrond (water, vegetatie en braakliggende grond)? Laat zien met behulp van een schets.



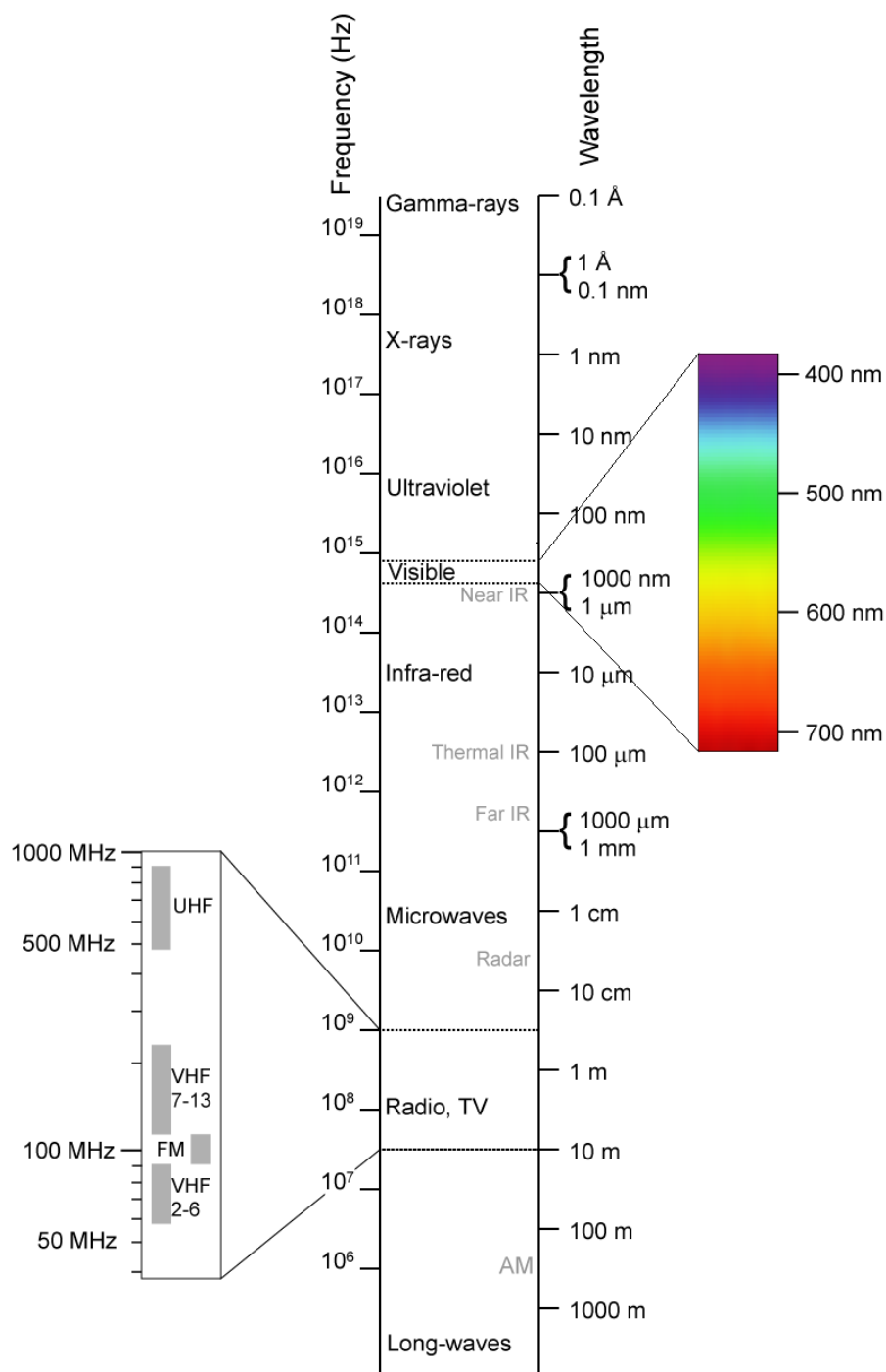
Actief observeren

In de oerwouden van bijvoorbeeld Brazilië, Colombia en Indonesië treden rivieren regelmatig buiten hun oevers midden tussen de bomen. Je zou door het bladerdek willen kijken om dit water te kunnen zien stromen, wat natuurlijk niet kan met zichtbaar licht. Maar met radargolven kan het wel.

Radargolven hebben een grotere golflengte dan zichtbaar licht. In het algemeen geldt voor licht, radar en andere elektromagnetische golven dat de golf alleen interacteert met objecten die een vergelijkbare lengte hebben als de golflengte. Zo kun je bijvoorbeeld in huis naar een radio luisteren: de radiogolven hebben een lange golflengte, en 'zien' de muren niet. Ze gaan er dwars doorheen. Andersom wordt elektromagnetische straling met een korte golflengte juist gebruikt om microscopische objecten te bekijken, want alleen straling met een korte golflengte 'ziet' de microscopische objecten. Een overzicht van de verschillende golflengtes van licht en hun toepassingen is te zien in afbeelding 29.

Verschiedende golflengten worden door de aarde weerkaatst uit zonlicht, of door de aarde zelf geproduceerd (infrarood). Een instrument aan boord van een satelliet kan die opvangen. Andere golflengten worden niet vanzelf door de aarde uitgezonden. Als je van zulke golflengten gebruik wil maken, kun je actieve observaties doen. Actieve observaties sturen bijvoorbeeld met een radarpuls een signaal naar de aarde en vangen het gereflecteerde signaal weer op. Hierdoor heb je zelf invloed op het signaal dat je gaat ontvangen en kan je de uitgezonden puls aanpassen aan wat je wilt gaan meten.

Een radarsysteem werkt in een heel ander golflengtegebied dan de manieren van aardobservaties die we tot nu toe hebben gezien: een veel grotere golflengte dan zichtbaar licht. Dat is handig voor het voorbeeld van de overstromende rivieren in het oerwoud. Als de juiste golflengte radargolven wordt gekozen, kun je door wolken heen kijken (waardoor er ook op bewolkte dagen informatie ingewonnen kan worden) en ook door bijvoorbeeld bladerdek. Een radarpuls met een golflengte die groot genoeg is kan dan op de grond reflecteren als het gebied niet overstroomd is. In het geval van overstroming wordt het signaal juist geabsorbeerd door het water, en ontvang je geen signaal terug.



Afbeelding 29 Het elektromagnetisch spectrum Bron: Wikipedia

Opdracht 3.5

Hoe ziet kalm water eruit op een radarbeeld? En wat gebeurt er met het beeld als er meer golven zijn?

Opdracht 3.6 (NATUURKUNDE)

Een radarsysteem op een satelliet die op 400 km hoogte vliegt zendt een radarpuls uit met een vermogen van 4 kW richting de aarde. Dit gebeurt onder een kleine hoek: 1 bij 1 graden. De puls wordt voor 50% teruggestraald en in alle richtingen (een halve bol) verstrooid. De ontvangtschotel van de satelliet heeft een oppervlakte van 1 m².

- a** Bereken het totale vermogen dat de schotel ontvangt.
- b** Stel dat de radar pas een nieuwe puls kan sturen wanneer de eerste puls weer ontvangen is. Hoe groot is dan het oppervlak dat in 1 seconde kan worden bekeken? Geef je antwoord in vierkante kilometers.
- c** In werkelijkheid is het teruggestraald vermogen ook afhankelijk van de golflengte van het signaal. De klassieke radarvergelijking geeft aan wat de maximale afstand is waarop we een object kunnen detecteren als we in alle richtingen een puls zouden uitzenden:

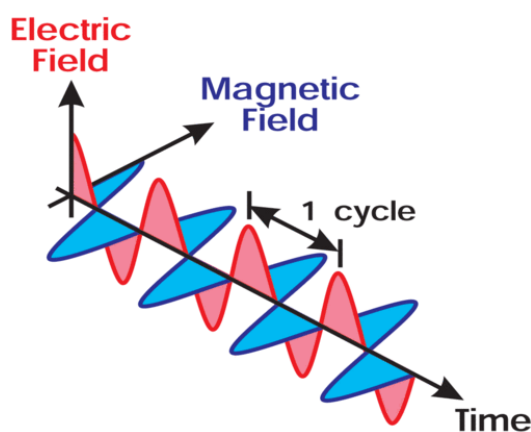
$$R_{max} = [(P_u A_s^2 A_o) / (4\pi\lambda^2 P_{min})]^{1/4}$$

Hierin is P_u het uitgestraalde vermogen, A_s en A_o het oppervlak van de schotel en het te bestuderen object, λ de golflengte en P_{min} het minimale vermogen wat we nog kunnen detecteren. Stel dat een signaal uitgezonden wordt in alle richtingen met een frequentie van 5 GHz. We proberen een marineschip op te merken met een oppervlak van 10.000 m² en hebben ontdekt dat dit net lukt. Ga na dat de dimensie van de radarvergelijking een afstand is en bereken P_{min} .



Gepolariseerde straling

Als we een ondergrond willen onderscheiden van een andere ondergrond (zoals bos van aarde of aarde van zee) met behulp van radargolven, kan gebruik worden gemaakt van een bijzondere eigenschap van deze golven. Naast een golflengte en een voortplantingsrichting heeft elektromagnetische straling namelijk ook een polarisatie. Straling, al dan niet zichtbaar, bestaat uit wat we noemen een elektromagnetische golf. Dit is een golf die bestaat uit zowel een elektrisch als een magnetisch veld, die zich met de lichtsnelheid door de lege ruimte voortbeweegt. Tegelijk kunnen we zo'n golfpakket ook zien als een deeltje (foton). Elektrische en magnetische velden hebben niet alleen een grootte, maar ook een richting. In een foton staan deze richtingen loodrecht op elkaar, zoals te zien is in afbeelding 30.

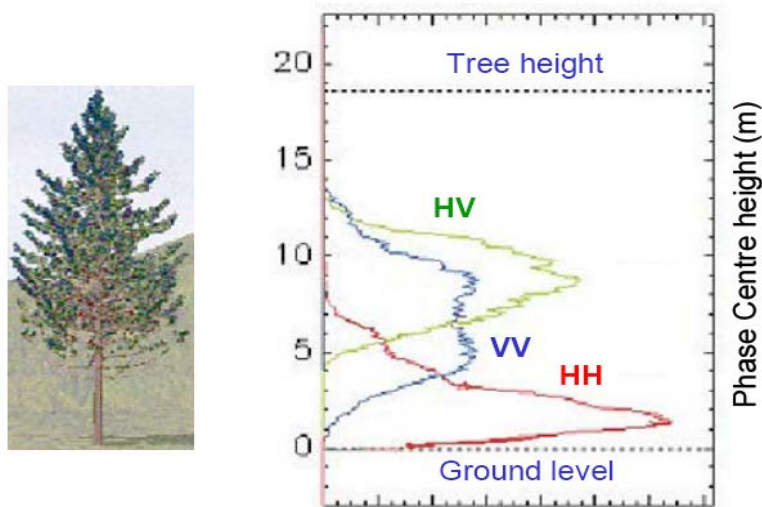


Afbeelding 30 Een foton bestaat uit een golfpakketje van elektrische en magnetische golven Bron: <https://taksreview.wikispaces.com> CC BY-SA 3.0

De richting waarin deze velden staan noemen we de polarisatie van de straling. De straling van de zon is ongepolariseerd; de velden van de individuele fotonen hebben allemaal een andere richting. Als de velden van alle fotonen dezelfde richting hebben spreken we over gepolariseerde straling. Dit kan je maken door ongepolariseerde straling door een filter te halen, die alleen de fotonen met de juiste oriëntatie doorlaat. Dit heet een polarisator. De meeste duurdere zonnebrillen werken op deze manier, en brengen dus ook de intensiteit van de straling terug.

Je kan gepolariseerde straling gebruiken in radarsystemen om aardobservaties te doen. Satellieten kunnen bijvoorbeeld straling met een bepaalde polarisatie uitzenden, maar een andere polarisatie meten. In de praktijk komen de volgende combinaties voor:

HV: de satelliet zendt radarpulsen uit met een horizontale (H) polarisatie, maar meet het gereflecteerde signaal juist met een verticale (V) polarisatie.
 VH: de satelliet zendt radarpulsen uit met een verticale (V) polarisatie, maar meet het gereflecteerde signaal juist met een horizontale (H) polarisatie.
 Een puls verzenden met de ene polarisatie en terugkrijgen in een andere polarisatie geeft informatie over de ondergrond. Het is dus een handige manier om iets over de aarde te weten te komen. In afbeelding 31 is het signaal als functie van de hoogte te zien voor een boom met de verschillende polarisatiemetingen.



Afbeelding 31 Het radarsignaal van een boom plus ondergrond met verschillende polarisatiemetingen Bron: SarVision

Opdracht 3.7

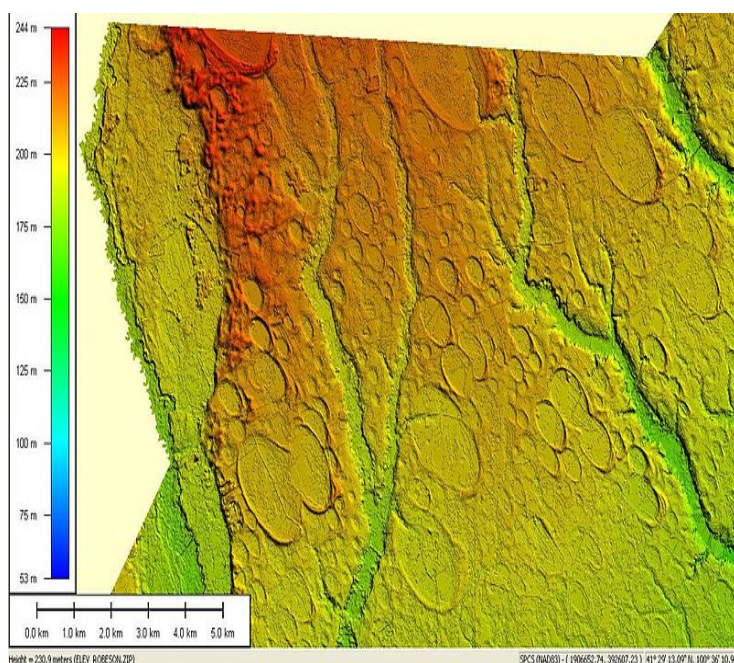
Waar geven de verschillende polarisatiemetingen (HV, VV en HH) informatie over?

Kies uit de volgende opties: grond, onderkant bladerdek en bovenkant bladerdek.



Reliëf met Lidar

Naast passieve systemen die optisch licht of infrarood meten en actieve radarsystemen die meestal met microgolfstraling werken, is er nog een veelgebruikt systeem voor aardobservaties: Lidar (Light Detection And Ranging, vgl. radar = RAdio Detection And Ranging). Dit systeem schiet een laserpuls naar de aarde en meet één punt per keer. Vervolgens wordt heel nauwkeurig gemeten wanneer het gereflecteerde signaal ontvangen wordt. Een Lidar kan dit heel nauwkeurig timen, tot op de nanoseconde. Dit moet ook wel, omdat de snelheid van het licht gigantisch is. Hiermee kunnen heel nauwkeurig afstanden bepaald worden, en met meerdere pulsen kan het reliëf van een oppervlakte in kaart gebracht worden. Omdat het gereflecteerde licht heel zwak is, wordt deze methode voor aardobservaties voornamelijk vanuit vliegtuigen toegepast. Ook zijn bijvoorbeeld reliëfkaarten van de maan gemaakt met Lidar tijdens de Apollomissies. Dit was mogelijk doordat de maan geen atmosfeer heeft; die kon dus het signaal niet verstoren, en bovendien kon de satelliet heel laag rond de maan draaien. Ook wordt Lidar veel gebruikt vanaf de grond voor atmosferische metingen, zoals het bepalen van de hoogte van wolken. De golflengtes waarmee Lidar-systemen opereren variëren van infrarood tot ultraviolet. Een voorbeeld van een kaart die met Lidar is gemaakt zie je in afbeelding 32.



Afbeelding 32 Deel van een moeras in North Carolina in de Verenigde Staten waarbij hoogtemetingen zijn gedaan met Lidar Bron: North Carolina department of transportation

Opdracht 3.8

Een vliegtuig doet hoogtemetingen met een Lidar. Als een verschil in aankomsttijd tussen twee pulsen van 1 nanoseconde net gemeten kan worden, wat zijn dan de kleinste hoogteverschillen die gemeten kunnen worden? Bedenk eerst goed wat het pad is dat de puls aflegt. Je mag aannemen dat de lichtsnelheid niet noemenswaardig verandert ten gevolge van de aardatmosfeer. tip: maak een schets van de situatie.

Opdracht 3.9

In 2005 veroorzaakte orkaan Katrina een ramp in de Verenigde Staten. Onder andere de plaats New Orleans kwam in grote nood. Op de website van Eduspace van ESA staat een casus van deze ramp. Maak de oefeningen (let op: het zijn drie pagina's) op

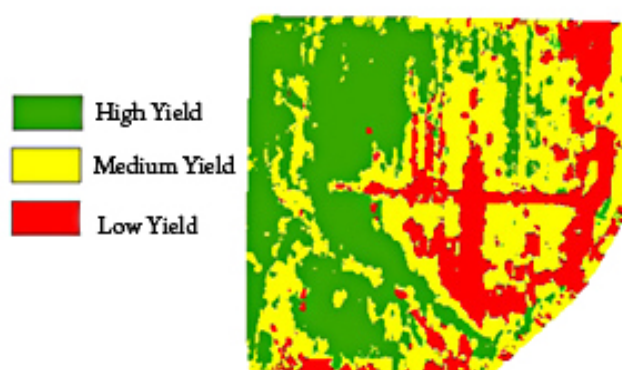
https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Disasters_NL/SEML902YRYG_0.html

Download eerst de software en data in de rechterkolom onder Eduspace – Software en Eduspace – Download.



Toepassingen van Lidar

Waarom is het maken van reliëfkaarten eigenlijk zo belangrijk? Het is leuk voor Google Maps, maar heeft het verder nog nut? Het verrast je misschien, maar boeren hebben groot belang precies te weten hoe de hellingen op hun velden liggen. Dit beïnvloedt namelijk hoeveel zon elk gewas krijgt. Niet elk gewas zal daardoor even goed groeien. Dit levert plaatjes op zoals in afbeelding 33. Hier kunnen boeren dan vervolgens voor compenseren door dure mest alleen te gebruiken voor deze delen van hun veld. Hoewel dit misschien minder voor het platte Nederland van toepassing is, wordt in het buitenland veel verbouwd op minder vruchtbare en vaak hellende grond.



Afbeelding 33 Verwachte opbrengst van een stuk landbouwgrond op basis van reliëfmetingen. Yield betekent opbrengst Bron: <http://www.wikiwand.com/en/Lidar>

De satelliet ICESat heeft een Lidar-systeem aan boord en is speciaal ontworpen om de hoogte van een ijsplateau te bepalen. Hierdoor kan de afsmelting van ijs op Groenland en Antarctica in kaart worden gebracht, evenals kleinere gletsjers. Het bleek echter ook een handige satelliet om bossen in kaart te brengen. Lidar heeft namelijk net als radar ook de mogelijkheid door het bladerdek van een bos te kijken waardoor onderliggende structuren zichtbaar gemaakt worden. Dit heeft bijvoorbeeld toepassingen voor de archeologie. Restanten van oude beschavingen zijn wellicht door oerwoud overgroeid (afbeelding 34), maar de onderliggende structuren kunnen met Lidar toch gevonden worden, zelfs als vanaf de grond niet duidelijk is dat er iets interessants te vinden is.



Afbeelding 34 Overwoekering van ruïnes in Angkor, werelderfgoed in Cambodja Bron: Wikipedia

Tijdens een overstroming is het van groot belang mensen in de regio zo snel mogelijk te evacueren. Om erachter te komen hoe een overstroming zich zal ontwikkelen en welke gebieden nog onder water komen te staan, bijvoorbeeld stroomafwaarts in een rivier, zijn reliëfkaarten het belangrijkste hulpmiddel om dit te bepalen. Hiermee kan worden voorkomen dat mensen geëvacueerd worden terwijl dit niet nodig is.

Ook bij het bouwen van een dam in een rivier zijn reliëfkaarten onontbeerlijk. Er zal zich namelijk een groot stuwmeer vormen omdat het waterpeil achter de dam zal stijgen. Ook na de bouw en de vorming van het stuwmeer is het belangrijk de grootte van het meer te monitoren, zodat bepaald kan worden hoeveel water er beschikbaar is in tijden van droogte, en er tijdig maatregelen genomen kunnen worden. Reliëfkaarten worden al eeuwenlang gemaakt met behulp van waterpassen. Satellietmetingen zorgen ervoor dat we dat tegenwoordig veel sneller en goedkoper kunnen, en bovendien dat we makkelijker op alle plekken op aarde kunnen meten.

In afbeelding 35 is een satellietopname (niet Lidar) te zien van het stuwmeer van de Katsedam in Zuid-Afrika, voor en na de bouw.



March 2, 2001



March 9, 1989

Afbeelding 35 Boven: opname uit 2001 van het stuwmeer van de Katsedam in Zuid-Afrika.
Beneden: Hetzelfde gebied in 1989, voor de bouw van de dam Bron: NASA

Opdracht 3.10

Bedenk een ander voorbeeld waarbij reliëf een rol speelt bij de aanpak van een probleem.

Opdracht 3.11

Je gaat in deze opdracht zelf satellietbeelden analyseren. Daarvoor maak je gebruik van Google Earth (Let op: dat is niet hetzelfde als Google Maps. Download en installeer het programma als het nog niet op je computer staat via <https://www.google.nl/intl/nl/earth/>). In Google Earth kan je beelden van satellietfoto's inladen die je zichtbaar kunt maken op de kaart door ze aan of uit te vinken.

We gaan kijken naar de casus van ontbossing op het Indonesische eiland Borneo.

- a** Download de volgende zip file en unzip het bestand met bijvoorbeeld winrar:
bit.ly/NLT_Borneo_deforestation
- b** Open Google Earth en kies bovenin onder 'toevoegen' de optie 'netwerklink'. Klik op bladeren en laad de eerste kmz file in. Geef het een toepasselijke naam waarin in ieder geval het jaartal staat. Herhaal dit proces voor alle files.
- c** Zoek op de kaart naar Borneo, en kijk hoe ontbossing plaatsvindt in de loop der jaren door links de verschillende foto's aan en uit te klikken. Vink daarvoor eerst alles uit en vink vanaf 2000 steeds meer foto's aan. Er wordt onderscheid gemaakt tussen tropisch regenwoud (donkergroen), mangrovebos (cyaan) en veenbos (lichtgroen). De bijbehorende ontbossing heeft ook verschillende kleuren.
- d** We richten ons nu op het tropisch regenwoud en gaan uitrekenen hoeveel bosverlies er heeft plaatsgevonden. Gebruik daarvoor de afbeelding uit 2000 en uit 2015. Maak met een hulpprogramma van beide een schermafbeelding van alleen het satellietbeeld (zoek in Windows op knipprogramma of snipping tool) van Borneo en sla deze op. Zorg ervoor dat de oppervlaktes zo identiek mogelijk zijn. We gaan deze afbeelding nu analyseren.
- e** Download en installeer het programma ImageJ: <http://imagej.nih.gov/>
- f** Open de afbeelding van Borneo uit 2000 met dit programma, en ga naar analyze->histogram. Van elke pixel wordt nu de kleur bepaald. De kleur wordt weergegeven door 3 getallen (rood, groen, blauw) van 0 t/m 255, zoals je te zien krijgt als je je muis op een plek in de afbeelding plaatst. Het histogram in grijstinten neemt het gemiddelde van de drie waarden en toont hoeveel pixels er zijn met die waarde.
- g** Als je op list klikt zie je de numerieke waarde van het histogram. Waarom is deze waarde bij 0 zo hoog?
- h** Schat met behulp van deze tool af hoe groot deel van de afbeelding bestaat uit tropisch regenwoud. Verschillende pieken in het histogram horen namelijk bij verschillende kleuren. Doe dit voor het groene filter. Neem niet alleen de waarde van de piek, maar ook naastgelegen waarden mee, aangezien de randen van het bos soms niet exact dezelfde kleur hebben als de rest. Bepaal

op deze manier het deel van de afbeelding die bestaat uit tropisch regenwoud door te delen door de count. Doe dit voor zowel de afbeelding uit 2000 als die uit 2015.

- i* Bepaal hiermee het percentage van het tropisch regenwoud dat in 15 jaar is weggekapt en schat de oppervlakte van de ontbossing af.

- j* Voeg nogmaals een netwerklink toe, maar vul nu de link toe:

bit.ly/NLT_Borneo2

En de volgende link bevat wat placemarkers:

bit.ly/NLT_Borneo3_voorbeelden

Dit is een composiete afbeelding in valse kleuren, wat wil zeggen dat het uit verschillende opnamen bestaat die aan elkaar geplakt zijn, zodanig dat er geen wolken te zien zijn. Er zijn drie golflengtebanden over elkaar heen geplakt in valse kleuren. Dit zijn de banden 1,2 en 6 van de MODIS satelliet.

Meer informatie hierover is te vinden op bit.ly/NLT_modissensor

- k* Vergelijk de golflengten van de banden met afbeelding 28. Welke band heeft welke kleur gekregen in de satellietopname? Onthoud dat een gebied ook in verschillende banden kan oplichten. Waarom heeft mangrovebos een andere kleur dan de andere bossoorten?

4 Zee

Leerdoelen

Na thema 4 Zee:

- ken je enkele factoren die een rol spelen bij zeespiegelstijging
- ben je meer te weten gekomen over hoogteverandering in Nederland
- kun je toelichten waardoor de valversnelling op aarde niet overal gelijk is
- heb je afbeeldingen of andersoortige informatie op basis van satellietgegevens geïnterpreteerd
- heb je kennisgemaakt met meetinstrumenten op satellieten die actief waren, nu actief zijn of dat in de toekomst zullen zijn



Onder de zeespiegel

Naast de atmosfeer en het landoppervlak zijn er nog andere delen van de aarde die je vanuit satellieten kunt bestuderen. Zo'n 70% van het aardoppervlak bestaat uit water. Dit hoofdstuk gaat in op het meten van de zeespiegel. Het nauwkeurig in kaart brengen van de zeespiegel is belangrijk om inzicht te krijgen in veranderingen in de zeespiegel, bijvoorbeeld als gevolg van het smelten van landijs op de Zuidpool en Groenland. Voor Nederland is dit een belangrijk probleem, omdat een groot deel van het westen van het land onder de zeespiegel ligt. We willen meer weten over het gedrag van de zeespiegel ten gevolge van klimaatverandering, zodat we ons op een eventuele stijging in de toekomst kunnen voorbereiden.



Afbeelding 36 **Gletsjer in Groenland** Bron: CC BY-SA 2.5,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=266909>

Opdracht 4.1

- a** Ga naar <http://www.ahn.nl/pagina/viewer.html> en open de viewer. Bekijk op welke hoogte jouw huis en je school liggen, evenals belangrijke plaatsen zoals het Binnenhof en Schiphol. Noem een zo laag mogelijke en een zo hoog mogelijke plek.
- b** Bepaal de hoogte van de Utrechtse Heuvelrug, Vaalserberg, Hoge Veluwe en de duinen. Gebruik de verschillende soorten kaarten door rechtsbovenin het menu 'lijst met lagen' te openen en schat in hoe groot het deel van Nederland is dat onder de zeespiegel ligt.
- c** Maak een hoogteprofiel op <http://ahn.arcgisonline.nl/hoogteprofiel/> van de route van jouw huis naar je school. Lees daartoe eerst goed de gebruiksaanwijzing die te zien is als je de app opent. Wat zijn je bevindingen?

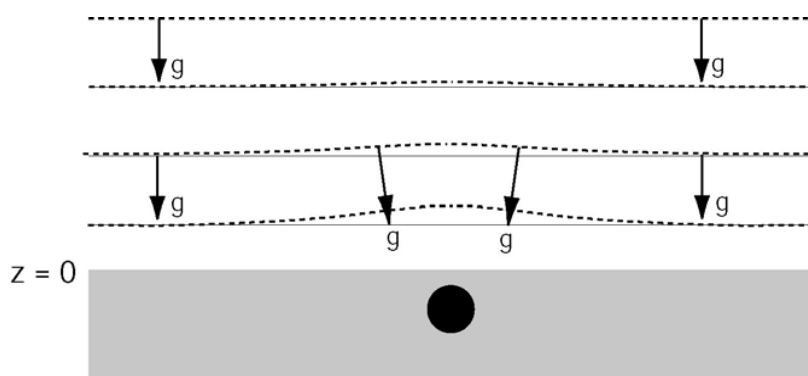


Zeespiegel, NAP en geoïde

Je kunt, zoals je in de vorige opdracht hebt gezien, de hoogte van elk plek in Nederland opzoeken. Maar wat betekent die hoogte precies, en wat is de link met de zeespiegel? In Nederland wordt NAP, het Normaal Amsterdams Peil als referentiekader gebruikt.

Dit werd landelijk ingevoerd in de negentiende eeuw om hoogtemetingen te standaardiseren. NAP is gelijk aan het gemiddeld vloedniveau bij Amsterdam tussen September 1683 en September 1684. Deze waarde is vervolgens overgebracht naar andere plekken in ons land met behulp van waterpassen. Het 'vlak' door al die NAP-punten (het NAP-vlak) is voor Nederland het referentievlak voor hoogtemetingen. Dit Nederlandse NAP-vlak kun je je voorstellen als een stukje van een wereldwijd hoogte-referentievlak op gemiddeld zeeniveau. Dit wereldwijde referentievlak noemen we de geoïde.

De geoïde, en dus ook het NAP-vlak, is een zogenaamd equipotentiaalvlak. Hierop is de potentiële (zwaarte-)energie overal gelijk. De gravitatie-energie wordt gegeven door $E_{gr} = -GMm/R$, waarin is G de gravitatieconstante en m de massa van een deeltje op de geoïde. M en R zijn de massa en afstand van datgene wat je aantrekt. Een verplaatsing van het ene punt A in dit equipotentiaalvlak naar het andere punt B kost netto geen arbeid. Water stroomt dus niet van A naar B. Als water wel stroomt is dat ten gevolge van de zwaartekracht en niet, zoals vaak gedacht wordt, 'van hoog naar laag'. De geoïde zegt dus ook iets over de zwaartekracht op aarde.



Afbeelding 37 Verschillende equipotentiaalvlakken en hun zwaartekrachtvector staan getekend voor een uniforme aarde met een lokale extra massa. De zwaartekrachtsvector staat altijd loodrecht op het equipotentiaalvlak. Bron: <https://www.ualberta.ca/~unsworth/UA-classes/210/notes210/B/210B5-2008.pdf>

Op de geoïde zou het oppervlak van de oceanen van de aarde liggen, als de aarde niet zou draaien, als er geen getijdenkrachten van de zon en de maan (eb en vloed) zouden zijn, en als er geen wind zou zijn (wind kan op grote schaal zeker een merkbaar effect kan hebben). Waar wel rekening mee wordt gehouden bij het vaststellen van de geoïde zijn zwaartekrachtsverschillen op het oppervlak ten gevolge van de inwendige massaverdeling in de aarde en de topografie aan het oppervlak. Met andere woorden, de geoïde is een vlak waarop de zwaartekrachtvector overal op aarde loodrecht op staat.

Het zwaartekrachtsveld van de aarde over de breedtegraad is niet overal gelijk. Dat heeft in eerste instantie te maken met het draaien van de aarde rond haar as. Dit veroorzaakt een afplatting bij de polen, terwijl de aarde ter hoogte van de evenaar juist uitgerekt wordt. De aarde is dus geen perfecte ronde bol.

De zwaartekrachtsvector staat altijd loodrecht op de geoïde, zoals te zien in afbeelding 37. De vorm van de geoïde wordt dus bepaald door de interne massaverdeling en op kleinere schaal ook door de oppervlakte-topografie. Als er extra veel massa op een bepaalde plek is, bijvoorbeeld als gevolg van gesteente, ontstaat er daar een 'bult' in de geoïde. De valversnelling krijgt in het voorbeeld van afbeelding 37 in de buurt van de lokale extra massa een andere grootte en andere richting (er komt een horizontale component bij).

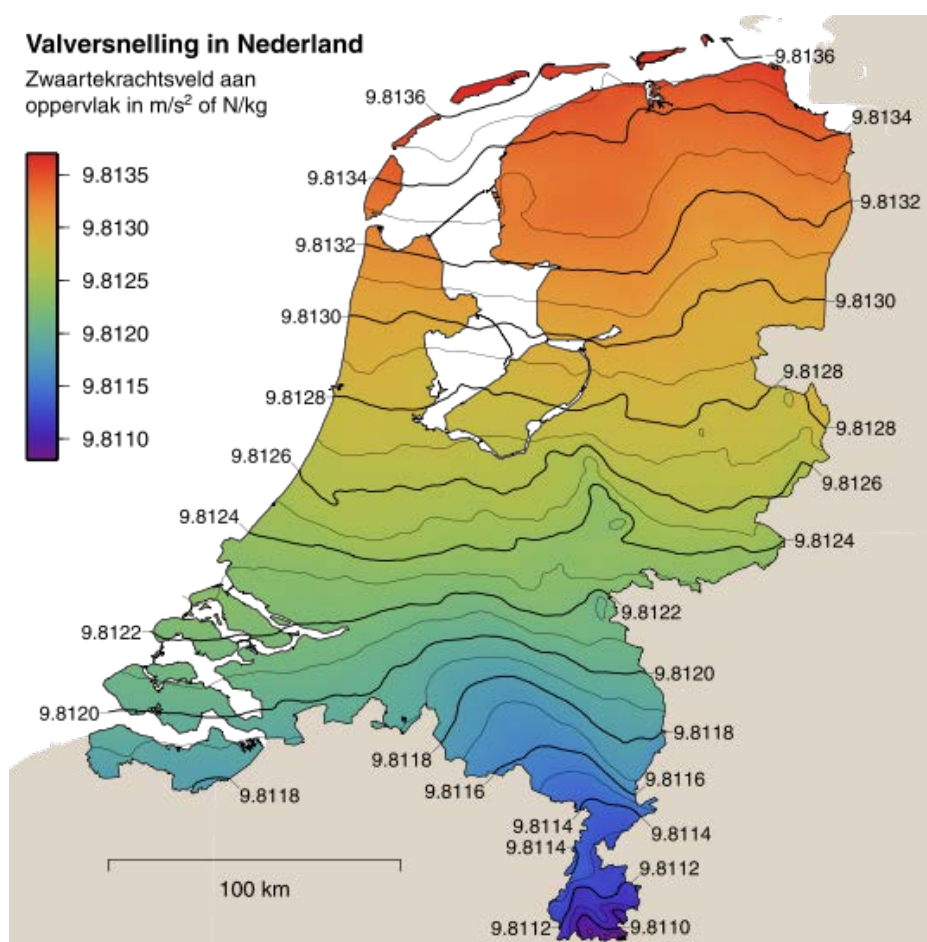
In de werkelijkheid betekent dit ook dat het waterpeil in de buurt van zo'n lokale extra massa iets hoger ligt, aangezien het de geoïde volgt.



Valversnelling

De geoïde moet niet verward worden met de valversnelling ($g=9.81 \text{ m/s}^2$). De valversnelling wordt afgeleid uit de grootte van de zwaartekracht, en niet uit de grootte van de gravitatie-energie, hoewel deze begrippen natuurlijk aan elkaar gerelateerd zijn. De valversnelling is belangrijk omdat dit de grootte is die je kan meten op het oppervlak, en we door de valversnelling te meten iets te weten kunnen komen over de vorm van de geoïde.

De aarde wordt een beetje uit elkaar geslingerd door de draaiing om haar as en dit geeft een verschil van meer dan 21 km in afstand tot de aardkern tussen de polen en de evenaar. Dat geeft ook een verschil in valversnelling van ongeveer 0.5%. In afbeelding 38 is te zien wat de valversnelling is in Nederland.

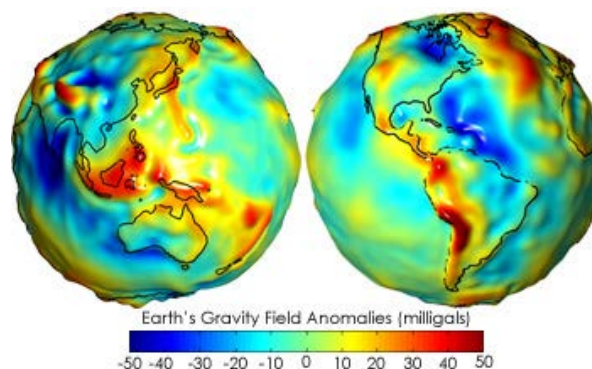


Afbeelding 38 Valversnelling in Nederland op het oppervlak Bron:
<http://www.wikiwand.com/nl/Valversnelling>

Opdracht 4.2

In afbeelding 38 is goed te zien dat de valversnelling groter is in het Noorden. Leg in je eigen woorden uit hoe dit komt. Verder is onder andere in Gelderland (Hoge Veluwe) een sterkere afname te zien dan je verwacht op basis van de breedtegraad. Verklaar dit gedrag.

In afbeelding 39 is te zien hoe het zwaartekrachtsveld van de aarde varieert op verschillende plekken ten opzichte van een ideale bolvormige aarde. Hierbij is al gecorrigeerd voor de draaiing van de aarde en de resulterende verandering van de valversnelling met de breedtegraad. Hierdoor zijn de effecten van de topografie en de interne massaverdeling van de aarde zichtbaar. Er is bijvoorbeeld goed te zien dat het ijs op Groenland lokaal de zwaartekracht doet toenemen, net als het Andesgebergte.



Afbeelding 39 Kaart van de aarde waarbij verschillen in valversnelling zijn uitvergroot (gecorrigeerd voor het effect van de afplatting van de aarde). Eenheid milligal staat voor een versnelling van 10^{-3} cm/s^2 Bron: Wikipedia

Opdracht 4.3

Door de opwarming van de aarde smelt ijs van Groenland af en stroomt in de oceaan. Beredeneer wat er met het waterpeil in de buurt van Groenland gebeurt ten gevolge van deze afsmelting.

Opdracht 4.4

Ga zelf op zoek naar een NAP-peilmerk. Dit is meestal een metalen bout die ergens in een muur geslagen is en de hoogte van dat punt ten opzichte van NAP aangeeft. Er zijn er maar liefst ongeveer 35.000 verspreid over Nederland, dus ook bij jou in de buurt.

a *Ga als volgt te werk:*

Ga naar <http://pdokviewer.pdok.nl/>

Open in Lagen de map 'NAPinfo' en selecteer 'NAP-peilmerken [wms]'.

<http://nationaalgeoregister.nl/geonetwork/srv/dut/searchhttp://geodata.nationaalgeoregister.nl/napinfo/wms>

b *Kies een NAP peilmerk in de buurt van jouw huis. Klik het informatie-icoon aan (blauwe cirkel met een i) en bekijk de gegevens van het peilmerk. Noteer de NAP-hoogte en de hoogte van het peilmerk ten opzichte van de straat (Y_muur_cm). Wat is de NAP-hoogte van de straat? Vergelijk deze waarde vervolgens met de website uit opdracht 4.1.*

c *Zoek buiten schooltijd een peilmerk. Maak er een foto van.*



Zwaartekrachtsmetingen: van grond naar GRACE

De zwaartekracht van de aarde kan op verschillende plekken gemeten worden door een voorwerp te laten vallen en precies te meten hoe lang het erover doet om een bepaalde afstand af te leggen. Dit is vaak niet zo praktisch om uit te voeren. Op zee was het zelfs bijna onmogelijk zonder een speciaal apparaat (zie kader). Een satelliet biedt hier uitkomst: die heeft een veel groter bereik doordat die over de hele aarde vliegt.

Opdracht 4.5

Bedenk in tweetallen of je met één satelliet de valversnelling zou kunnen meten.

Waarom wel/niet? Wat gebeurt er met een satelliet als het zwaartekrachtsveld verandert?

Er zijn sinds het begin van deze eeuw satellieten gelanceerd die nauwkeuriger dan ooit het zwaartekrachtsveld van de aarde meten. GRACE was daarvan in 2002 de eerste. Deze missie bestaat uit twee satellieten die achter elkaar aan vliegen op ongeveer 220 km afstand. Met een microgolfverbinding wordt heel nauwkeurig de posities van de satellieten evenals de afstand tot elkaar in de gaten gehouden, tot op wel 10 micrometer nauwkeurig! Als de voorste satelliet over een berg vliegt, wordt deze door de extra zwaartekracht iets naar voren getrokken en neemt de afstand tot de achterste satelliet toe. Zodra de achterste satelliet over dezelfde berg vliegt gebeurt hetzelfde en neemt de afstand dus weer af. Dit komt doordat de zwaartekracht van de berg ontbonden kan worden in een horizontale en een verticale component. Als de satelliet nog niet bij de berg is ontstaat dus ook een horizontale en verticale versnelling. Als de voorste satelliet zich precies boven de berg bevindt heeft het zijn maximale snelheid bereikt, waarna deze weer afremt. De achterste satelliet is dan nog aan het versnellen, maar heeft nog een lagere snelheid. De afstand neemt dus nog steeds toe tussen de satellieten. Pas als de satellieten even ver van de berg afstaan zodanig dat de ene satelliet al gepasseerd is terwijl de andere nog langs moet komen zijn de snelheden gelijk. Vanaf dat moment zal de onderlinge afstand weer afnemen tot de oorspronkelijke waarde. Uit onder andere deze metingen wordt het mondiale zwaartekrachtsveld

berekend. Dit is te zien in afbeelding 41. Er is een directe link tussen de zwaartekracht en de geïde. Door over langere tijden te meten, krijgen wetenschappers bovendien ook informatie over veranderingen in massaverdeling (door de bewegingen van water bijvoorbeeld) door de tijd heen.

Felix Vening Meinesz (1887-1966)

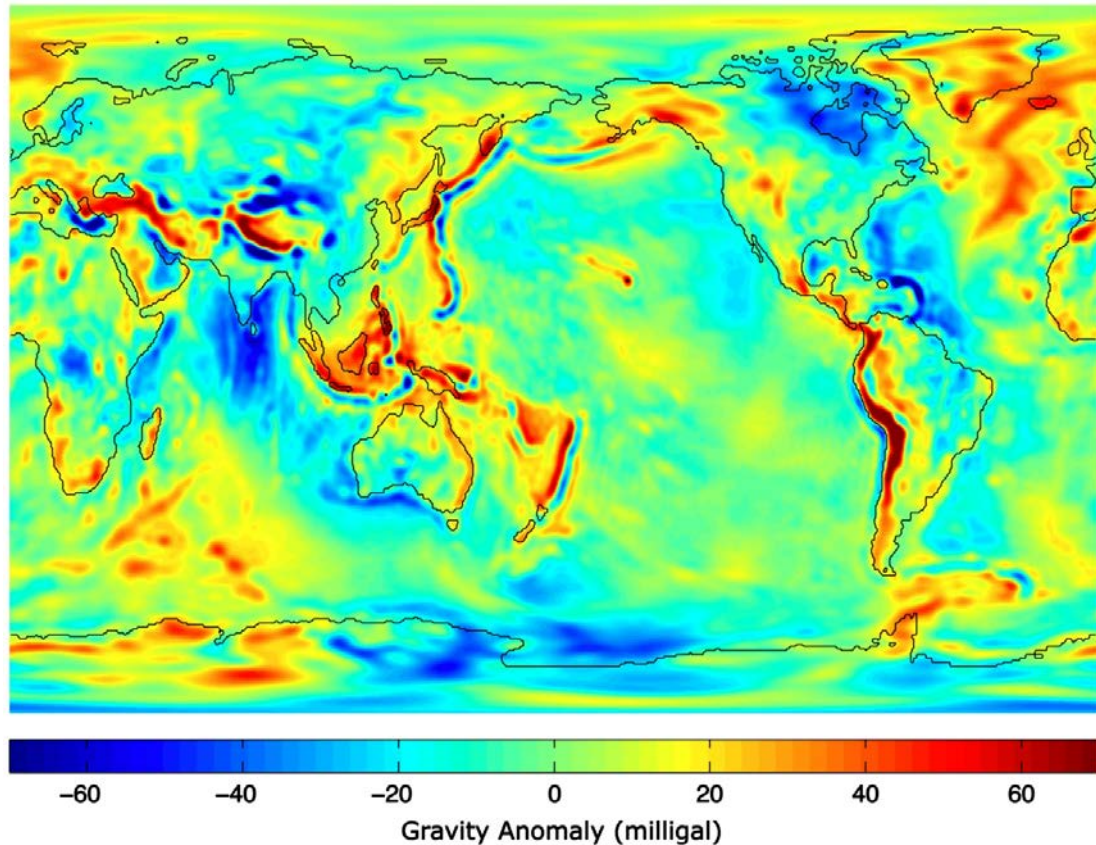


Afbeelding 40 **Felix Vening Meinesz**. Bron: <http://www.ontdekdenhelder.com/tag/felix-vening-meinesz/>

Felix Vening Meinesz was een Nederlandse geofysicus die belangrijke bijdragen heeft geleverd op het gebied van zwaartekrachtmetingen. Hij was de eerste die zwaartekrachtmetingen op zee kon verrichten met een redelijke nauwkeurigheid (zie ook <http://www.expeditiawikipedia.nl/>). Hij ontwierp een apparaat bestaande uit drie slingers. Met behulp van deze slingers en een lichtstraal kon hij het belangrijkste probleem van meten aan het zwaartekrachtsveld op zee compenseren: de beweging van de boot. Hij maakte verre reizen op zee met een onderzeeër en met zijn apparaat. In oceanische troggen ontdekte hij negatieve afwijkingen in het zwaartekrachtsveld en kon dit alleen verklaren door aan te nemen dat de aardkorst horizontaal samengedrukt wordt. Dit was nog voor er werd aangetoond dat plaattektoniek en de verschuiving van de continenten bestaan!

Opdracht 4.6

Bekijk afbeelding 41. Herken je op de wereldkaart bergketens of gebieden met bergen? Schrijf ze op.



Afbeelding 41 Afwijking van de zwaartekrachtsversnelling, gemeten in $\text{mGal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2$.

Gemiddelde van 4 jaar GRACE data over de periode 2003-2006 Bron: The University of Texas Center for Space Research (NASA/DLR Gravity Recovery And Climate Experiment)

Waarom is het doen van herhaalde zwaartekrachtsmetingen eigenlijk zo belangrijk? Hierdoor kom je te weten hoe massa verandert op het aardoppervlak. De grootste veranderingen in de massaverdeling vinden plaats door verplaatsend water of ijs, wat sterk door het klimaat beïnvloed wordt. Zo kunnen we met GRACE de afsmelting van ijs op Groenland en Antarctica vrij nauwkeurig in kaart brengen. Ook het leeglopen van waterbassins of grote ondergrondse wateropslagen kunnen we in kaart brengen met GRACE, mits de veranderingen voldoende groot zijn. Door een toenemende wereldbevolking neemt de druk op de watervoorziening toe en om deze geen gevaar te laten lopen is het belangrijk dit goed in de gaten te houden.

Opdracht 4.7

Bekijk de film over de werking van GRACE op

<https://www.youtube.com/watch?v=vfXXGYxEoM>. Leg uit hoe het GRACE experiment ijsafsmelting op Groenland kan meten. Wordt de maximale afstand tussen de satellieten groter of kleiner naarmate er meer ijs afsmelt?

Opdracht 4.8 NATUURKUNDE

Op het moment dat de voorste satelliet van GRACE precies boven een berg met massa m_b vliegt, heeft het zijn maximale snelheid v_1 bereikt. Dit komt doordat de component van de zwaartekracht van de berg dan recht naar beneden staat, dus geen versnelling in de horizontale richting meer geeft. Toen de satelliet nog niet bij de berg was, stond de extra zwaartekracht in dezelfde richting als de satelliet, dus heeft er een versnelling plaatsgevonden. Ervan uitgaande dat de achterste satelliet met snelheid v_2 de berg nog niet 'voelt' is het snelheidsverschil hier maximaal.

- a** Maak een schematische tekening van de situatie die hierboven beschreven staat. Teken hierin de vectoren van de zwaartekracht van de aarde en van de berg op de voorste satelliet.
We kunnen de massa van de berg bepalen door het verschil in snelheden te meten. Daarvoor gebruiken we een energiebalans. De potentiële energie van een satelliet ten gevolge van de aarde exclusief berg wordt gegeven door $E_{\text{pot}} = -GMm/R$. Hierin is M de massa en R de straal van de aarde, G de gravitatieconstante en m de massa van de satelliet.
- b** Welke vorm van energie hebben we nog meer? Stel de energie van beide satellieten op en stel deze aan elkaar gelijk. Houd daarbij rekening met het feit dat alleen de voorste satelliet de massa van de berg voelt.
- c** Reken uit wat de massa van de berg m_b is als $v_1 = 8 \text{ km/s} + 5 \text{ } \mu\text{m/s}$ en $v_2 = 8 \text{ km/s}$.
- d** De Groenlandse ijskap smelt volgens GRACE met ongeveer 367Gt (gigaton) per jaar. Reken uit hoeveel het maximale snelheidsverschil verandert tussen twee opeenvolgende jaren. Neem daarbij weer aan: $v_2 = 8 \text{ km/s}$.

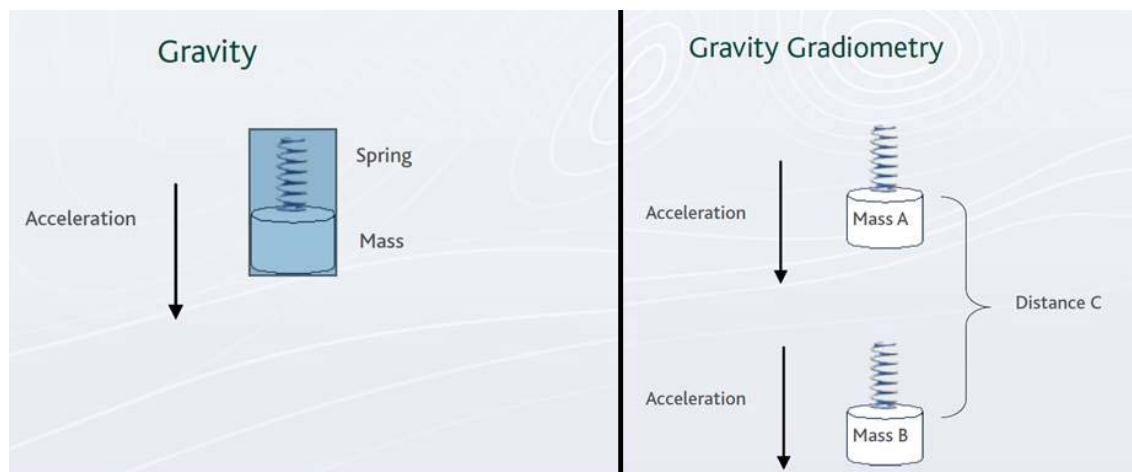


GOCE

GRACE is niet te enige missie die het zwaartekrachtsveld in kaart brengt. In 2009 werd GOCE door ESA gelanceerd. GOCE voerde net als GRACE metingen uit aan het zwaartekrachtsveld, maar met een andere methode. De metingen waren gericht op de versnelling (en niet de snelheid van de satelliet) ten gevolge van de variërende zwaartekracht. Dit principe wordt ook in bijvoorbeeld je telefoon gebruikt om een tekst leesbaar te houden als je het scherm draait. In GOCE werd dit gedaan met een drietal gradiometers. Een gradiometer kan je zien als een massa die in vrije val is, maar een klein beetje van positie verandert als het veranderingen in de valversnelling tegenkomt. Het meet de tweede afgeleide van de versnelling. Je kan bijvoorbeeld een massa aan een aantal veren ophangen, die precies in evenwicht hangen als het systeem in vrije val is. Dit geeft dus niet hetzelfde resultaat als dat deze opstelling op aarde stil zou staan. Daar zou de massa wel degelijk een uitwijking vertonen, die correspondeert met de lokale valversnelling. Door op twee plekken de versnelling te meten en te delen door hun onderlinge afstand wordt de gradiënt bepaald. Een schematische tekening van een gradiometer is te zien in afbeelding 43.



Afbeelding 42 De GOCE satelliet Bron: ESA



Afbeelding 43 Een zwaartekracht gradiometer Bron: www.findingpetroleum.com

Met deze methode is de hoogte van de geoïde tot op de centimeter te bepalen. Het grote voordeel van GOCE was dat alles aanwezig is in één enkele satelliet, in tegenstelling tot GRACE. De resolutie in de horizontale richting was wel 100 km, en om deze zo klein mogelijk te houden vloog de satelliet in een erg lage baan op 250 km hoogte. Op deze lage hoogte is nog een ijle atmosfeer van de aarde aanwezig. Dat geeft weerstand wat de satelliet vertraagt en zou laten dalen. Daarom beschikte GOCE over een ionenmotor bestaande uit xenongas waarvan de deeltjes met hoge snelheid worden uitgestoten. Dit genereert een continue lichte kracht van 1 tot 20 mN, zodanig dat de atmosferische weerstand precies wordt opgeheven. Het voordeel van een ionenmotor is dat deze trillingsvrij is, iets wat heel belangrijk is bij het gebruik van gradiometers. In 2013 was de brandstof voor de ionenmotor op, waardoor GOCE steeds lager zakte, totdat de satelliet in november 2013 in de atmosfeer verbrandde.



Afbeelding 44 Het einde van GOCE Bron: Bill Chater

Opdracht 4.9 NATUURKUNDE

GOCE vloog met 8 km/s boven het aardoppervlak. Alle moleculen uit de atmosfeer die tegen de wand van de satelliet botsen worden versneld tot deze snelheid. Om de hoeveelheid moleculen die per seconde versneld worden te bepalen moeten we weten wat het effectieve oppervlak van GOCE is. Dit is het geprojecteerde oppervlak aan de voorkant van de satelliet waar de moleculen tegen aan botsen. GOCE heeft een effectief oppervlak van 4 m^2 .

- a** Hoe groot is het volume dat GOCE elke seconde doorkruist?
- b** Druk de luchtmassa die elke seconde versneld wordt uit in de luchtdichtheid ρ en het eerder berekende volume.
- c** Er wordt door de satelliet een impuls p overgedragen aan de moleculen, gegeven door $p=mv$. De kracht op de raket is gelijk aan het impulsverlies per seconde. Hoe groot is de kracht op de raket, uitgedrukt in ρ ?
- d** De ionenmotor van GOCE levert een kracht tussen 1 en 20 mN. Hoe hoog mag de dichtheid van de lucht maximaal worden voordat de satelliet niet genoeg kracht kan leveren om de luchtweerstand te compenseren en uit de lucht valt?



Post-glaciale opheffing

Een van de geodynamische processen die invloed kan hebben op zeespiegel is post-glaciale opheffing.

Als je op een matras hebt gelegen en opstaat, zie je nog een afdruk in de vorm van je lichaam. Na een tijdje verdwijnt deze en gaat de matras weer terug naar zijn originele vorm. Deze analogie kunnen we gebruiken voor die delen van de aarde waar in de laatste ijstijd een dikke laag ijs met veel massa op lag. Toen het warmer werd en het ijs weg smolt, kwam de naar beneden gedrukte ondergrond omhoog. Dit gebeurt op twee tijdschalen. Ten eerste vindt een onmiddellijke elastische opheffing plaats door het verdwijnen van het ijs, net zoals je matras voor een groot gedeelte weer plat wordt nadat je opstaat. Om de aarde helemaal terug naar haar evenwichtspositie te brengen is een veel langere tijdsschaal nodig, en dat is wat we post-glaciale opheffing noemen. Dit proces is al 10.000 jaar bezig en zal nog wel evenzoveel tijd doorgaan. Het gebied ten zuiden van waar de ijskap heeft gelegen daalt daarentegen licht ten gevolge van de post-glaciale opheffing op hogere breedtegraden.

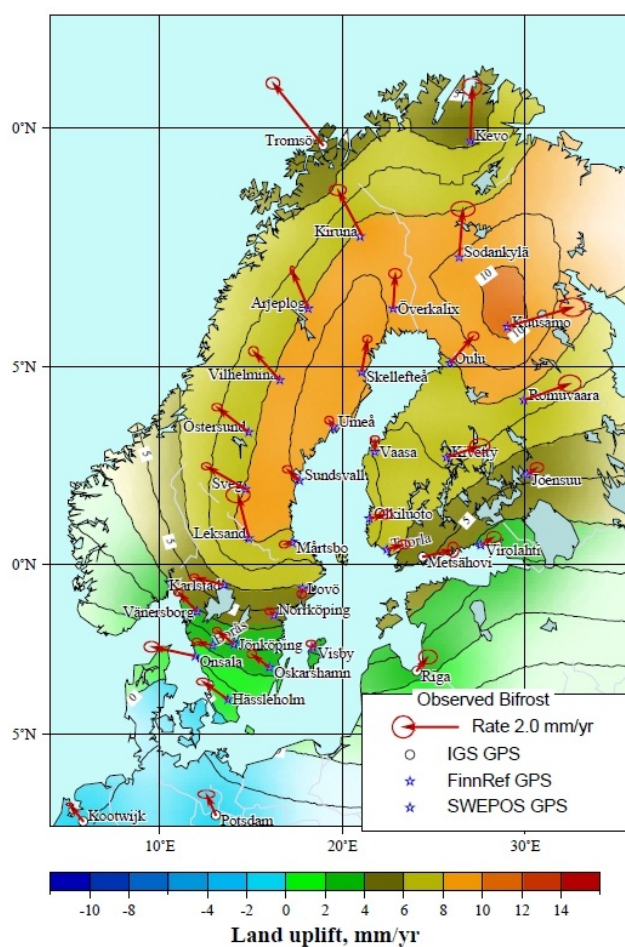
Zoals je je voor kunt stellen, kan het omhoog komen van landmassa's invloed hebben op het zeeniveau. Door informatie te verzamelen over de tijdsvariaties in het gravitatieveld van de aarde, helpen satellieten zoals GRACE en GOCE aardwetenschappers beter inzicht te krijgen in post-glaciale opheffing, en andere geodynamische processen.



Altimetrie

Satellieten kunnen ook heel precies de hoogte van de zeespiegel meten, door gebruik te maken van altimetrie. Deze satellieten gebruiken onder andere radar om precies te timen wanneer een signaal terugkeert. Hieruit is de hoogte te bepalen. Dit is van belang om bijvoorbeeld dikte van ijskappen te meten, of veranderingen van zeespiegelniveau.

Een probleem voor de interpretatie van satellietmetingen die hoogtemetingen verrichten boven Groenland is de eerder genoemde elastische opheffing. Hoewel ijs op Groenland afsmelt wordt de hoogtedaling deels of helemaal teniet gedaan door een stijgende ondergrond. Een combinatie van altimetrie satellieten (die naar hoogteverschillen kijken) en zwaartekrachtmetingen door GRACE en GOCE (die naar massaveranderingen kijken) geven inzicht in de groei of afsmelting van het ijs.



Afbeelding 45 Post-glaciale opheffing in Scandinavië Bron: geocaching.com

Opdracht 4.10

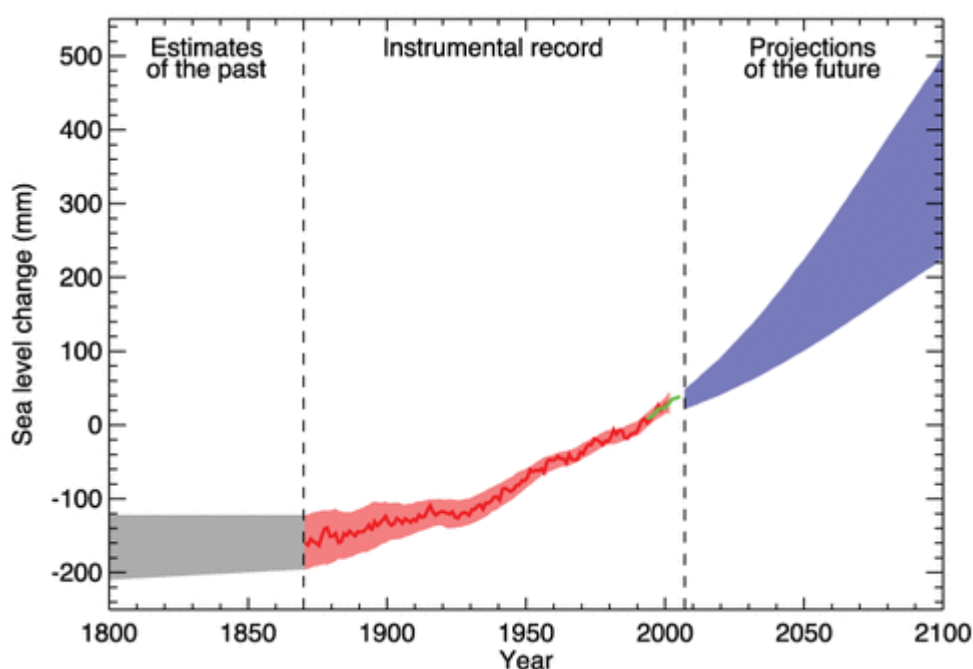
Zoek op wat het effect van post-glaciale opheffing in Nederland is.



Zeespiegelstijging

Een van de belangrijkste redenen om via satellieten al deze informatie te verzamelen is om informatie te verkrijgen over variaties in de zeespiegel, en proberen te begrijpen welk invloed klimaatverandering op de zeespiegel zal hebben.

Zeespiegelstijging is niet alleen een probleem voor de toekomst, de zeespiegel is nu al aan het stijgen door het smelten van de poolkappen. In afbeelding 46 zie je hoe snel dit gebeurt. De zeespiegel stijgt niet alleen door afsmeltende ijskappen, maar ook doordat water uitzet als het warmer wordt. Bij 4 graden Celsius heeft water zijn hoogste dichtheid. Het meeste water op aarde is warmer dan dat, dus zal door opwarming van de oceanen dit water uitzetten en de zeespiegel stijgen.



Afbeelding 46 Stijging van de zeespiegel in het verleden en voorspellingen voor de toekomst. De korte groene lijn is data verkregen via altimetrie Bron: IPCC Climate change science

Hoe meten we de zeespiegelstijging met satellieten? Hiervoor wordt altimetrie gebruikt. Dit houdt in dat met een radarpuls precies de tijd gemeten wordt dat deze onderweg is. Hieruit is de hoogte te bepalen, mits je precies weet hoe hoog je satelliet vliegt. Jason en Sentinel-3 zijn voorbeelden van satellieten die hier geschikt voor zijn. Een ander voorbeeld is Cryosat en die meet ook heel precies de hoogte van ijsplateaus.

Opdracht 4.11

De uitzettingscoëfficiënt van water is $\gamma = 2.1 \cdot 10^{-4}$, welke gedefinieerd is door de volgende formule: $\gamma = 1/V \cdot dV/dT$. Hierbij is dV/dT de afgeleide van het volume naar de temperatuur.

- a** Bedenk wat deze formule betekent voor een verandering van het volume ten gevolge van een verandering van de temperatuur.
- b** Bereken hoeveel de zeespiegel stijgt als de oceanen 1 graad opwarmen. Neem daarbij aan dat de oceanen gemiddeld 3688 meter diep zijn.

Opdracht 4.12

- a** Ga naar <http://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/ocean-indicators-products/mean-sea-level.html> en lees de tekst aandachtig door (in het Engels).
- b** Download de data bij de eerste grafiek in Ascii (txt) en bepaal zelf de gemiddelde stijging per jaar over het hele interval en controleer of de genoemde waarde correct is.
- c** Breek nu het interval op in periodes van 5 jaar. Bereken opnieuw de gemiddelde stijging per jaar voor de intervallen startend in 1993, 1999, 2005 en 2011.
- d** Neem aan dat de snelheid van zeespiegelstijging lineair toeneemt. Wat voor soort functie beschrijft de zeespiegel als functie van de tijd in ons model? Schat met behulp van je antwoord bij c af hoe groot de snelheidstoename per jaar is en bereken hiermee hoe hoog de zeespiegel zal zijn in 2100.
- e** Bedenk waarom de zeespiegel niet overal even hard stijgt zoals te zien in de onderste afbeelding.

Alles kun je downloaden via

<http://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/ocean-indicators-products/mean-sea-level.html>



Zeespiegelstijging en dijken

Hoe bepalen beleidsmakers eigenlijk hoe hoog de Nederlandse dijken moeten zijn? Na de watersnoodramp in 1953 was duidelijk dat er een integraal plan moest worden opgesteld om verdere rampen te voorkomen. Dit werd de deltawet. Hierin werd onder andere vastgesteld dat het risico op een dijkdoorbraak voor de provincies Noord- en Zuid Holland eens in de 10000 jaar moest zijn. Daartoe werd de dijkhoogte vastgesteld door het waterpeil tijdens een stormvloed te bepalen en de golfhoogte (golfopslag) daar bij op te tellen. Daarbij wordt vaak uitgegaan dat 2% van de golven hoger mag zijn. Op deze manier slaat er een zeer beperkte hoeveelheid water over de dijk. Als de achterkant van een dijk te steil afloopt kan dit overslaande water de dijk verzwakken. Daarom zijn Nederlandse dijken tegenwoordig vaak verbreed met een flauwere helling aan de binnenkant.

Opdracht 4.13

- a** Zoek op internet op hoe hoog verschillende dijken zijn t.o.v. NAP om aan de eisen geschetst in bovenstaande tekst te voldoen. Waarom gelden er andere eisen in andere provincies? <https://data.overheid.nl/dataverzoeken/mega-storm-nederland> vormt een goed uitgangspunt.
- b** Zoek op wat de invloed van verschillende ondergronden (veen, zand, ...) is op de stevigheid van een dijk.

Opdracht 4.14

Bekijk actuele waterstanden op:

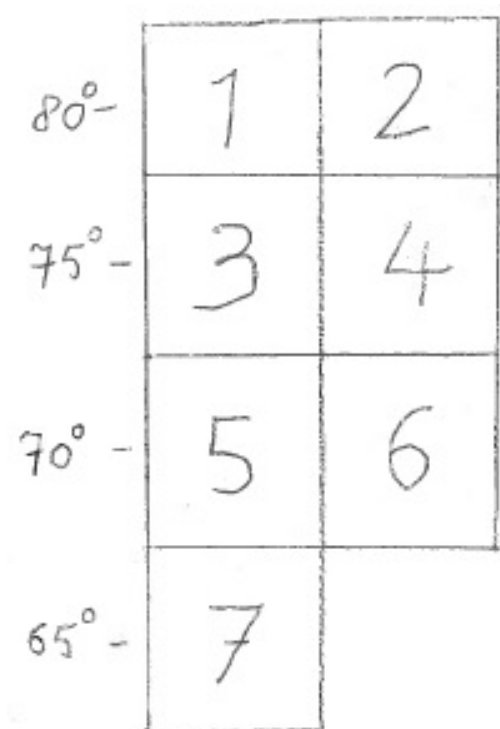
<http://demo-geoservices.rijkswaterstaat.nl/applicaties/getij/>

Hierin is het astronomisch getij te zien op verschillende plekken in Nederland.

- a** Bekijk deze voor Den Helder en bekijk de grafiek op opeenvolgende dagen. Waarom verschuift het tijdstip van vloed elke dag? Waarom varieert de hoogte van vloed? Op wat voor soort dagen is er sprake van springtij en wanneer doodtij.
- b** Bekijk nu de waterstanden op Cadzand aan de kust tegen België aan. Verklaar de verschillen met Den Helder.

Opdracht 4.15

In deze opdracht maak je zelf een simpel model van ijsafsmelting op Groenland. Hiervoor bestaan ingewikkelde computersimulaties waarbij Groenland in hokjes opgedeeld wordt. Wij zullen heel grof blijven en slechts 7 vierkante hokjes gebruiken, zoals te zien in afbeelding 47. In deze afbeelding staat ook aangegeven wat de breedtegraad van het midden van elk hokje is.



Afbeelding 47 Ons hokjesmodel van Groenland Bron: TU Delft

- a** Wat is de oppervlakte van elk hokje?
- b** Ten noorden van de poolcirkel komt de zon in de zomer nooit onder de horizon. Leg uit waardoor dit komt.
- c** We nemen aan dat de zomer 4 maanden duurt en dat de gemiddelde hoek die de zon maakt met de horizon 20° is op 80° NB, en 2° toeneemt voor elke 5° die je naar het Zuiden beweegt (niet per se realistisch, maar voor onze berekening handig). Het zonlicht dat de aarde bereikt straalt met een vermogen van $186,3 \text{ W/m}^2$. Dit is echter het vermogen als de zon recht van boven schijnt. Gebruik je kennis over goniometrie om te bepalen wat het echte vermogen per vierkante meter is dat hokje 1 ontvangt.

- d** Het ijs op Groenland is wit, en een wit oppervlak reflecteert goed. Dit drukken we uit in albedo met symbool A . Dit is de fractie van de energie die gereflecteerd wordt en dus niet wordt opgenomen door het ijs in de vorm van warmte. Voor ijs geldt: $A=0.86$. Schrijf op hoeveel vermogen er daadwerkelijk wordt opgenomen door het ijs in het hele hokje 1.
- e** Wat is de jaarlijkse energie-opname van hokje 1?
- f** Deze energie wordt gebruikt om ijs van $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ naar water van $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ om te zetten. De energie die hiervoor nodig is wordt ook wel latente warmte genoemd. Voor water geldt dat er 334 kJ/kg nodig is om deze faseverandering te doorlopen. Reken uit hoeveel ijsmassa er jaarlijks in hokje 1 afsmelt.
- g** Naast deze bron van afsmelting vindt ook ijsafkalving plaats: het verdwijnen van ijs in zee aan de randen van het eiland. Nu maakt het dus uit wat de lengte van een hokje is dat aan zee grenst en niet alleen de breedtegraad. De jaarlijkse ijsafkalving is 46.5 Mt (megaton) per km per jaar. Bereken de totale ijsafkalving voor hokje 1.
- h** Naast deze bronnen van ijsverlies, wordt er ook nieuw ijs gevormd doordat neerslag in vaste vorm op Groenland valt. Stel dat in hokje 1 30 gram neerslag per vierkante centimeter per jaar valt. Bereken de totale netto verandering aan ijsmassa voor dit hokje.

5 Eigen onderzoek

De afgelopen weken heb je kennisgemaakt met een breed scala aan toepassingen van satellieten om allerlei veranderingen op aarde te observeren. In dit onderdeel ga je zelf op onderzoek uit. Aan de hand van satellietdata en andere informatie probeer je een antwoord te vinden op een onderzoeksvraag.

Er zijn verschillende thema's:

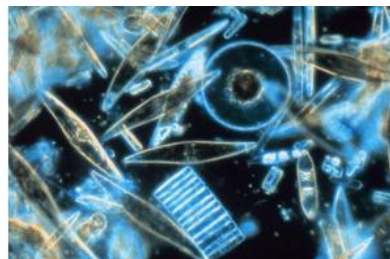
- 1 UV-straling, verbranding en vitamine D



- 2 Luchtkwaliteit en onze gezondheid



- 3 De rol van plankton in voedselweb en klimaat



Lees van elke opdracht de inleiding en de mogelijke onderzoeksvragen. Kies daarna het onderwerp waarin je je wilt verdiepen. Je schrijft een verslag van je onderzoek. Tot slot presenteer je je bevindingen aan de rest van de klas.



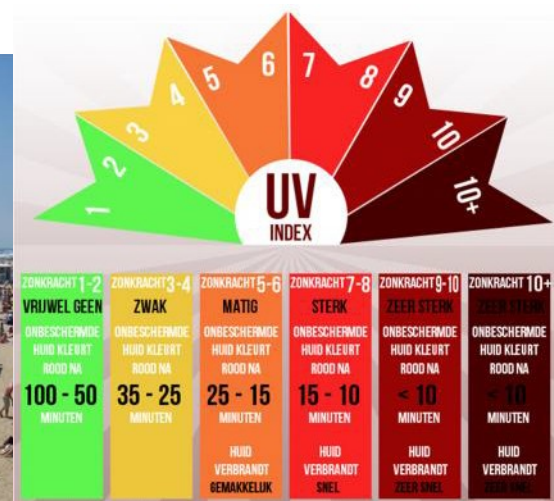
Onderzoeksopdracht 1

UV-straling, verbranding en vitamine D

Inleiding

Als de zon schijnt en je veel buiten bent, is het verstandig je in te smeren met zonnebrandcrème. Te lange blootstelling aan UV-licht leidt tot verbranding van de huid. Wat je niet direct ziet, is dat UV-licht ook zorgt voor DNA-schade. UV-licht is echter ook essentieel voor de productie van vitamine D in onze huid. Vitamine D speelt een belangrijke rol in het lichaam, onder andere bij de calciumstofwisseling.

Eerder in deze NLT-module heb je geleerd hoe satellieten licht van verschillende golflengtes gebruiken om data te verzamelen. Een van de toepassingen van satellieten die in de module kort aan bod is gekomen, is het bepalen van de UV-index en de UV-dosis. De UV-index, of zonkracht, is ontwikkeld als maat van de hoeveelheid UV-straling die het oppervlak van de aarde bereikt. Daarmee is het ook een maat voor hoe lang je onbeschermd in de zon kan zitten zonder te verbranden. De zonkracht wordt dan ook vaak bij weerberichten genoemd. In dit eigen onderzoek gebruik je onder andere het databestand van TEMIS om zelf onderzoek te doen naar UV-licht.



Afbeelding 48 Zonnebaden op het strand Bron: publicdomainpictures.net en de zonkrachtschaal van het KNMI Bron: KNMI samen met KWF Kankerbestrijding

Mogelijke onderzoeksvragen

Hieronder staan een aantal kaders waarbinnen je zelf een onderzoeksvraag kunt opstellen. Verdiep je eerst in de literatuur en bedenk vervolgens een vraag die je aan de hand van satellietdata kunt beantwoorden.

1 Actiespectra

Om de UV-index vast te stellen, wordt een actiespectrum gebruikt.

Doe een literatuuronderzoek naar hoe dit actiespectrum (of weegfactor) voor DNA-schade wordt bepaald. Vergelijk deze bijvoorbeeld met het actiespectrum voor de productie van vitamine D. Wat zijn de voordelen en beperkingen van het gebruik van actiespectra?

Doe vervolgens een literatuuronderzoek naar het belang van vitamine-D voor de gezondheid. Gebruik je bevindingen, samen met data van de TEMIS-database, om een advies te schrijven.

2 UV-straling en vitamine D

Het menselijk lichaam heeft vitamine D nodig om goed te functioneren. Je kunt verschillende aspecten hiervan onderzoeken.

Begin bijvoorbeeld met een literatuuronderzoek naar de relatie tussen UV-straling en vitamine D- productie in de huid. Onderzoek daarna met behulp van de beschikbare data de periodieke variatie in *vitamine-D UV dose* in Nederland. Hoe verhoudt deze zich tot de periodieke variatie in andere landen? Vergelijk daarbij ook de *vitamine-D UV dose* in Nederland in de zomermaanden voor een aantal jaren. Is er verschil? Is dit verschil te verklaren?

3 Zonnebrandcrème en UV-straling

Onderzoek de werkzame stoffen in zonnebrandcrème. Hoe houden ze UV-straling tegen? Analyseer een figuur van *UV-dose* van de TEMIS database. Verklaar de schalen en eenheden die gebruikt worden.

Schrijf op basis van je onderzoek en data een advies voor de bevolking over gebruik van zonnebrandcrème.

Uitvoering

Onder het kopje *Data* worden links naar databases gegeven die je kunt gebruiken voor je onderzoek. Een goed startpunt is om een figuur van UV-dosis van de TEMIS database te analyseren. Verklaar de schalen en eenheden die gebruikt worden. Als je goed begrijpt wat er in figuren wordt weergegeven, en wat je in de database kunt vinden, kun je met een uitgebreider onderzoek verder gaan.

Voer het onderzoek uit nadat je een onderzoeksvraag, hypothese en methode hebt geformuleerd. Leg je plan aan de docent voor. Bespreek ook op welke momenten je de voortgang van je onderzoek met hem of haar wilt doornemen.

Maak in je onderzoek gebruik van satellietdata en laat zien hoe je dat hebt gedaan. Schrijf een verslag over je werkwijze en resultaten. Tot slot geef je een presentatie over je eigen onderzoek aan je klasgenoten.

Data

In de TEMIS database (<http://www.temis.nl/index.php>), vind je verschillende data over UV-straling. Bekijk om te beginnen de volgende databronnen:

- *Clear-sky UV index*: een maat voor de hoeveelheid UV-straling, uitgaand van een onbewolkte lucht, op het moment dat de zon op het hoogst staat in de hemel.
- *Daily UV dose* (Meteosat 8, 9): dit is de dagelijkse hoeveelheid UV-straling (in kJ/m²) tussen zonsopkomst en zonsondergang, gecorrigeerd voor de bewolking op elk moment. Informatie over de bewolking is verkregen van de Meteosat-satellieten. Van deze data zijn drie varianten beschikbaar:
 - Erythemal: gerelateerd aan de capaciteit om tot verbranding van de huid te leiden (zie extra informatie).
 - DNA-damage: gerelateerd aan de hoeveelheid DNA-schade dat het kan veroorzaken
 - Vitamin-D: gerelateerd aan de capaciteit om bij te dragen aan de vitamine-D productie in de huid.
- *Daily UV dose (cloud free)*: de dagelijkse hoeveelheid UV straling (in kJ/m²) tussen zonsopkomst en zonsondergang, ervan uitgaande dat de lucht onbewolkt is. Deze data is beschikbaar in dezelfde drie varianten.

UV radiation monitoring archive

Archives of the UV radiation monitoring products from MSR (Multi-Sensor Reanalysis), SCIAMACHY/GOME-2 and GOME

MSR2:

product	action spectrum	
	Erythemal	
Clear-sky UV index daily data: World	Nov. 1978 -- Dec. 2012	

SCIAMACHY/GOME-2:

product	action spectrum		
	Erythemal	DNA-damage	Vitamin-D
Clear-sky UV index daily data: World	Jul. 2002 -- Today		
Daily UV dose (Meteosat 8,9) daily data: Europe	Jul. 2005 -- Today	Jul. 2005 -- Today	Jul. 2005 -- Today
Daily UV dose (Meteosat 7) daily data: Europe	Jan. 2004 -- Jun. 2006		
Daily UV dose (cloud free)			

Afbeelding 49 TEMIS webpagina over UV-straling Bron: TEMIS

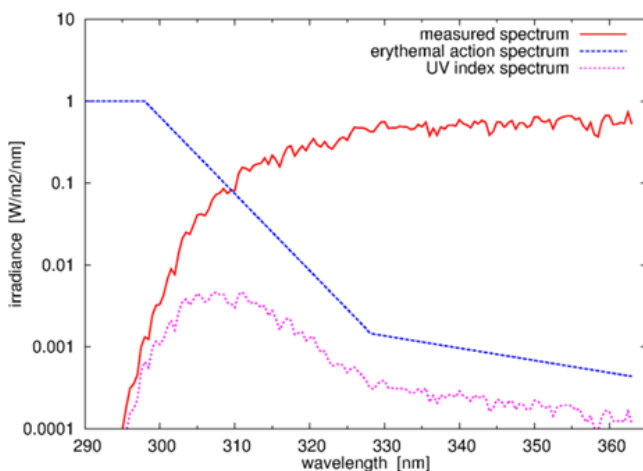
Aanvullende informatie

Hieronder worden een aantal termen verklaard die in de database gebruikt worden.

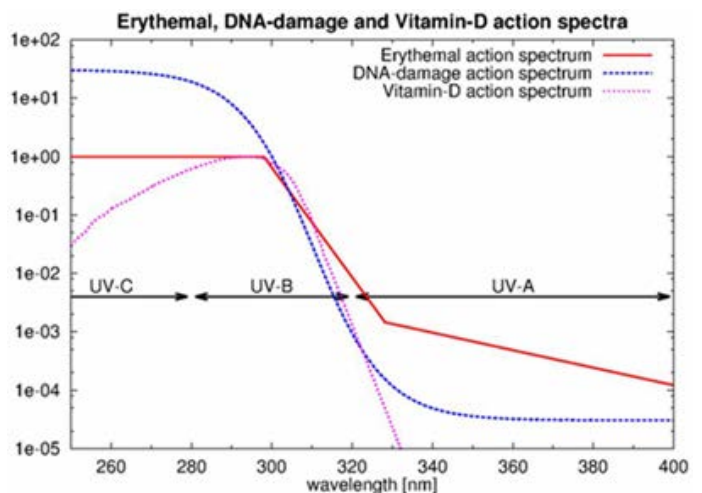
'Erythema' is afgeleid van 'erytheem', het medische woord voor verbranding van de huid door UV-licht. Erythema UV is de hoeveelheid UV-straling vermenigvuldigd met een weegfactor als functie van de golflengte, ook wel actiespectrum genoemd. Dit is omdat niet alle golflengtes even sterk tot verbranding leiden. Hieruit komt een waarde die gecorreleerd is aan hoe lang je in de zon kunt zitten voordat je verbrandt. Meer uitleg hierover:

- https://en.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet_index
- <http://www.temis.nl/uvradiation/info/uvindex.html>
- <https://nl.wikipedia.org/wiki/Zonkracht>
- <https://www.kwf.nl/SiteCollectionDocuments/Rapport-De-relatie-tussen-kanker-zonnestraling-en-vitamineD.pdf>

Een voorbeeld van een actiespectrum zie je in afbeelding 50. Ook voor het vaststellen van DNA-*damage* en vitamine-D, wordt er gebruik gemaakt van een wegingsfactor afhankelijk van de golflengte, oftewel een actiespectrum (zie afbeelding 51).



Afbeelding 50 UV index spectrum op basis van het erythema actiespectrum en een spectrum gemeten in De Bilt op 15 juni 2015. De UV-index is het oppervlak onder de curve van het UV-index spectrum. In dit voorbeeld is de UV index 6.202 (= 0.155 W/m².) Bron: KNMI



Afbeelding 51 Drie actiespectra Bron: KNMI



Onderzoeksopdracht 2

Luchtkwaliteit en onze gezondheid

Inleiding

Zoals je eerder in de module hebt kunnen lezen, worden satellieten gebruikt om op wereldschaal de luchtkwaliteit te meten. Zowel de concentratie stikstofdioxide (NO_2) als de hoeveelheid aerosolen in de lucht worden gebruikt om de mate van luchtvervuiling te bepalen. Stikstofdioxide is een gas dat ontstaat bij allerlei verbrandingsprocessen en aerosolen zijn deeltjes die in vaste of vloeibare vorm in de lucht zweven. Aerosolen kunnen ontstaan uit zowel natuurlijke bronnen, zoals zand, zeezout en vulkaanas, als door menselijke activiteiten, zoals roet en rook uit verbranding van biomassa. Zowel stikstofdioxide als aerosolen hebben effect op de gezondheid en op het klimaat. In deze opdracht onderzoek je de relatie tussen de luchtkwaliteit, gezondheid en het klimaat aan de hand van literatuur en satellietdata.



Afbeelding 52 Smog in New York City in 1978 Bron: Wikipedia

Mogelijke onderzoeksvragen

Hieronder staan een aantal kaders waarbinnen je zelf een onderzoeksvraag kunt opstellen. Verdiep je eerst in de literatuur en bedenk vervolgens een vraag die je aan de hand van satellietdata kunt beantwoorden.

- Aerosolen kunnen op lokaal niveau de temperatuur, bewolking en de hoeveelheid neerslag beïnvloeden. Andersom heeft het lokale klimaat ook invloed op de hoeveelheid aerosolen. Over het netto-effect van aerosolen bestaat nog discussie. Sommige wetenschappers beweren dat alle aerosolen bij elkaar het broeikaseffect verkleinen. Doe een literatuuronderzoek naar het effect van aerosolen op het klimaat en vice versa. Ga hierbij in op zowel de directe als indirecte effecten. Onderzoek of je deze effecten ook terug kunt zien in de satellietdata. Beargumenteer of je ervoor zou kiezen om de hoeveelheid aerosolen NIET terug te dringen als dit het broeikaseffect zou kunnen compenseren.
- Aerosolen en stikstofdioxide zijn niet met het blote oog zichtbaar, maar je kunt ze in de lucht waarnemen als nevel of smog. Deze nevel wordt door mensen ingeademd en kan schadelijk zijn voor de gezondheid. Doe een literatuuronderzoek naar het effect van stikstofdioxide en aerosolen op de gezondheid van de mens. Onderzoek of deze effecten ook terug te zien zijn in de satellietdata en in de statistieken van de Wereldgezondheidsorganisatie (www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/estimates_country/en/). Kies een stad in de wereld uit en schrijf een advies voor het stadsbestuur op welke manieren zij haar inwoners kan beschermen tegen luchtvervuiling.
- Nederland is één van de landen met de hoogste concentratie stikstofdioxide in de atmosfeer. Omdat stikstofdioxide schadelijk is voor de gezondheid, heeft de overheid de afgelopen jaren maatregelen genomen om de hoeveelheid luchtvervuiling terug te dringen. Doe een literatuuronderzoek naar de manieren waarop Nederland in de afgelopen jaren heeft geprobeerd de luchtkwaliteit te verbeteren. Onderzoek of de effecten van deze maatregelen ook zijn terug te zien in de satellietdata. Beargumenteer op basis van je onderzoek of je vindt dat Nederland genoeg doet aan het probleem van luchtvervuiling.

Uitvoering

Onder het kopje *Data* worden links naar databases gegeven die je kunt gebruiken voor je onderzoek. Voer het onderzoek uit nadat je een onderzoeksvraag, hypothese en methode hebt geformuleerd. Leg je plan aan de docent voor. Bespreek ook op welke momenten je de voortgang van je onderzoek met hem of haar wilt doornemen. Maak in je onderzoek gebruik van satellietdata en laat zien

hoe je dat hebt gedaan. Schrijf een verslag over je werkwijze en resultaten. Tot slot geef je een presentatie over je eigen onderzoek aan je klasgenoten.

Data

Bij deze opdracht ga je verschillende variabelen onderzoeken. Bekijk onderstaande links om te achterhalen hoe deze variabelen gemeten worden:

Aerosol index (UV aerosol index) Lees hier hoe de aerosol index wordt berekend: bit.ly/omi_aerosolindex. Positieve waarden van de aerosol index zijn een maat voor de hoeveelheid absorberende aerosolen. Dit zijn aerosolen die UV-straling absorberen in plaats van verstrooien. Negatieve waarden kunnen ook optreden, maar de interpretatie daarvan is complex en vergt externe informatie: het kan gaan om aerosolen die licht verstrooien, om wolken, maar ook om andere effecten. Daarom worden in de plots van de aerosol index negatieve waarden doorgaans niet weergegeven.

NO₂-concentratie Lees hier hoe de NO₂-concentratie in de atmosfeer wordt bepaald: <http://www.temis.nl/products/no2.html>. Let goed op het verschil tussen de 'total column' en 'tropospheric column'.

Bewolking (cloud properties) Lees hier over de verschillende eigenschappen die worden gemeten van wolken: <http://isccp.giss.nasa.gov/cloudtypes.html>. Andere variabelen van belang zijn regenval (precipitation) en temperatuur.

De data zelf zijn beschikbaar op de website van Giovanni: <http://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/>. Op deze site kun je kaartjes en grafieken maken van verschillende variabelen (zie afbeelding 53). Hiervoor moet je eerst een menu doorlopen:

1 Bovenaan de pagina kun je het type plot uitkiezen:

- *Maps*: een variabele weergegeven op een kaart (kies voor 'Time Averaged Map')
- *Comparisons*: twee variabelen tegen elkaar uitzetten op een kaart (kies voor 'Map, Correlation') of in een grafiek (kies voor 'Scatter, Area Averaged'). Een grafiek kan de correlatie duidelijk weergeven, maar deze correlatie kan verschillen tussen verschillende gebieden. Daarom is het nuttig om de correlatie ook op de kaart te bekijken.
- *Time Series*: de verandering in een variabele weergegeven over de tijd (kies voor 'Area Averaged').
- De opties voor 'Vertical' en 'Miscellaneous' zal je waarschijnlijk niet gebruiken.

EARTHDATA Data Discovery + DAACs + Community + Science Disciplines +

GIOVANNI The Bridge Between Data and Science v 4.17.2 [Release Notes](#) [Browser Compatibility](#) [Known Issues](#)

Select Plot

Maps: Time Averaged Map Comparisons: Select... Time Series: Select... Vertical: Select... Miscellaneous: Select...

Select Date Range (UTC)

YYYY-MM-DD HH:mm to YYYY-MM-DD HH:mm

2015 -01 -01 00:00 to 2015 -12 -31 23:59

Valid Range: 2004-10-01 to 2016-01-30

Select Region (Bounding Box or Shapefile)

Format: West, South, East, North

-180, -90, 180, 90 Show Map Show Shapes

Select Variables

Disciplines

Measurements

Number of matching Variables: 3 of 974 Total Variable(s) included in Plot: 1

Keyword: Search Clear

Variable Name	Source	Temp. Res.	Spat. Res.	Begin Date	End Date	Units	Ver
☒ UV Aerosol Index (OMTO3d v003)	OMI	Daily	1 °	2004-10-01	2016-01-30	-	
☐ UV Aerosol Index (TOMSEPL3 v008)	TOMS EP	Daily	1.0 x 1.25 °	1996-07-22	2005-12-31	-	
☐ UV Aerosol Index (TOMSNTL3 v008)	TOMS Nimbus-7	Daily	1.0 x 1.25 °	1978-11-01	1993-05-06	-	

Help Reset Feedback **Plot Data**

Afbeelding 53 Screenshot van Giovanni-website Bron: NASA

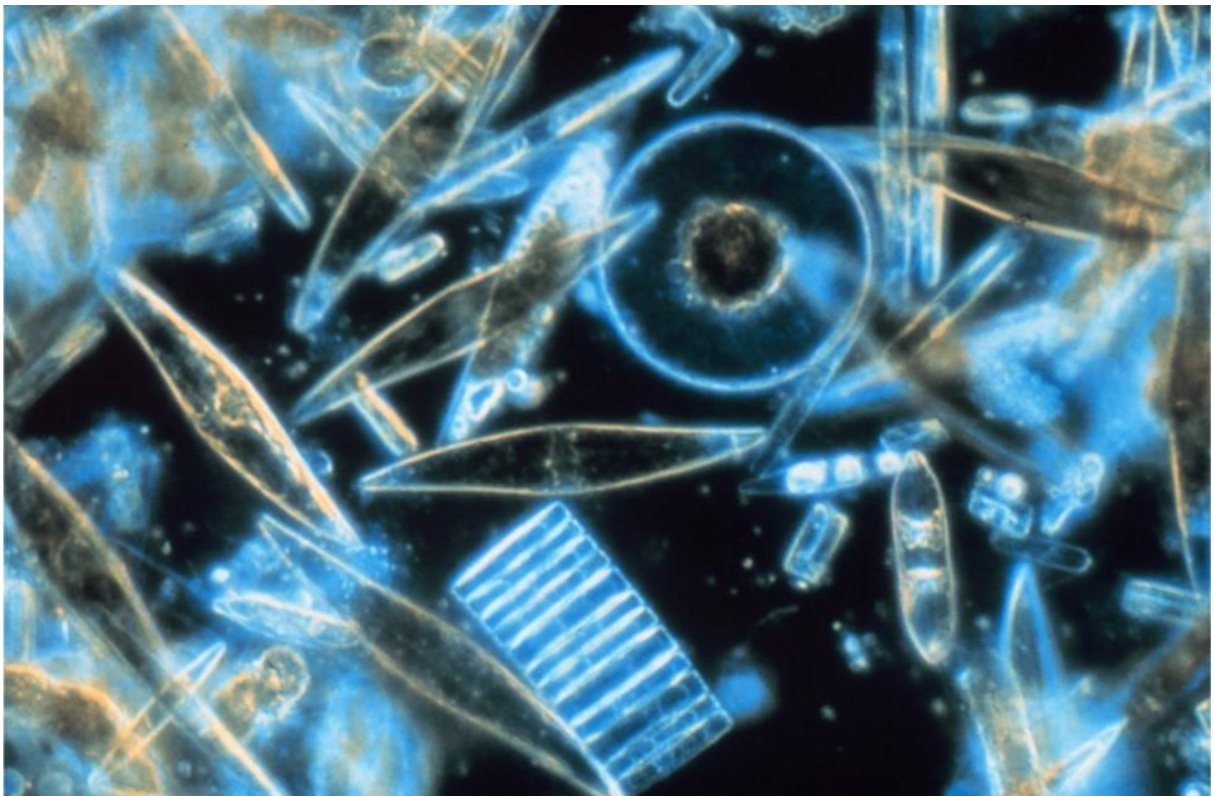
- Daaronder kun je de tijdspanne instellen en het gebied waarbinnen je data wil weergeven. Je kunt dit gebied zelf afbakenen (kies voor 'Show Map') of een vaste vorm instellen (bijvoorbeeld 'Netherlands', kies voor 'Show Shapes'). Bedenk je bij je keuze goed of je plot *Time Averaged* of *Area Averaged* is.
- In het linker menu kun je de variabelen instellen. Onder 'Measurements' kun je kiezen welke variabele(n) je wilt weergeven. Als je meerdere variabelen tegen elkaar uit wil zetten, let er dan op dat ze dezelfde tijdsschaal hebben (bijvoorbeeld 'Daily'). Giovanni zal je hier ook voor waarschuwen. Soms heb je voor één variabele meerdere opties. Kijk dan goed naar de tijdspanne van de metingen (*Begin Date* en *End Date*). In afbeelding 53 kun je zien dat er drie metingen zijn van de Aerosol Index, maar dat deze allemaal een andere tijdspanne hebben.
- Als je alles hebt ingesteld, kun je rechtsonder op de groene knop 'Plot Data' klikken. Je krijgt dan een nieuw scherm te zien (dit kan even duren) met je kaart of grafiek. Deze kaart of grafiek kun je vervolgens zelf downloaden en gebruiken voor je verslag.



Onderzoeksopdracht 3

De rol van plankton in voedselweb en klimaat

Fytoplankton bestaat uit microscopisch kleine plantaardige deeltjes die vrij in het water zweven. Net als planten gebruiken ze CO_2 en zonlicht voor fotosynthese. Om het zonlicht op te vangen gebruiken ze chlorofyl, een pigment dat alleen de groene straling reflecteert. Deze straling kan waargenomen worden door satellieten. Fytoplankton speelt niet alleen een belangrijke rol in het voedselweb van zeeën en oceanen, het heeft ook een grote invloed op het klimaat. Algen in de oceanen produceren wel 70% van de zuurstof in onze atmosfeer. In dit onderzoek ga je de relaties tussen fytoplankton, het voedselweb en het klimaat verder onderzoeken aan de hand van literatuur en satellietdata.



Afbeelding 54 Diatomeeën, eencellige wieren met een uitwendig kiezelskelet, onder de microscoop
Bron: Wikipedia

Mogelijke onderzoeksvragen

Hieronder staan een aantal kaders waarbinnen je zelf een onderzoeksvraag kunt opstellen. Verdiep je eerst in de literatuur en bedenk vervolgens een vraag die je aan de hand van satellietdata kunt beantwoorden.

- Plankton produceert niet alleen zuurstof waardoor wij op aarde kunnen leven, het neemt ook koolstofdioxide op uit de atmosfeer. Sommige wetenschappers stellen voor om de planktongroei in de oceanen kunstmatig te stimuleren om op die manier het versterkte broeikaseffect tegen te gaan. Doe een literatuuronderzoek naar de factoren die de groei van plankton beïnvloeden (zowel stimulerende als remmende factoren). Verklaar met behulp van deze informatie en satellietdata de verspreiding van plankton over de oceanen en de variatie van plankton over de seizoenen. Bedenk een methode om de groei van plankton kunstmatig te stimuleren en beargumenteer of je dit een goede manier vindt om het broeikaseffect tegen te gaan.
- Als primaire producent staat plankton aan het begin van de voedselketen. Alle dieren in de oceaan zijn dus direct of indirect afhankelijk van plankton. Eén van die dieren is de baleinwalvis. Deze walvis heeft geen tanden, maar lange harige borstels die 'baleinen' worden genoemd. In plaats van actief te jagen, neemt hij steeds een grote slok water en perst dit via zijn baleinen weer naar buiten, waarbij het voedsel in de haren blijft kleven. Onderzoek het verband tussen fytoplankton en de baleinwalvis aan de hand van een voedselweb. Breng de migratieroute van een baleinwalvis in kaart en onderzoek de relatie tussen deze route en de seizoensvariatie in fytoplankton aan de hand van satellietdata. Beredeneer aan de hand van je resultaten wat het effect is van grootschalige walvisjacht op fytoplankton.

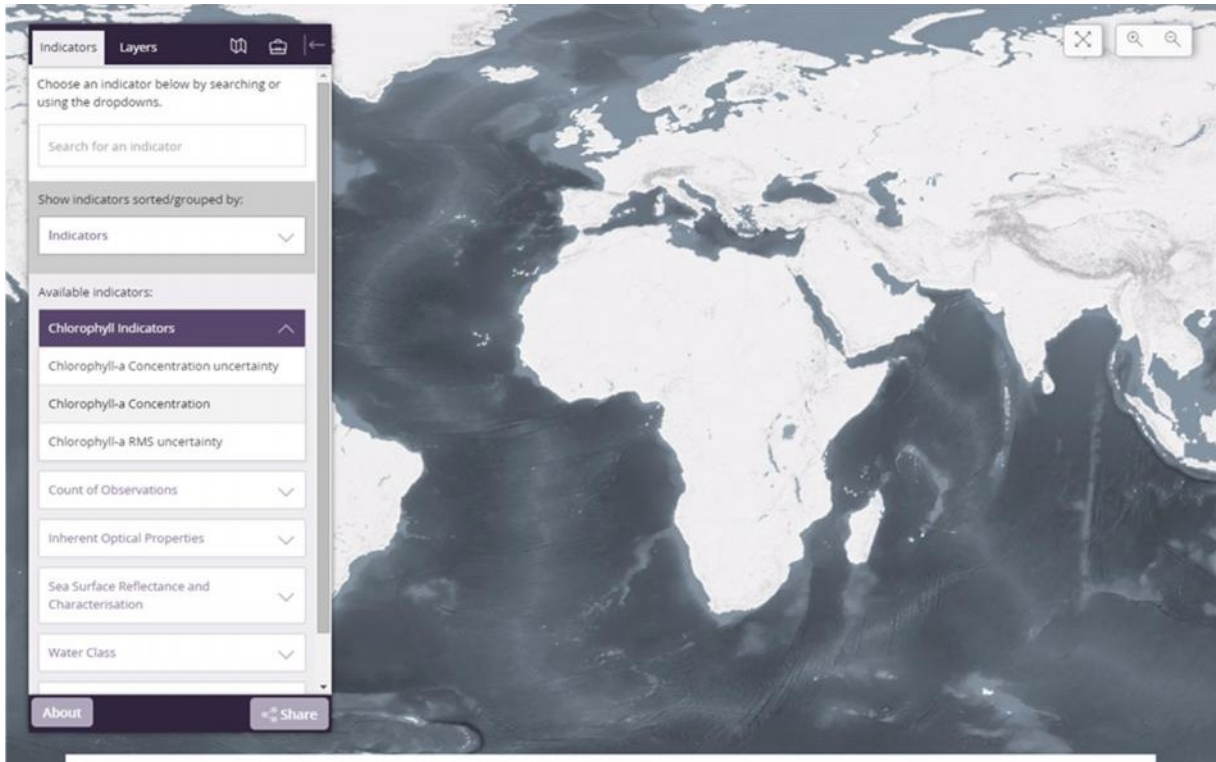
Uitvoering

Onder het kopje *Data* worden links naar databases gegeven die je kunt gebruiken voor je onderzoek. Voer het onderzoek uit nadat je een onderzoeksvraag, hypothese en methode hebt geformuleerd. Leg je plan aan de docent voor. Bespreek ook op welke momenten je de voortgang van je onderzoek met hem of haar wilt doornemen. Maak in je onderzoek gebruik van satellietdata en laat zien hoe je dat hebt gedaan. Schrijf een verslag over je werkwijze en resultaten. Tot slot geef je een presentatie over je eigen onderzoek aan je klasgenoten.

Data

De chlorofylldata zijn beschikbaar op de site van Ocean Colour:

<https://www.oceancolour.org/portal/>. Op deze website kun je kaartjes en grafieken maken van de veranderingen in de chlorofylconcentratie over de tijd (zie afbeelding 55). Hiervoor moet je eerst een kort menu doorlopen:

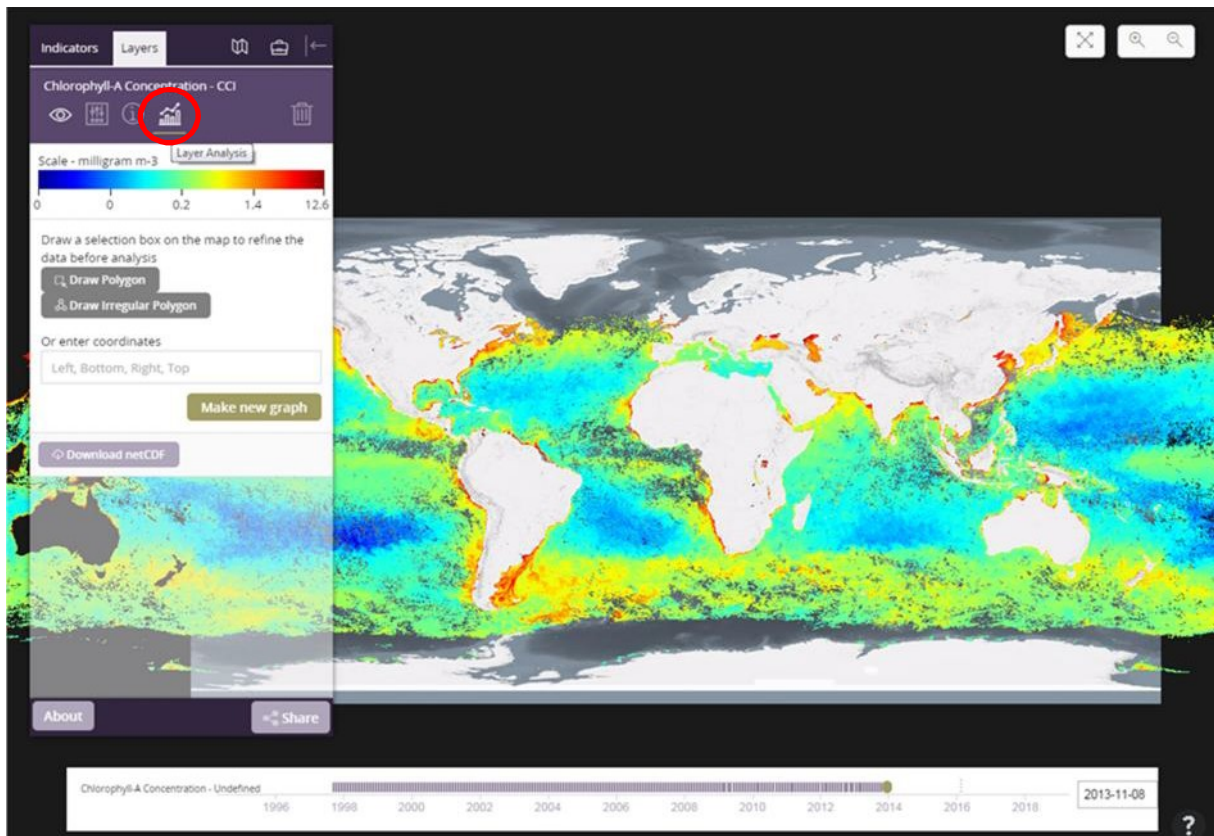


Afbeelding 52: screenshot van website Ocean Colour (Bron: Plymouth Marine Laboratory)

Afbeelding 55 Screenshot van website Ocean Colour Bron: Plymouth Marine Laboratory

- 1 Kies onder 'Available indicator' voor 'Chlorophyll Indicators' en klik op 'Chlorophyll-a Concentration'.
- 2 Je kunt nu een tijdsinterval kiezen (maandelijks of dagelijks) en een versie. Versie 1 loopt tot halverwege 2012 en versie 2 tot eind 2013.
- 3 De chlorofylldata worden nu weergegeven op de kaart (zie afbeelding 56). Via de tijdsbalk onderaan de pagina kun je de datum veranderen. Je kunt een afbeelding van de kaart maken door met je rechtermuisknop op de kaart te klikken en voor 'Afbeelding opslaan als...' te kiezen.
- 4 Naast afbeeldingen, kun je ook grafieken maken door in het linkermenu op 'Layer Analysis' (rood omcirkeld in afbeelding 56) te klikken. Via 'Draw Polygon' kun je in de kaart een gebied uitzetten waarvan je een grafiek wilt maken of je kunt zelf coördinaten invullen.

- 5 Vervolgens klik je op 'Make new graph'. Geef de grafiek een titel en kies voor het type 'Timeseries'. Geef aan voor welke periode je een tijdserie wilt maken en klik daarna op 'Create graph'.
- 6 Je kunt de grafiek nu openen door op 'open' te klikken. Er opent een nieuw scherm met de grafiek. Je kunt op stukken van de grafiek inzoomen door onderaan de pagina het gedeelte van de grafiek te selecteren dat je wilt laten zien. Je kunt de grafiek downloaden door rechts op 'Save & Download' te klikken (kies voor 'PNG').



Afbeelding 56 Screenshot van website Ocean Colour Bron: Plymouth Marine Laboratory



Presentatie onderzoeksopdracht

Je hebt de afgelopen weken een onderzoek uitgevoerd en daar een verslag van geschreven. Nu ga je je bevindingen delen met de rest van de klas. Je bereidt een eindpresentatie voor over je onderzoek. Maak een presentatie met PowerPoint, Prezi of een vergelijkbaar programma. De volgende zaken moeten in ieder geval aan bod komen in je presentatie:

- wat je onderzoeksvraag was;
- op welke manier je gebruik hebt gemaakt van satellietdata;
- met welke satelliet die gegevens gemeten zijn;
- informatie over de betreffende satelliet, zoals van welke organisatie de satelliet is, wanneer de satelliet gelanceerd is, of de satelliet nog steeds actief is en wat de instrumenten op de satelliet meten, etc.
- wat je te weten bent gekomen;
- welke conclusie(s) je hebt getrokken.

Je presentatie duurt minimaal 5 minuten en maximaal 7 minuten.



Afbeelding 57 Presentatie van astronaut Thomas Pesquet, die in 2016 deel uitmaakt van de ISS-crew Bron: ESA

Tip 1

Maak gebruik van afbeeldingen van ESA en/of NASA. Je vindt ze hier:

<http://www.esa.int/spaceinimages/Images>

<https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/index.html>

Tip 2

Kijk ook eens of je filmpjes kunt vinden die met je onderzoek en/of satelliet te maken hebben om in je presentatie te verwerken.