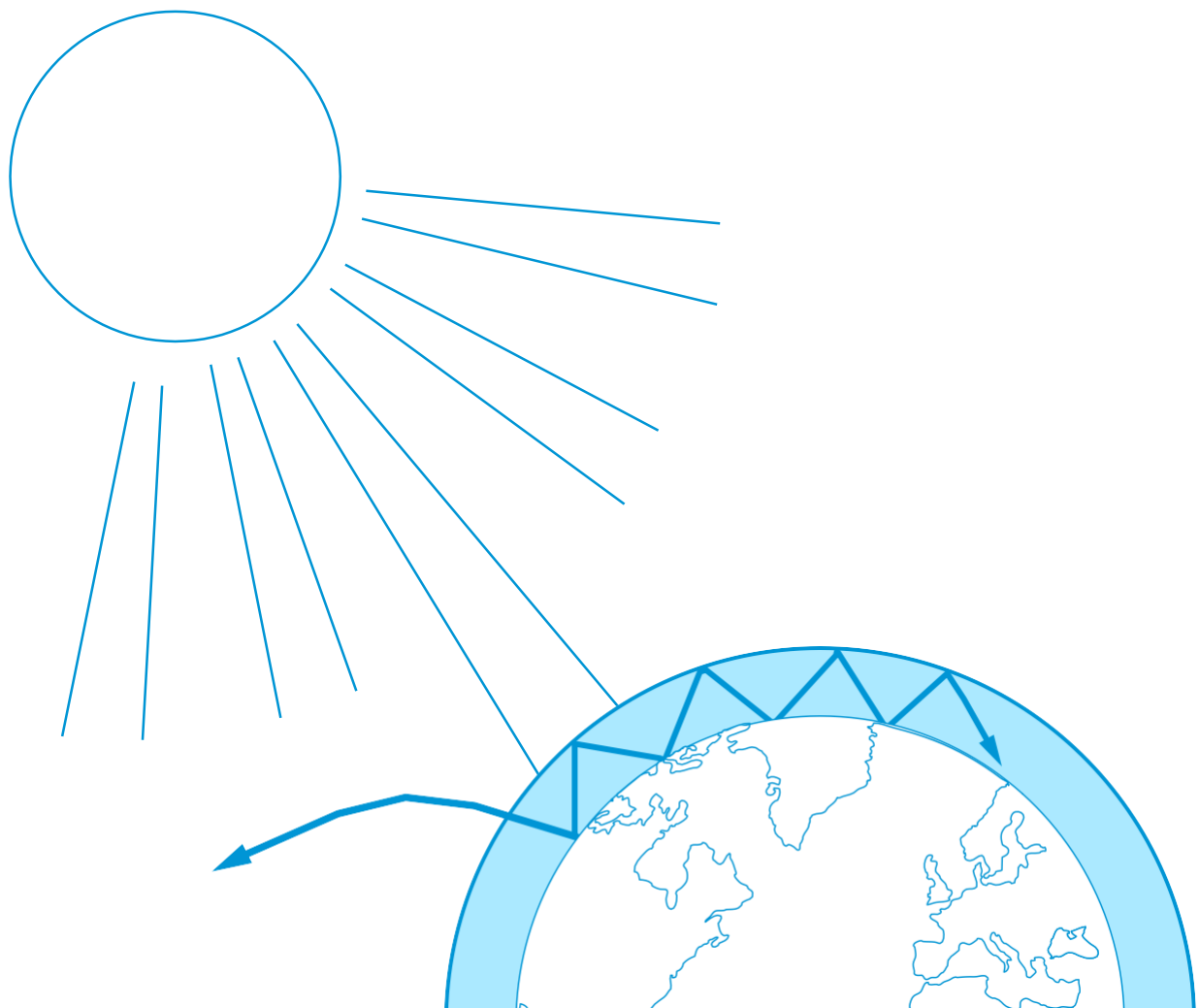
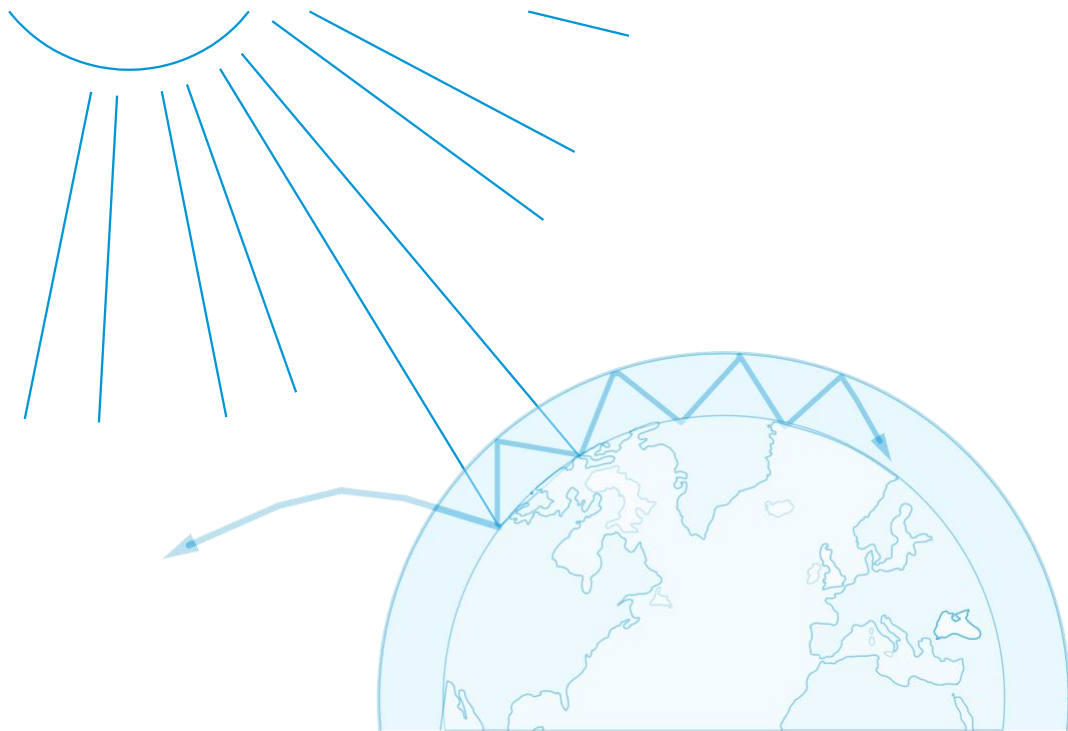


teach with space

→ HET BROEIKASEFFECT EN ZIJN GEVOLGEN

Opwarming van de aarde onderzoeken





Info over het lespakket	pagina 3
Eindtermen	pagina 4
Activiteitenoverzicht	pagina 5
Inleiding	pagina 6
Achtergrond	pagina 7
Activiteit 1: Broeikaseffect – wat is dat?	pagina 8
Activiteit 2: Zeeniveau als indicator van opwarming van de aarde	pagina 9
Activiteit 3: Hoe veranderingen in albedo gevolgen hebben voor het klimaat	pagina 13
Links	pagina 24
Annex	pagina 25

teach with space – the greenhouse effect and its consequences | G03
www.esa.int/education

The ESA Education Office welcomes feedback and comments
teachers@esa.int

An ESA Education production in collaboration with ESERO Denmark
Copyright 2018 © European Space Agency

→ HET BROEIKASEFFECT EN ZIJN GEVOLGEN

Opwarming van de aarde onderzoeken

Info over het lespakket

Vakken: Aardrijkskunde, Fysica, Chemie
Doelgroep: 1ste graad A-stroom en B-stroom, 2de graad doorstroom- en dubbele finaliteit
Type: doe-activiteit
Moeilijkheid: makkelijk
Duur: 45 minuten per activiteit
Kost: laag (0 – 10 euro)
benodigheden: computer, internet, infrarode thermometer
(benodigheden per proef staan vermeld bij de proeven)
Locatie: binnen en buiten
Sleutelwoorden: Broeikaseffect, Koolstofdioxide, Opwarming van de aarde, Zeeniveau, Albedo, Klimaat, Aardrijkskunde, Fysica, Chemie

Korte omschrijving

Deze reeks activiteiten omvat praktische experimenten en de interpretatie van satellietbeelden voor een beter begrip van algemene effecten van de opwarming van de aarde. In activiteit 1 maken de leerlingen een model om het broeikaseffect te demonstreren en aan te tonen dat een hoger koolstofdioxidegehalte (CO₂) tot een hogere temperatuur leidt. Het experiment zal worden aangevuld met de interpretatie van satellietbeelden waarop het CO₂-niveau van de aarde in verschillende perioden te zien is. De leerlingen zullen dan leren over enkele gevolgen van een versterkt broeikaseffect – het smelten van ijs en veranderende albedowaarden. De leerlingen zullen deze onderwerpen onderzoeken in activiteit 2 en 3.

Lesdoelen

De leerlingen leren

- Wat het broeikaseffect is en hoe menselijke activiteiten de energiebalans in de atmosfeer van de aarde verandert.
- De mogelijke effecten van verhoogde koolstofdioxideniveaus op het klimaat van de aarde.
- Mogelijke gevolgen van het versterkte broeikaseffect.
- De verschillende gevolgen van overstromingen en stijging van het zeewaterpeil ten gevolge van smeltend zee-ijs en smeltende ijskappen en gletsjers.
- Wat 'albedo' is en hoe het reflectievermogen van verschillende oppervlakken de temperatuur beïnvloedt.
- Hoe aardobservatie kan worden gebruikt om het klimaat op aarde te volgen.

Eindtermen – secundair onderwijs

1^{ste} graad:

- 6.27 (A-stroom)
De leerlingen leggen de effecten van verschillende soorten stralingen uit in authentieke contexten.
- 6.32 (A-stroom)
De leerlingen leggen het belang van fotosynthese uit inclusief de stofomzettingen, energieomzettingen en stofuitwisselingen.
- 6.43 (A-stroom)
De leerlingen gebruiken met de nodige nauwkeurigheid de gepaste meetinstrumenten, meetmethoden en hulpmiddelen om metingen, observaties, experimenten en terreinstudies uit te voeren.
- 6.45 (A-stroom)
De leerlingen trekken conclusies op basis van grafieken, tabellen, determineertabellen en diagrammen.
- 9.6 (A-stroom)
De leerlingen onderzoeken ruimtelijke effecten van veranderingen in landschappen op de mens en zijn leefomgeving.
- 9.5 (B-stroom)
De leerlingen herkennen voorbeelden van de impact van klimaatveranderingen.

2^{de} graad (minimumdoelen basisvorming – 230327):

- 6.31
De leerlingen leggen het verband tussen materie- en energiestromen in een ecosysteem.
- 6.51 (doorstroomfinaliteit) - 6.35 (dubbele finaliteit)
De leerlingen voeren onderzoek aan de hand van een wetenschappelijke methode om kennis te ontwikkelen en om vragen te beantwoorden.
- 9.06 (doorstroomfinaliteit) – 9.05 (dubbele finaliteit)
De leerlingen analyseren oorzaken en gevolgen van het versterkt broeikaseffect.

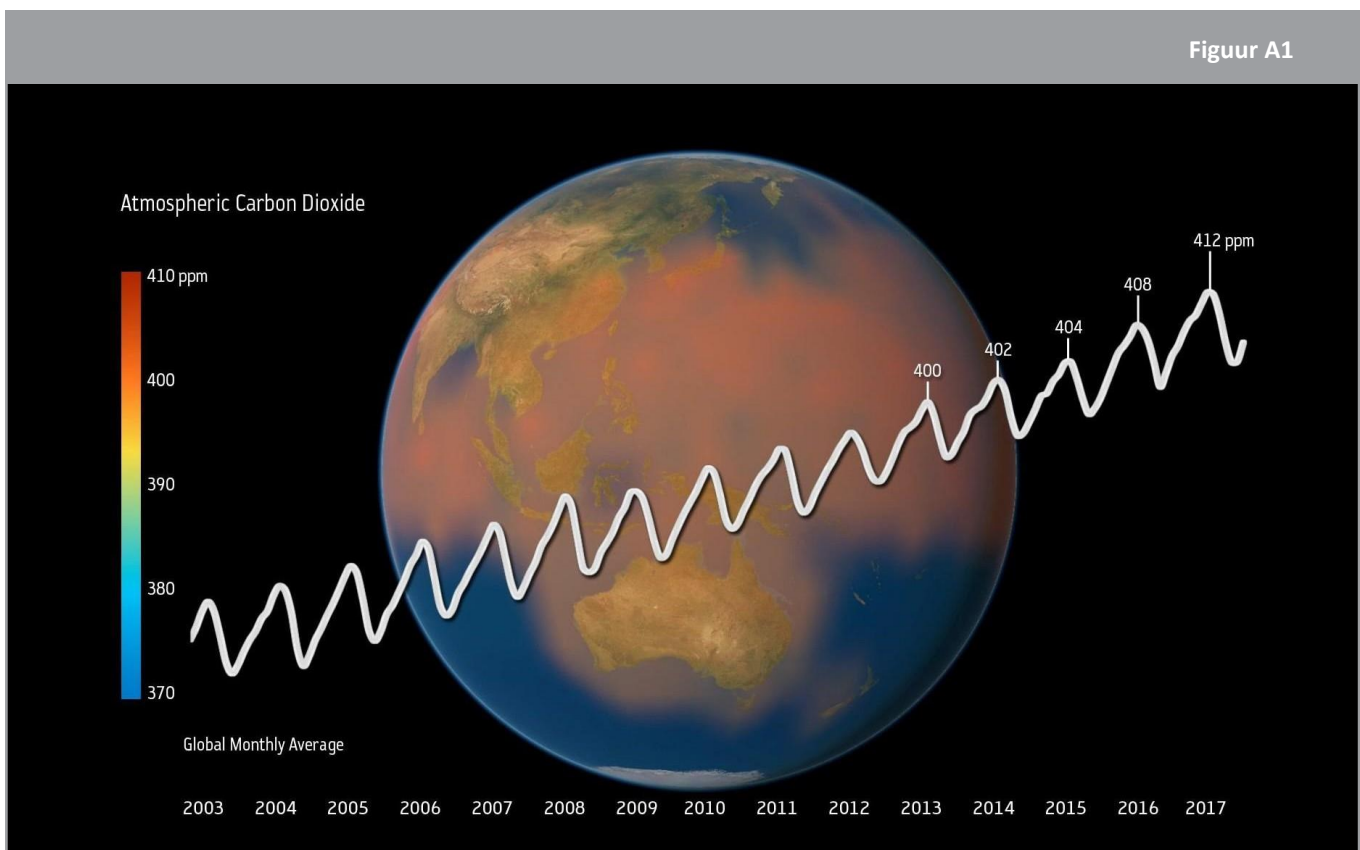
→ Activiteitenoverzicht

Activiteitenoverzicht					
	Titel	Omschrijving	Resultaat	Vereisten	Tijd
1	Broeikaseffect – wat is dat?	Leerlingen produceren het broeikasgas CO ₂ door een eenvoudige chemische reactie, meten het effect van het gas op de lichttemperatuur, en hun koppelen hun bevindingen aan het broeikaseffect in onze atmosfeer.	Inzicht in de rol van CO ₂ als broeikasgas en wat het broeikaseffect is.	Geen	45 minuten
2	De zeespiegel als indicator van de opwarming van de aarde	Leerlingen onderzoeken door middel van praktische activiteiten de effecten van het smelten van landijs en zee-ijs.	Inzicht in het effect op overstromingen van smeltend zee-ijs versus smeltende gletsjers en ijskappen.	Geen	45 minuten
3	Hoe veranderingen in albedo het klimaat kunnen beïnvloeden	Leerlingen meten het reflectievermogen van verschillende oppervlakken en onderzoeken hoe de reflectie afkomstig van oppervlakken met een verschillend kleur een effect hebben op de temperatuur	Beter begrip van albedo en de rol daarvan in de energiebegroting.	Geen	45 minuten

→ Inleiding

Het begrip van de opwarming van de aarde kan vrij complex zijn. Om deze concepten te begrijpen, is het van essentieel belang enkele van de “onzichtbare” maar belangrijke processen te onderzoeken die een effect hebben op het klimaat van de aarde. De opwarming van de aarde houdt bijvoorbeeld verband met het broeikaseffect, en het smelten van de ijskappen op aarde houdt verband met de albedo van de planeet.

Satellietbeelden zijn belangrijke instrumenten voor het monitoren van veranderingen in de atmosfeer, de oceanen en het aardoppervlak. Verschillende soorten satellietbeelden, zoals radarbeelden, beelden van zichtbaar licht of infraroodbeelden, geven ons belangrijke informatie over de koolstofdioxide in de atmosfeer, de hoeveelheid wolken of waterdamp in de atmosfeer, het zeeniveau, de concentratie van zee-ijs, en nog veel meer. Bij het Climate Change Initiative van het ESA is een gemeenschap van meer dan 350 klimaatwetenschappers betrokken die langetermijnwaarnemingen van aardobservatiesatellieten analyseren om inzicht te krijgen in en informatie te verstrekken voor de internationale reactie op veranderingen in het klimaat op aarde.



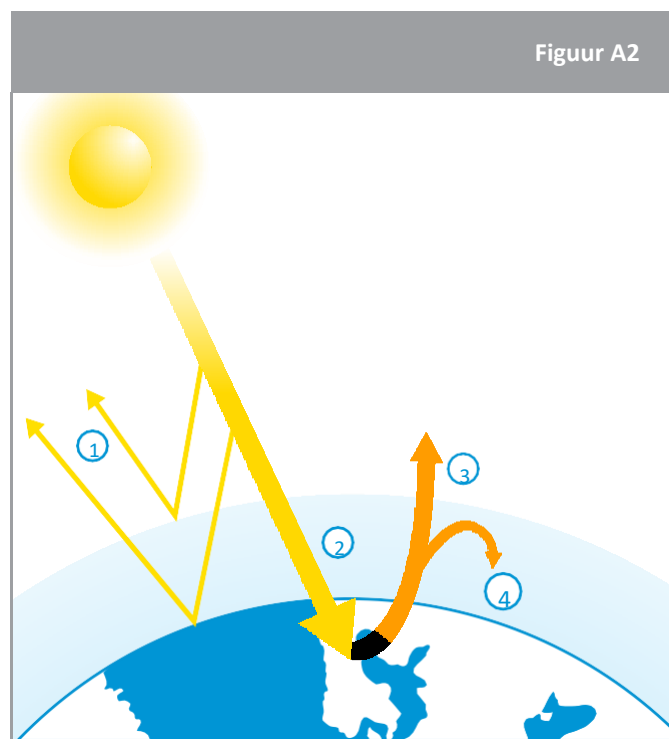
↑Koolstofdioxideniveaus in de atmosfeer, gemeten door aardobservatiesatellieten. De jaarlijkse ups en downs van de curven zijn het gevolg van seizoensgebonden veranderingen in de vegetatie en dus meer/minder fotosynthese.

De toename van koolstofdioxide (CO_2) veroorzaakt door de mens is belangrijkste factor bij de opwarming van de aarde. De hogere niveaus van CO_2 maken het broeikaseffect te krachtig en leiden tot stijgende temperaturen op aarde.

In dit materiaal zullen leerlingen praktische experimenten uitvoeren en satellietgegevens analyseren om te onderzoeken wat het broeikaseffect is en wat de gevolgen van opwarming van de aarde zijn.

→ Achtergrond

De meeste energie die de zon uitstraalt is zichtbaar en bijna-infrarood licht dat bestaat uit straling met een korte golflengte. Deze straling passeert gemakkelijk de deeltjes die zich in de atmosfeer bevinden. Wanneer deze kortegolfstraling de aarde raakt, wordt een groot deel ervan omgezet in warmte. De temperatuur van de aarde stijgt niet oneindig omdat het aardoppervlak en de atmosfeer ook warmte terugstralen naar de ruimte. Deze nettostroom van straling in en uit het aardsysteem wordt het stralingsbudget van de aarde genoemd. (figuur A2). Warmte is langgolvlige straling die afzonderlijk minder energie bevat dan de kortgolvlige straling. Dit betekent dat het op een andere manier met de atmosfeer interageert. De aarde straalt overdag en 's nachts warmte terug de atmosfeer in, wat helpt om het aardoppervlak af te koelen. Niet al deze warmte ontsnapt echter naar de ruimte, een deel blijft gevangen door de broeikasgassen in de atmosfeer. Het resultaat is dat de atmosfeer van de aarde warmer is dan zijn zou zijn zonder dit 'broeikaseffect'.



- ↑ Het stralingsbudget van de aarde.
- 1 – Een deel van de straling wordt gereflecteerd door de atmosfeer, wolken en het aardoppervlak.
 - 2 – Een deel van de straling wordt geabsorbeerd door de atmosfeer, wolken en het grootste deel door het land en de oceanen, waardoor de aarde wordt verwarmd.
 - 3 – Infraroodstraling wordt uitgezonden door het aardoppervlak. Een deel van deze straling ontsnapt naar de ruimte.
 - 4 – Een deel wordt gevangen door de broeikasgassen in de atmosfeer.

Zonder broeikasgassen in de atmosfeer van de aarde zou het leven zoals wij dat kennen bijna onmogelijk zijn omdat de gemiddelde oppervlaktetemperatuur dan verscheidene graden Celsius onder nul zou liggen. Het belangrijkste broeikasgas in de atmosfeer van de aarde is waterdamp. Het houdt de grootste hoeveelheid warmte vast die van de grond komt. De broeikasgassen waarover de klimaatwetenschappers zich meer zorgen maken, zijn echter CO_2 en methaan (CH_4), omdat dit de belangrijkste broeikasgassen zijn die worden uitgestoten door menselijke activiteiten en in de atmosfeer zijn toegenomen sinds het begin van de industriële revolutie.

→ Activiteit1: BROEIKASEFFECT – WAT IS DAT?

In deze activiteit zullen de leerlingen een hypothese testen over hoe de atmosferische koolstofdioxide de temperatuur op aarde kan beïnvloeden om het broeikaseffect te begrijpen. De leerlingen zullen de vraag beantwoorden: “Hoe beïnvloedt de koolstofdioxide in de atmosfeer de temperatuur van de Aarde?” De leerlingen zullen ook satellietbeelden analyseren om te begrijpen hoe het mogelijk is om broeikasgassen vanuit de ruimte te monitoren.

Benodigheden (per groep)

- 2 1L kolven
- Kurken met een gaatje die de thermometer kan vasthouden
- 1 lamp met verwarmingslamp (meer dan 100W)
- 2 thermometers (0.1°C nauwkeurigheid)
- Azijnzuur 32%
- Bakpoeder
- Ijsblokjes (optioneel)

Gezondheid & veiligheid

De kolven en de lamp moeten voorzichtig behandeld worden. De leerlingen mogen de warmtelamp niet aanraken. De leraar moet helpen bij het toevoegen van het azijnzuur in de kolven.

Opdracht

Bekijk de het werkblad van de leerlingen voor de gedetailleerde instructies over de opzet van het experiment. Het experiment kan worden uitgebreid door een ijsblokje op de bodem van elk potje te leggen. De leerlingen kunnen dan onderzoeken hoelang het duurt voor de ijsblokjes smelten.

Opgelet: dit experiment is zeer gevoelig en moet van tevoren worden getest. Het experiment kan ook worden uitgevoerd met een CO₂-dispenser (gebruikt om sodawater te maken) in plaats van azijnzuur 32% en bakpoeder.

Deze oefening kan worden uitgevoerd als een praktijkopdracht voor de leerlingen of als demonstratie.

Resultaten

In de kolf met CO₂ zal de temperatuur sneller stijgen dan in de kolf zonder. Na 10 minuten zal er gewoonlijk 1-3°C verschil zijn. Benadruk dat een gemiddelde stijging van 2°C over de hele planeet catastrofale gevolgen kan hebben. Dit kan bijvoorbeeld leiden tot een aanzienlijke stijging van het zeeniveau met grote overstromingen tot gevolg.

Bespreking

De samenstelling van de lucht in de kolven beïnvloedt de hoeveelheid verstrooide en geabsorbeerde warmte. De leerlingen vergelijken de verschillen in warmte-absorptie (veranderingen in temperatuur) in een controleproef en in een verhoogde CO₂-omgeving. De leerlingen moeten concluderen dat de temperatuur in de kolf met CO₂ sneller zal stijgen dan de temperatuur in de 'controlekolf'.

Bespreek met de leerlingen hoe de atmosferische CO₂ de temperatuur van de aarde beïnvloedt. Ze moeten concluderen dat CO₂ de warmte vasthoudt die door de aarde wordt uitgestraald. Daardoor is de temperatuur op aarde hoger dan wanneer er geen CO₂ in de atmosfeer was. De leerlingen moeten begrijpen dat onze atmosfeer en de broeikasgassen die er deel van uitmaken, onze planeet bewoonbaar maken.

De toename van door de mens geproduceerde broeikasgassen verandert echter de 'normale' hoeveelheid van deze gassen in onze atmosfeer, waardoor de aarde opwarmt.

Als uitbreiding kunnen de leerlingen satellietgegevens analyseren om de seizoensgebonden en langtermijnveranderingen van CO₂ in de atmosfeer te onderzoeken en te bespreken (zie het gedeelte met links voor suggesties voor video's). De leerlingen moeten concluderen dat de CO₂-uitstoot in onze atmosfeer de laatste jaren wereldwijd blijft toenemen. Zij moeten ook een seizoenschommeling waarnemen. Deze schommeling is het gevolg van de groei van de vegetatie (vooral op het noordelijk halfrond, waar de meeste vegetatie van de wereld te vinden is). In de zomer absorbeert de vegetatie koolstofdioxide door fotosynthese en een deel van deze koolstofdioxide wordt in de winter weer afgegeven.

De 'Climate from Space' app van ESA's Climate Change Initiative (CCI) geeft een overzicht van broeikasgassen en de data viewer toont wereldwijde satelliet-afgeleide distributies van atmosferische CO₂. Schermafbeeldingen van data viewer zijn beschikbaar als bijlage voor het geval de leerlingen geen toegang hebben tot internet. De leerkracht kan deze afbeeldingen afdrukken om de leerlingen te laten overleggen over de langertermijnveranderingen van CO₂ in de atmosfeer.

Link naar de viewer: <https://climate.esa.int/en/explore/climate-from-space/>

→ Activiteit 2: Zeeniveau als indicator van de opwarming van de aarde

De verandering van het zeeniveau is één van de belangrijkste gevolgen van de antropogene – of door de mens veroorzaakte – klimaatverandering. In deze activiteit onderzoeken de leerlingen de impact die de opwarming van de aarde op het zeeniveau zou kunnen hebben door middel van een praktische activiteit.

Gezondheid & veiligheid

Er zijn geen speciale voorzorgsmaatregelen nodig. De leerlingen moeten hun handen nat maken alvorens ze een ijsblokje oppakken, zodat het ijs niet aan hun vingers blijft kleven.

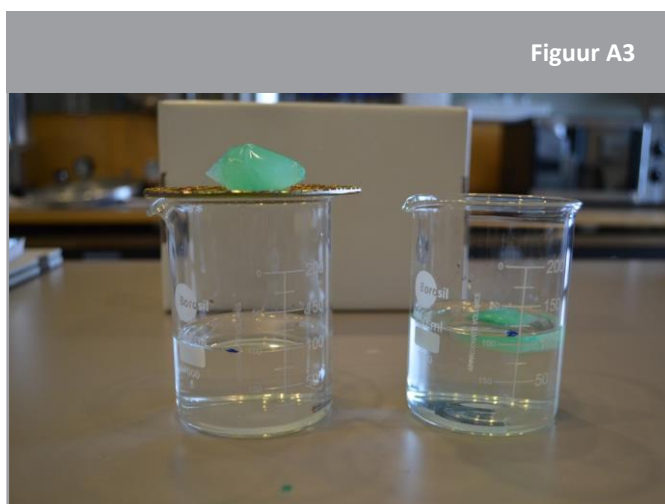
Opdracht

Alvorens met het praktische experiment te beginnen, moeten de leerlingen in kleine groepjes hun verwachtingen/voorspellingen bespreken. Leg zo nodig het verschil uit tussen zee- en landijs.

Voor instructies voor het uitvoeren van de activiteit, zie het werkblad van de leerlingen.

Het gemiddelde zoutgehalte van zeewater is 3,3%. Om het zeewater te bereiden moeten de leerlingen één theelepel (ongeveer 5g) zout aan het water toevoegen. Om een oplossing voor de hele klas te bereiden, zie instructie hieronder:

- Doe 33g zout in een beker.
- Voeg kraanwater toe tot je een massa van 1 000g bekomt.
- Roer met een roerstaafje tot al het zout opgelost is.



↑ De opstelling van het experiment.

Resultaten

Tafel 1 – Resultaten van het experiment				
	Hoeveelheid water (ml)	Net toegevoegd	NaCl %	Observatie
Beker 1	150	Ja	0	Het niveau van het water is hoger dan het beginniveau.
Beker 2	150	Nee	0	Het niveau van het water blijft hetzelfde als het beginniveau.
Beker 3	150	Ja	3.3	Het niveau van het water is hoger dan het beginniveau.
Beker 4	150	Nee	3.3	Het niveau van het water blijft hetzelfde als het beginniveau.

De leerlingen moeten ook zien dat het ijsblokje in het zoete water sneller smelt dan het ijsblokje in het zoute water. Dit komt doordat het zout het smeltpunt van ijs verandert.

Afhankelijk van het kennisniveau van de leerlingen kunnen de verschillen in warmtecapaciteit worden besproken, zodat de leerlingen beter begrijpen waarom de ijsblokjes in het water sneller smelten dan op het 'land'.

De leerlingen merken op dat wanneer het ijsblokje met zoet water smelt in het zoute water, het zoete water van het ijsblokje (dat gekleurd is) als een gekleurd laagje bovenop het oppervlak blijft liggen als gevolg van de verschillen in dichtheid tussen zoet en zout water (figuur A4).



↑ Het smeltwater in het zoutwater blijft bovenaan (linker beker). Het koude smeltwater in zoetwater zinkt (rechter beker).

Bespreking

Water is één van de weinige stoffen die in vaste vorm minder dicht is dan in vloeibare vorm. Dit is de reden waarom ijs blijft drijven. Het betekent ook dat dezelfde hoeveelheid water in vaste vorm een groter volume inneemt dan in vloeibare vorm. De leerkracht kan het Archimedes-principe gebruiken om uit te leggen waarom het waterpeil niet verandert als ijs dat in het water drijft, smelt. De leerlingen kunnen daarvoor ook de ijsblokjes wegen.

Uit deze activiteit moeten de leerlingen concluderen:

- Het zee-ijs draagt reeds zijn volume bij aan de oceanen (het grootste deel van het ijs ligt reeds onder water). Het gewicht van het zee-ijs is gelijk aan het gewicht van het volume aan het verplaatste water. Wanneer zee-ijs smelt, wordt het verplaatste water vervangen door gesmolten ijs. Wanneer het zee-ijs smelt, vergroot het dus niet het volume van de oceanen..
- Landijs draagt niet bij aan het volume van de oceanen. Wanneer het smelt, vloeit het dus in de oceaan, waardoor het totale volume toeneemt.
- Smeltend zee-ijs doet de zeespiegel niet stijgen, terwijl smeltend landijs dat wel doet.

Het is vooral het smelten van landijs dat tot een stijging van de zeespiegel leidt. Merk op dat het smelten van zee-ijs indirect kan leiden tot een stijging van de zeespiegel, door het veranderen van eigenschappen zoals het zoutgehalte en de temperatuur. Het smelten van landijs en zee-ijs verandert het stralingsbudget van de aarde (dit zal worden onderzocht in activiteit 3).

Als uitbreiding kunnen de leerlingen naar volgende video kijken: "Contributors to sea-level rise" ([see links section](#)) over wat de zeespiegelstijging beïnvloedt en hun bevindingen vergelijken met de informatie in de video.

→ Activiteit 3: Hoe veranderingen in de albedo het klimaat kunnen beïnvloeden

Doormiddel van een praktijkgericht experiment zullen de leerlingen een hypothese ontwikkelen en testen over hoe de reflectiviteit van oppervlakken van verschillende kleuren de temperatuur beïnvloedt. De leerlingen zullen begrijpen dat het reflectievermogen van verschillende oppervlakken, hun albedo, een belangrijke rol speelt in het klimaat van de aarde. Ze zullen de volgende vragen onderzoeken:

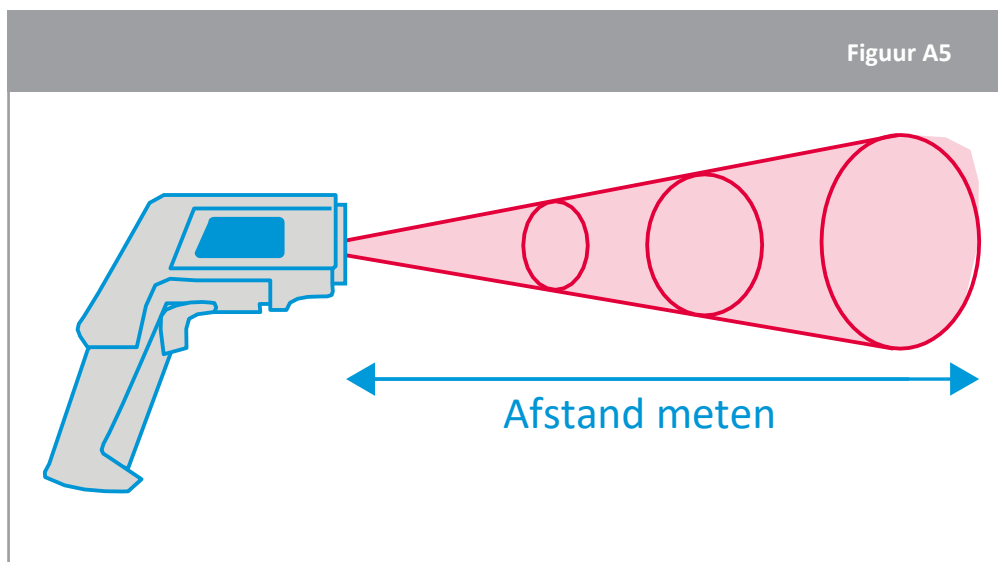
1) Hoe beïnvloedt kleur de temperatuur van de oppervlakken?

2) Hoe beïnvloeden de wind en de vochtigheid het albedo en dus de temperatuur van het oppervlak gemeten?

Benodigdheden

- IR-thermometer
- Stukjes papier of karton met verschillende grijstinten en kleuren (zie annex II)
- Lamp met warmtelamp (wanneer het niet zonnig is)

Opmerking: Een infraroodthermometer is een thermometer die de temperatuur afleidt uit een deel van de warmtestraling die door het te meten voorwerp wordt uitgezonden. De hoeveelheid IR-straling die door het voorwerp of een oppervlak wordt uitgezonden, is evenredig met de temperatuur ervan. Grote hoeveelheden IR-straling betekenen een hoge temperatuur en kleine hoeveelheden IR-straling betekenen een lage temperatuur.



↑ Schematische weergave van hoe een IR-thermometer de gemiddelde IR-radiatie meet.

De IR-thermometer moet op een oppervlak worden gericht vanaf een afstand van enkele centimeters. De gedetecteerde thermische straling wordt omgezet in een nauwkeurige temperatuur van het oppervlak. Zorg ervoor dat je bij elke meting dezelfde afstand gebruikt. Een infraroodthermometer meet alleen de oppervlaktetemperatuur van een voorwerp.

Opdracht

Voor instructies voor het uitvoeren van de activiteit, zie het werkblad van de leerlingen. Alvorens de oefening uit te voeren, moeten de leerlingen vertrouwd raken met het gebruik van de IR-thermometer.

Indien er geen IR-thermometer beschikbaar is, kan je experiment van bijlage 3 worden uitgevoerd.

Resultaten

In oefening 1 zullen de leerlingen binnen een vrij kort interval een temperatuurstijging van 0,3-0,5°C per grijstoon waarnemen.

In oefening 2 moeten de leerlingen opmerken dat er veel factoren zijn die de meting van de oppervlaktetemperatuur beïnvloeden, zoals de vochtigheid, de bewolking en het tijdstip van de dag, naast de kleur en de textuur van het oppervlak.

Bespreking

De oppervlaktekleur van een materiaal is van invloed op de warmte die door straling wordt geabsorbeerd. De leerlingen moeten opmerken dat hoe donkerder de oppervlaktekleur, hoe hoger de temperatuur (dit komt omdat donkerder materialen meer warmte absorberen dan lichtere materialen). In de discussie moeten de leerlingen dit in verband brengen met de aarde. Welke oppervlakken weerkaatsen waarschijnlijk de meeste straling? Welke zullen waarschijnlijk de meeste straling absorberen? De leerlingen moeten concluderen dat:

- Heldere oppervlakken (ijs, sneeuw) hebben een hoog albedo, wat betekent dat ze het grootste deel van de zonnestraling weerkaatsen;
- Donkere oppervlakken (water, oceanen, gras) hebben een laag albedo, wat betekent dat zij het grootste deel van de straling van de zon absorberen;
- Smeltend ijs zal de temperatuur van de aarde verder doen stijgen, omdat het water wordt, wat resulteert in een kleiner lichtgebied (ijs) en een groter donkergebied (water);
- Naarmate het met ijs bedekte gebied krimpt, wordt in de zomer meer warmte door de oceaan geabsorbeerd; de oceaan doet er daarom langer over om in de herfst af te koelen, zodat de vorming van nieuw ijs later begint.

→ HET BROEIKASEFFECT EN ZIJN GEVOLGEN

Opwarming van de aarde onderzoeken

→ Activiteit 1: Broeikaseffect – wat is dat?

In deze eerste activiteit ga je bestuderen hoe koolstofdioxide (CO₂), ‘een broeikasgas’, de luchttemperatuur in een gesloten omgeving kan beïnvloeden. Je zult de volgende vraag onderzoeken: Hoe beïnvloedt atmosferische koolstofdioxide de temperatuur van de aarde?

In het verlengde hiervan ga je ook satellietgegevens over de concentratie koolstofdioxide in de atmosfeer analyseren om seizoensgebonden veranderingen te onderzoeken en langtermijntendensen vast te stellen.

Benodigheden

- 2 1L kolven
- Kurken met een gat om de thermometer vast te houden
- 1 lamp met warmtelamp (meer dan 100W)
- 2 thermometers (0.1°C nauwkeurigheid)
- Azijnzuur 32%
- Bakpoeder
- IJsklontjes (optioneel)

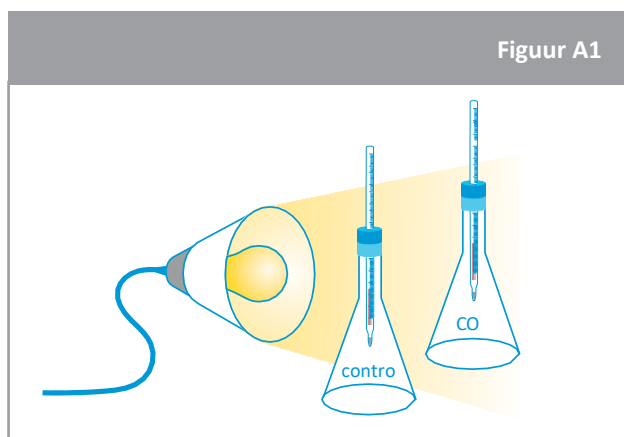
Gezondheid & veiligheid

De kolk en de lamp moeten met voorzichtig behandeld worden. Vermijd de warme lamp aan te raken.

Opdracht

In deze oefening ga je de temperatuur in twee flessen onderzoeken; één bevat CO₂ (fles 1) en de andere dient als controle (fles 2). Voordat je aan je experiment begint, doe je een voorspelling over welke fles de meeste warmte zal vasthouden.

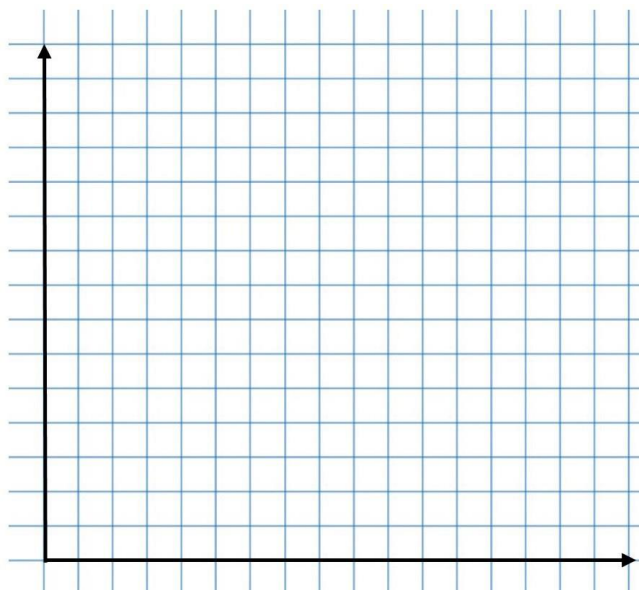
1. Plaats de twee kolven naast elkaar onder de lamp. Zorg ervoor dat de twee kolven evenveel licht ontvangen. De kolven en de lamp mogen tijdens het experiment NIET verplaatst worden. Zet de lamp nu nog even uit.
2. Plaats de twee thermometers in de twee kurken.
3. Meng 5 gram bakpoeder en 20 ml azijnzuur in een van de kolven (vraag je leraar te helpen het azijnzuur in de kolf te doen).
4. Sluit de twee kolven met de kurken die de thermometers vasthouden.
5. Noteer de begintemperatuur van elke thermometer.
6. Zet de lamp aan.
7. Wacht 2 minuten en lees de temperatuur af.
8. Wacht nog 2 minuten en lees de temperatuur af. Ga zo door tot u 8 sets van temperatuurmetingen hebt.
9. Noteer uw gegevens in tabel 1 en maak een lijngrafiek in het gedeelte Resultaten hieronder. Voeg een titel toe en etiketteer de assen van uw grafiek.



↑ De opstelling van het experiment: één kolk bevat CO₂ en de andere dient ter controle.

Resultaten

Table 1 - Experimental results		
Tijd	Temp. Kolf 1	Temp. Kolf 2
0 min		
2 min		
4 min		
6 min		
8 min		
10 min		
12 min		
14 min		
16 min		



Bespreking

1. Vergelijk de resultaten van de twee kolven. Stemmen de resultaten overeen met je voorspellingen?

2. Leg je resultaten uit.

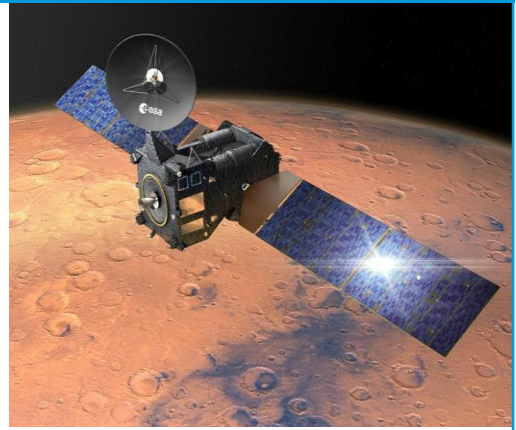
3. Probeer op basis van je resultaten de inleidende vraag te beantwoorden:

Hoe beïnvloedt de atmosferische koolstofdioxide de temperatuur van de aarde?

4. Koolstofdioxide is een broeikasgas dat vrijkomt door natuurlijke processen en door menselijke activiteiten. Leg in je eigen woorden uit wat het broeikaseffect is.

Wist je dat?

Het bestuderen van de atmosferen van andere planeten kan ons helpen de klimaatverandering op aarde te begrijpen. De atmosfeer van Mars bijvoorbeeld bestaat hoofdzakelijk uit koolstofdioxide, maar de bestaande atmosfeer is zo dun dat hij niet veel van de energie van de zon kan vasthouden. Als gevolg daarvan zijn er extreme temperatuurcontrasten tussen dag en nacht, of zon en schaduw. De meeste wetenschappers zijn het er echter over eens dat Mars in het verleden veel warmer was, wat betekent dat de atmosfeer waarschijnlijk anders was dan nu. De ExoMars Trace Gas Orbiter, onderdeel van de ESA-Roscosmos ExoMars-missie, zal onderzoek doen naar de samenstelling van de sporengassen van de planeet, die



minder dan 1% van het volume van de atmosfeer van de planeet uitmaken. De orbiter zal met name zoeken naar sporen van methaan en andere gassen die kunnen duiden op actieve biologische of geologische activiteit.

Uitbreiding – Monitoren van CO₂ vanuit de ruimte

1. Jullie gaan nu satellietgegevens over de mondiale koolstofdioxideconcentratie analyseren. Bespreek, voordat jullie daarmee beginnen, in kleine groepjes jullie verwachtingen:
 - a) Seizoensgebonden veranderingen - Verwacht je veranderingen in de concentratie van atmosferische CO₂ in verschillende maanden van hetzelfde jaar? Leg uit waarom wel of niet.

- b) Verwacht je significante veranderingen in de concentratie van atmosferische CO₂ wanneer je dezelfde maand in verschillende jaren vergelijkt? Leg uit waarom wel of niet.

- c) Plaatselijke en wereldwijde veranderingen - Verwacht je dat de verdeling van CO₂ in de atmosfeer vergelijkbaar is wanneer je verschillende plaatsen op aarde vergelijkt? Leg uit waarom wel of niet.

2. Vergelijk je verwachtingen met echte satellietgegevens. Is je analyse van echte satellietgegevens vergelijkbaar met je verwachtingen in vraag 1? Probeer eventuele verschillen te verklaren.

3. Wat zijn mogelijke gevolgen voor het klimaat van de aarde als gevolg van veranderingen in de atmosferische CO₂-concentratie?

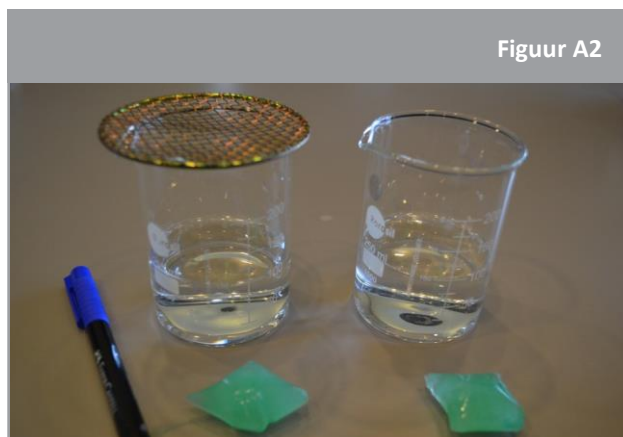
→ Activiteit 2: Zeeniveau als indicator van de opwarming van de aarde

De stijging van de zeespiegel is een belangrijke indicator van wereldwijde klimaatveranderingen. In deze activiteit zal je de volgende vraag onderzoeken:

Wat zal het effect op de zeespiegel zijn als zee- en landijs (bijvoorbeeld gletsjers) smelten?

Benodigheden

- 4 glazen bekertjes van 250 ml
- Metaalnet met een diameter dat iets groter is dan de diameter van de bekertjes
- Geleurd ijsblokjes
- Keukenzout (NaCl)
- Theelepel of spatel waarmee je kan roeren
- Markeerpen
- Timer



↑ Opstelling van het experiment.

Opdracht

1. Voeg 150 ml koud leidingwater toe aan beker 1 en beker 2. Leg een metaalnet bovenop één van de bekertjes (beker 1). Markeer het waterniveau op de bekertjes.
2. Neem twee identieke geleurd ijsblokjes.
3. Plaats een ijsblokje op het metaalnet boven het bekerglas en laat het andere ijsblokje voorzichtig in het water van het andere bekerglas (bekerglas 2) vallen. Identificeer het soort ijs dat volgens jou in bekerglas 1 en in bekerglas 2 zit.

Beker 1: _____

Beker 2: _____

4. Markeer opnieuw het waterniveau in elk bekerglas. Dit is het 'start'-niveau.
5. Start een timer.
6. Observeer zorgvuldig wat er gebeurt als de ijsblokjes smelten. Hoe gedraagt het smeltwater zich in het water?

7. In tabel 2 hieronder staat hoelang het duurt voor elk ijsblokje volledig gesmolten is.
8. Terwijl je wacht, beantwoord de volgende vraag:

Wat verwacht je dat er gebeurt met het waterniveau in de verschillende bekertjes?

9. Herhaal het experiment, maar nu met "Zeewater" in beker 3 en beker 4. Zeewater heeft een gemiddeld zoutgehalte van 3,3 % NaCl. Ook hier is het van groot belang de waterniveaus aan te geven en goed te observeren wat er in het water gebeurt tijdens het smelten van de ijsblokjes.

Resultaten

Table 2 – Resultaten van het experiment						
	Hoeveelheid water (ml)	Net	NaCl %	Starttijd	Smelttijd	Observaties
Beker 1	150	Ja	0			
Beker 2	150	Nee	0			
Beker 3	150	Ja	3.3			
Beker 4	150	Nee	3.3			

Bespreking

1. Smelten de ijsblokjes in beker 1 en 2 in dezelfde tijd als elkaar? Verklaar je resultaten.

2. Wat is er gebeurd met het waterniveau in beker 1 en 2? Zijn de resultaten vergelijkbaar met je voorspellingen?

3. Vergelijk je waarnemingen van beker 1 en beker 2 met je waarnemingen van beker 3 en 4. Verklaar eventuele verschillen.

4. Probeer op basis van je resultaten een antwoord te geven op de inleidende vraag:
Wat zal het effect op de zeespiegel zijn wanneer zee- en landijs (bijvoorbeeld gletsjers) smelten?

Wist je dat?

De eerste metingen van het zeeniveau werden in de 18e eeuw verricht door de getijden in de gaten te houden. Al meer dan 100 jaar worden de zeespiegelgegevens bijgehouden door getijdenmeters. Vandaag de dag bieden metingen door middel van satellietradarhoogtemetingen een bijna wereldwijde dekking van de oceanen op aarde. Getijdenmeters leveren nog steeds belangrijke in-situ waarnemingen, maar sinds het begin van de jaren negentig is satelliehoogtemeting het belangrijkste instrument geworden voor het continu meten van de mondiale zeespiegel. Satelliehoogtemeting meet nauwkeurig de tijd die een radarimpuls nodig heeft om van de satellietantenne naar het aardoppervlak en terug naar de satellietontvanger te reizen.



In combinatie met nauwkeurige locatiegegevens van satellieten kunnen met hoogtemetingen hoogten van het zeeoppervlak worden verkregen. De ESA Sentinel-3A-satelliet kan met zijn radarhoogtemeter het zeeniveau meten op plaatsen op aarde die voorheen slecht werden bemonsterd.

→ Activiteit 3: Hoe veranderingen in albedo effect hebben op het klimaat

Het reflectievermogen van verschillende oppervlakken staat bekend als hun albedo. Het speelt een belangrijke rol in het klimaat van de aarde. In dit experiment zal je de volgende vragen onderzoeken:

1. Hoe beïnvloedt de kleur de temperatuur van de oppervlakken? (Oefening 1)
2. Hoe zullen de wind en de vochtigheid het albedo en dus de temperatuur van een oppervlak beïnvloeden? (Oefening 2)

Benodigdheden

- IR-thermometer
- Stukje papier of karton met verschillende grijstinten en kleuren

Opdracht 1

1. Leg het papier met de verschillende grijstinten in de zon (of onder een lamp die warmte uitstraalt).
2. Wacht gedurende 4 tot 5 minuten.
3. Meet de temperaturen met de IR-thermometer voor elke grijstint en registreer je resultaten in tabel 3. Zorg ervoor dat je de thermometer voor elke grijstint op dezelfde afstand van het oppervlak houdt.
4. Wacht nog vijf minuten en herhaal de metingen. Zorg ervoor dat je geen schaduw op het papier werpt wanneer je de metingen uitvoert.

Tabel 3 – Temperatuur van de verschillende grijstinten

Grijspercentage	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
Meting 1 (°C)								
Meting 2 (°C)								

Opdracht 2

Je gaat nu de temperatuur meten van verschillende oppervlakken, zoals gras, hout, het voetpad, bladeren, enz. Om de invloed van wind en vochtigheid te onderzoeken, moet het experiment buiten worden uitgevoerd.

1. Meet de temperatuur van de verschillende oppervlakken met de IR-thermometer.
2. Registreer je resultaten in tabel 4. Vergeet niet het tijdstip van de dag te noteren, de luchttemperatuur en of het winderig is of niet.

Tabel 4 – Temperatuur van verschillende oppervlaktes					
Oppervlak	Temperatuur	Kleur	Schaduw	vchtigheid	Andere observaties
Gras (vlak)					
Gras (Op een kleine heuvel)					
Hout					
Voetpad					
Bladeren					
Water					
Anderen					

Opmerking: Schrijf in de kolom "Schaduw" ja of nee. Schrijf in de kolom 'Vochtig' ja of nee, afhankelijk van hoe nat het oppervlak aanvoelt als je het aanraakt. Indien mogelijk, kan je een vochtigheidssensor gebruiken.

Bespreking

1. Wat kun je, op basis van je resultaten uit oefening 1, concluderen in verband met de kleur van een materiaal, de temperatuur en het albedo?

2. Welke oppervlakken hebben het hoogste albedo (tabel 4)? Leg uit aan de hand van alle informatie die je over de oppervlakken hebt verzameld.

3. Als een stijging van de temperatuur op aarde met 1°C ertoe leidt dat de Noordelijke IJszee elk jaar twee weken langer ijsvrij blijft, wat is dan het effect op het albedo van de oceaan? Waarom?

4. Als het albedo van de oceaan verandert, hoe zal dit dan de oceaantemperaturen en de ijsvorming in de winter beïnvloeden? Leg uit.

5. Bespreek welk effect het smelten van zee-ijs, gletsjers en ijskappen zal hebben op het albedo en dus op de opwarming van de aarde.

Wist je dat?

EarthCARE is een ESA-missie die ons een beter inzicht moet verschaffen in de rol die wolken en aërosolen spelen bij het weerkaatsen van zonnestraling in de ruimte en het opvangen van infrarode straling die door het aardoppervlak wordt uitgezonden. EarthCARE - de Earth Cloud Aerosol and Radiation Explorer - wordt ontwikkeld in samenwerking met ESA en het Japanse agentschap voor lucht- en ruimtevaart, JAXA. EarthCARE zal wereldwijde waarnemingen verzamelen van wolk- en aërosolprofielen samen met zonne- en thermische straling om deze parameters op te nemen in numerieke weer- en klimaatmodellen. Bovendien zullen de EarthCARE-aerosolgegevens waardevol zijn voor het monitoren van de luchtkwaliteit.



→ Links

Resources

ESERO Belgium lesmateriaal: <https://eserobelgium.be/index.php/nl/bibliotheek-met-lesmateriaal-voor-het-secundair-onderwijs/>

ESA classroom resources
esa.int/Education/Classroom_resources

ESA extra information

ESA Climate Change Initiative (CCI) <http://cci.esa.int>

ESA CCI greenhouse gases
www.esa-ghg-cci.org

Sentinel-3
esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-3

EarthCARE
esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers/EarthCARE/ESA_s_cloud_aerosol_and_radiation_mission

ESA app "Climate from Space"
esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/Climate_at_your_fingertips

Video "Contributors to sea-level rise"
esa.int/spaceinvideos/Videos/2017/06/Contributors_to_sea-level_rise

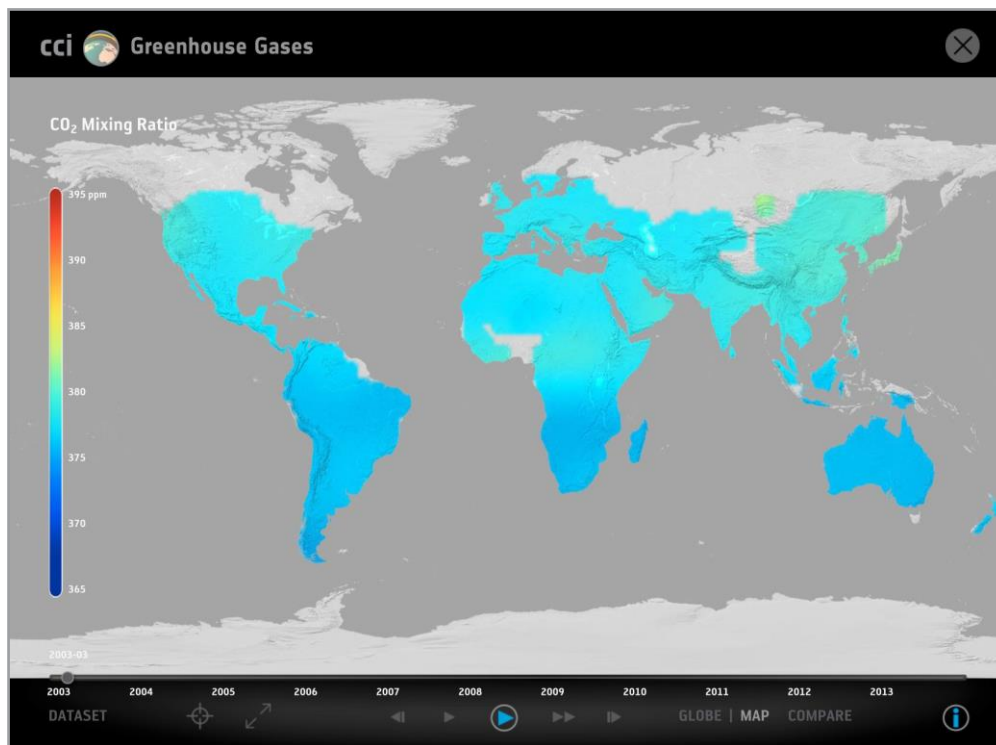
Video about the carbon cycle and its role in climate change esa.int/spaceinvideos/Videos/2018/02/Carbon_Cycle

Video about how atmospheric constituents are changing and how these changes are affecting our climate
esa.int/spaceinvideos/Videos/2018/01/Change_in_atmosphere

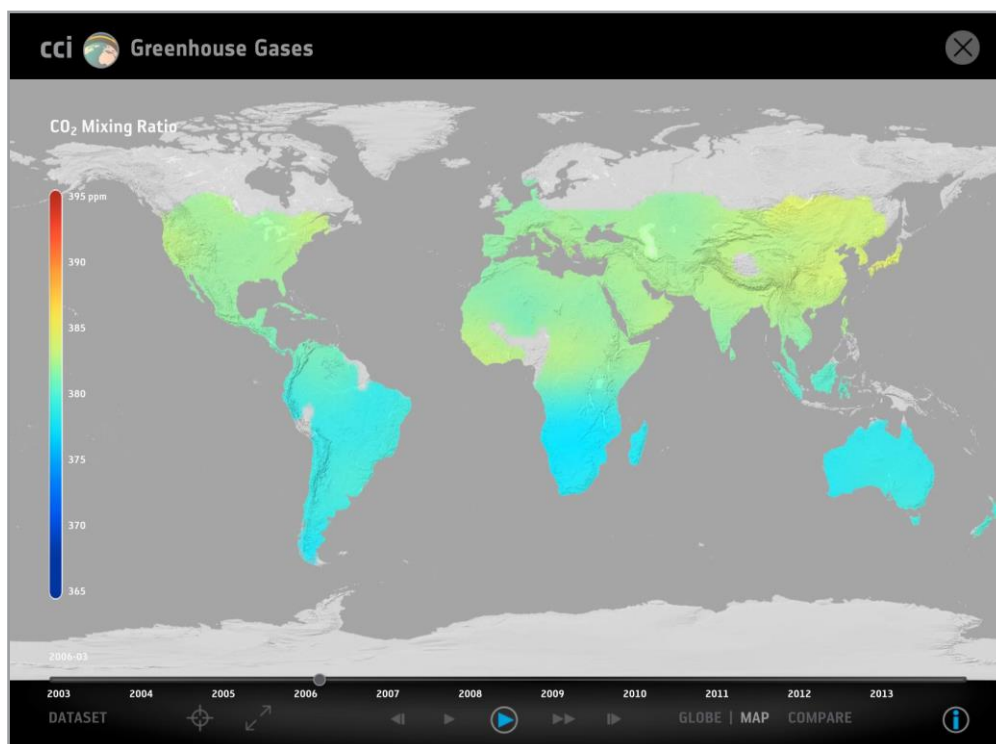
Information about the sea level and how it is measured
www.esa-sealevel-cci.org/Sea%20Level%20information

→ Annex - I

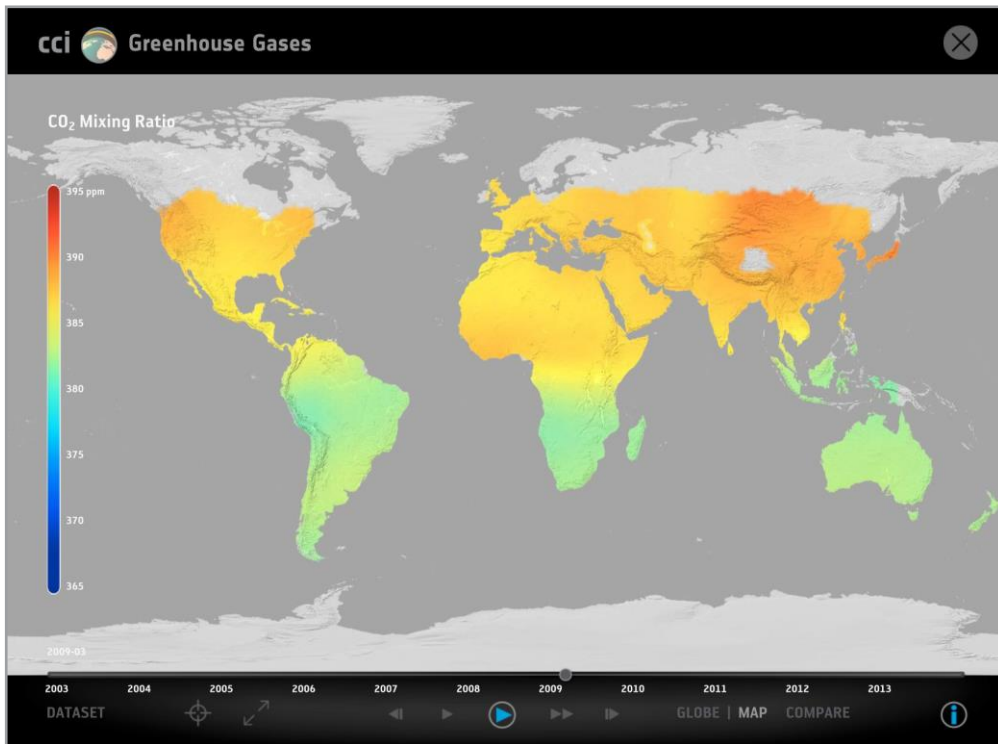
De onderstaande kaarten tonen satellietgegevens over de verdeling van CO₂ in deeltjes per miljoen (CO₂-mengverhouding) voor verschillende jaren. Alle gegevens zijn afkomstig van het CCI-team broeikasgassen van het ESA.



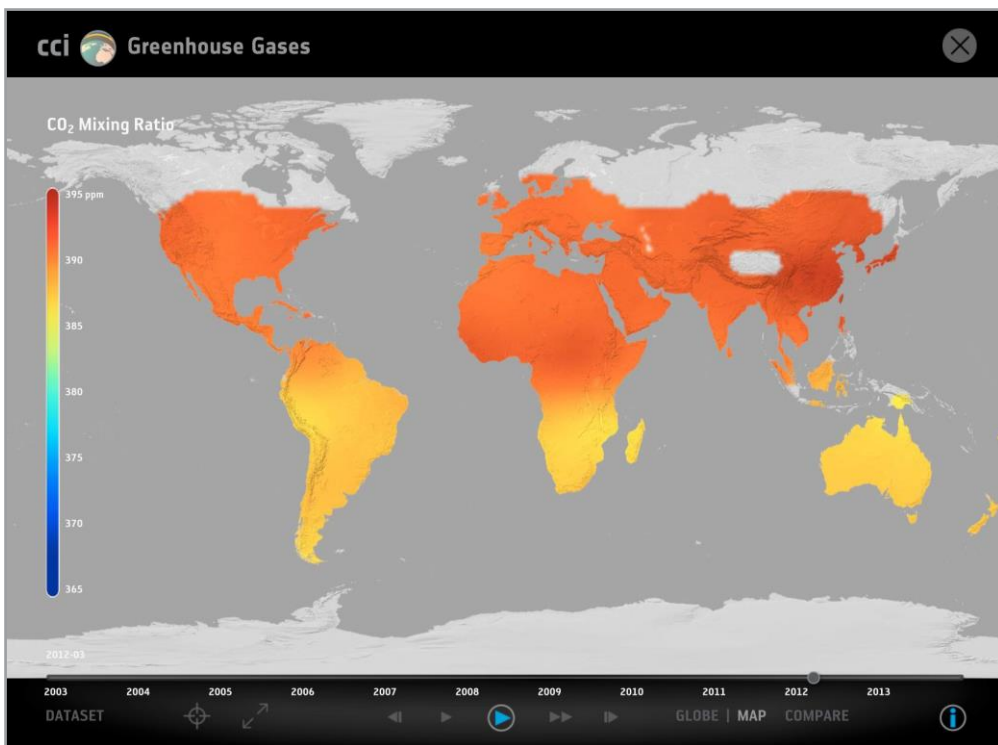
↑ Maart 2003



↑ Maart 2006



↑ Maart 2009



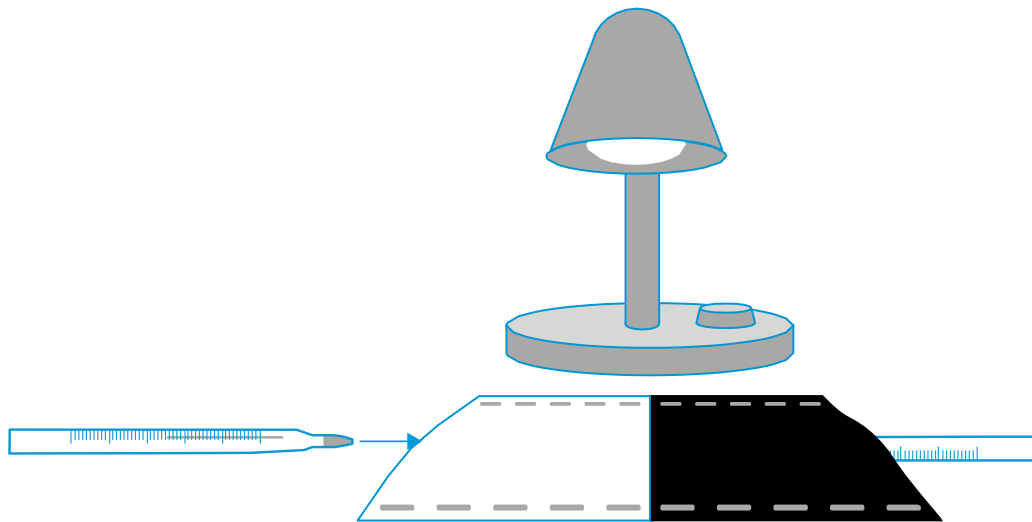
↑ Maart 2012

→ Annex - II

0%	10%
20%	30%
40%	50%
60%	70%

→ Annex - III

Hoe beïnvloedt kleur de temperatuur van de oppervlakken?



1. Knip twee vierkanten van 15 x 15 cm, één uit zwart bouwpapier, één uit wit bouwpapier.
2. Vouw elk vierkant twee keer in de helft.
3. Niet twee randen van elk vierkant om zakken te vormen.
4. Plaats de sensor (metalen puntje) van een thermometer in elke zak.
5. Plaats de thermometers direct onder de lamp (of buiten in de zon), zodat zij evenveel licht ontvangen. De lamp moet recht naar beneden gericht zijn (zie bovenstaande figuur).
6. Geef de thermometers twee minuten de tijd om de temperatuur van de omgevingslucht te bereiken. Dit zal de begintemperatuur zijn. Zorg ervoor dat de thermometers hiervoor niet aan zonlicht worden blootgesteld.
7. Doe de lamp aan. Registreer de temperatuur van elke thermometer om de twee minuten gedurende de volgende 20 minuten.

Het temperatuurverschil tussen de witte en de zwarte plaat zal gewoonlijk 2-3 0C bedragen bij meting onder een lamp, maar misschien 5-6 0C bij meting buiten in de zon.