

Secondary
11-14



onderwijsmiddelenpakket

DE KOOLSTOF CYCLUS

docentenhandleiding
en werkbladen voor studenten



DE KOOLSTOFCYCLUS: Overzicht.....	3
Snelle feiten.....	3
Korte beschrijving	3
Beoogde leerresultaten.....	3
Samenvatting van de activiteiten.....	5
Praktische aantekeningen voor leraren.....	6
Gezondheid en veiligheid.....	6
Klimaat vanuit de ruimte.....	7
Koolstof en klimaat: achtergrondinformatie.....	8
Activiteit 1: DE KOLENCYCLUS.....	10
Activiteit 2: ZURE OCEANEN.....	14
Activiteit 3: koolstof vanuit de ruimte volgen	20
Werkblad 1: DE KOOLSTOFCYCLUS.....	22
Werkblad 2: ZURE OCEANEN.....	24
Werkblad 3: KOOLSTOF VANUIT DE RUIMTE VOLGEN	29
Informatieblad 1: DE KOOLSTOFCYCLUS.....	31
Links	35

Informatiepakket over het klimaatveranderingsinitiatief - DE KOOLCYCLUS

<https://climate.esa.int/nl/educate/>

Activiteit concepten ontwikkeld door Universiteit Twente (NL) en
National Centre for Earth Observation (UK)

Het klimaatbureau van het ESA verwelkomt feedback en opmerkingen

<https://climate.esa.int/nl/helpdesk/>

Geproduceerd door het ESA-klimaatbureau Copyright

© Europees Ruimteagentschap 2020-2021

DE KOOLSTOF CYCLUS: Overzicht

Snelle feiten

Vak(ken): Wetenschap, Scheikunde, Biologie, Aardwetenschappen

Leeftijdsgroep: 11-14 jaar

Type: lezen, praktische activiteit, online onderzoek

Complexiteit: gemiddeld tot gevorderd

Minimaal benodigde lestijd: 4 uur

Kosten: laag (5-20 euro)

Plaats: binnen

Omvat het gebruik van: Internet, presentatie- en beeldsoftware, huishoudelijke zuren

Sleutelwoorden: koolstofdioxide, methaan, koolstofvoetafdruk, koolstofcyclus, emissie, bron, put, broeikasgas, satelliet, aardobservatie, fytoplankton, biomassa, permafrost

Korte beschrijving

In deze reeks activiteiten zullen de leerlingen leren over de koolstofcyclus en deze gebruiken om acties op individueel en gemeenschapsniveau te identificeren om de hoeveelheid koolstof die in de atmosfeer wordt uitgestoten te verminderen.

Een praktische activiteit waarbij huishoudelijke materialen worden gebruikt, gaat in op de gevolgen van oceaanzuring, zodat de leerlingen een nauwkeuriger experiment kunnen ontwerpen om in een laboratoriumomgeving uit te voeren.

In de laatste activiteit gebruiken de leerlingen echte klimaatgegevens in de webtoepassing Climate from Space om een vraag over een onderdeel van de koolstofcyclus te onderzoeken.

Beoogde leerresultaten

Na het doorlopen van deze activiteiten, zullen de leerlingen in staat zijn om:

Een diagram van de koolstofcyclus te maken, met snelle en langzame componenten.

De koolstofcyclus te gebruiken om acties te bepalen die door de mens veroorzaakte klimaatverandering beperken.

Een wetenschappelijke verklaring te geven waarom zo'n actie waarschijnlijk effect zal hebben.

Zich in te leven in de standpunten van anderen.

Het effect te beschrijven van de toegenomen zuurgraad van de oceaan op mariene organismen.

Experimentele technieken en ramingen te evalueren, waarbij bestaande methoden worden uitgebreid om aanvullende informatie te vinden.

De webtoepassing Climate from Space te gebruiken om een vraag over de koolstofcyclus te onderzoeken.

Belangrijke informatie te selecteren om anderen te informeren.

Samenvatting van de activiteiten

	Titel	Beschrijving	Resultaat	Voorafgaand leren	Tijd
1	De koolstofcyclus	Leesopdracht en optionele beoordelings activiteit (spel)	Maak een diagram van de koolstofcyclus, met snelle en langzame componenten. De koolstofcyclus gebruiken om te bepalen welke maatregelen kunnen helpen de door de mens veroorzaakte klimaatverandering te beperken. Geef een wetenschappelijke verklaring waarom zo'n actie waarschijnlijk effect zal hebben. Zich inleven in de standpunten van anderen.	Maak een overzicht van je begrip voor voedselketens, fotosynthese, het broeikaseffect en de cyclus van gesteente zijn wenselijk maar niet essentieel	1 uur + ½ uur voor optionele beoordelings activiteit
2	Zure oceanen	Praktische activiteit	Beschrijf het effect van de toegenomen zuurgraad van de oceaan op mariene organismen. Evalueren van experimentele technieken en schattingen, waarbij bestaande methoden worden uitgebreid om aanvullende informatie te vinden.	Geen	Opstelling ½ uur; 5 minuten na ongeveer een uur en eenmaal per dag gedurende de volgende 2 of 3 dagen; plenair ½ uur
3	Koolstof opsporen vanuit de ruimte	Onderzoeks opdracht	Gebruik de webtoepassing Climate from Space om een vraag over de koolstofcyclus te onderzoeken. Selecteer belangrijke informatie om anderen te informeren.	De koolstofcyclus - b.v. Activiteit 1	1½ uur

De opgegeven tijden gelden voor de belangrijkste oefeningen, ervan uitgaande dat de computer volledig toegankelijk is en/of dat de repetitieve berekeningen en grafieken over de klas worden verspreid. De tijd voor het delen van de resultaten is meegerekend, maar niet de tijd voor het presenteren van de resultaten, want die varieert afhankelijk van de grootte van de klas en de groepen. Alternatieve benaderingen kunnen meer tijd in beslag nemen.

Praktische aantekeningen voor leraren

Het materiaal dat nodig is voor elke activiteit staat aan het begin van het desbetreffende hoofdstuk, samen met aantekeningen over de voorbereiding die nodig kan zijn naast het kopiëren van werkbladen en informatiebladen.

De werkbladen zijn ontworpen voor eenmalig gebruik en kunnen in zwart-wit worden gekopieerd.

Informatiebladen kunnen grotere afbeeldingen bevatten die u in uw presentaties in de klas kunt invoegen, extra informatie voor de leerlingen, of gegevens waarmee zij kunnen werken. Deze hulpmiddelen kunnen het best in kleur worden afgedrukt of gekopieerd, maar kunnen worden hergebruikt.

Eventuele **aanvullende spreadsheets, datasets of documenten** die voor de activiteit nodig zijn, kunnen worden gedownload door de links naar dit pakket te volgen op <https://climate.esa.int/nl/educate/climate-for-schools/>

Ideeën voor uitbreiding en suggesties voor **differentiatie** zijn op geschikte plaatsen in de beschrijving van elke activiteit opgenomen.

Ter ondersteuning van **de beoordeling** zijn werkblad antwoorden en voorbeeld resultaten voor praktische activiteiten bijgevoegd. Mogelijkheden om lokale criteria te gebruiken voor de beoordeling van kernvaardigheden zoals communicatie of gegevensverwerking zijn aangegeven in het relevante deel van de beschrijving van de activiteit.

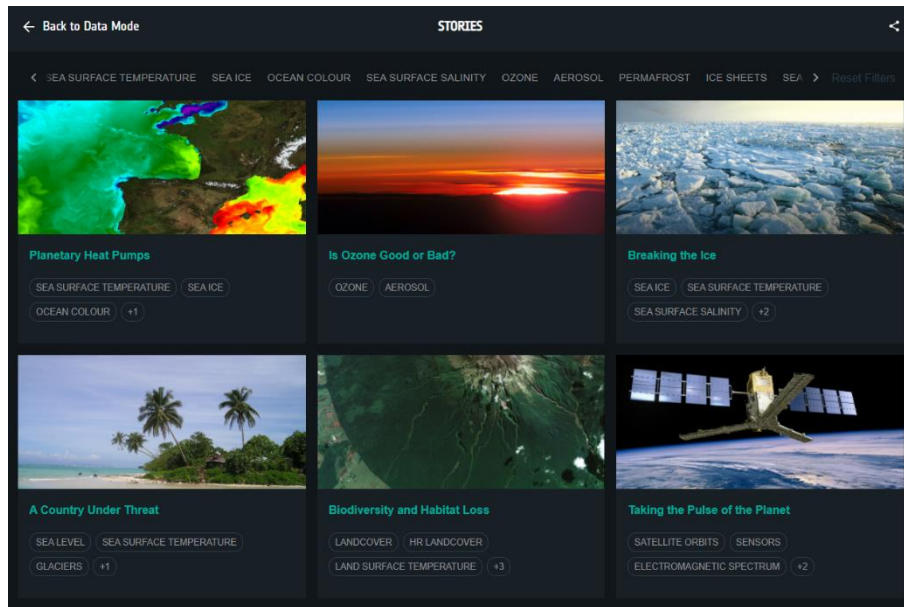
Gezondheid en veiligheid

Bij alle activiteiten zijn wij ervan uitgegaan dat u uw gebruikelijke procedures zult blijven volgen met betrekking tot het gebruik van gemeenschappelijke apparatuur (inclusief elektrische apparaten zoals computers), beweging binnen de leeromgeving, struikelen en morsen, eerste hulp, enzovoort. Aangezien de noodzaak van deze procedures universeel is, maar de details van de uitvoering ervan aanzienlijk zullen verschillen, hebben wij ze niet telkens opgesomd. In plaats daarvan hebben we de gevaren belicht die specifiek zijn voor een bepaalde praktische activiteit, die u kan helpen in de risicobeoordeling.

Sommige van deze activiteiten maken gebruik van de webtoepassing Climate from Space of andere interactieve websites. Het is mogelijk om van daaruit naar andere delen van de ESA Climate Change Initiative-site of die van de gastorganisatie en vandaar naar externe websites te gaan. Als u de pagina's die de leerlingen kunnen bekijken niet kunt - of wilt - beperken, herinner hen dan aan uw lokale internet veiligheidsregels.

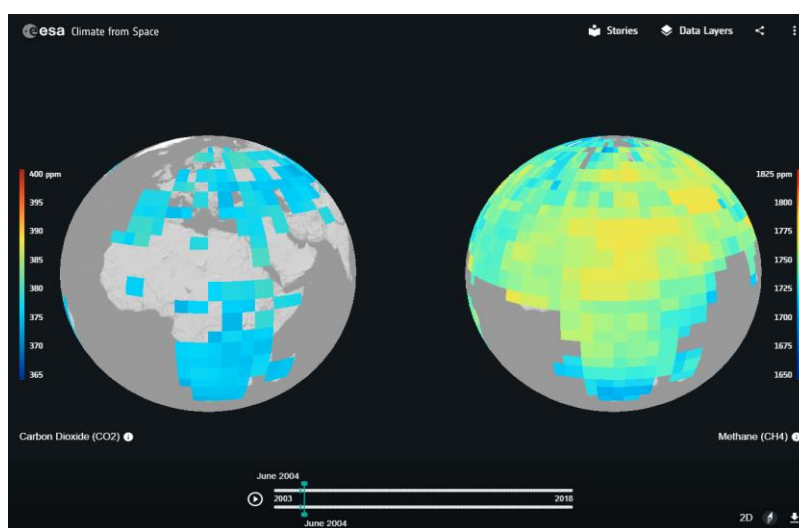
Klimaat vanuit de ruimte

ESA-satellieten spelen een belangrijke rol bij het monitoren van klimaatverandering. De webtoepassing Climate from Space (cfs.climate.esa.int) is een online hulpmiddel dat aan de hand van geïllustreerde verhalen een overzicht geeft van een aantal manieren waarop onze planeet verandert en het werk van ESA-wetenschappers belicht.



Figuur 1: Verhalen in de webtoepassing Climate from Space (Bron: ESA CCI)

Het ESA-programma Climate Change Initiative produceert betrouwbare wereldwijde registraties van een aantal belangrijke aspecten van het klimaat, de zogenaamde essentiële klimaatvariabelen (EKV's). Met de webtoepassing Climate from Space kan je meer te weten komen over de gevolgen van klimaatverandering door deze gegevens zelf te onderzoeken.



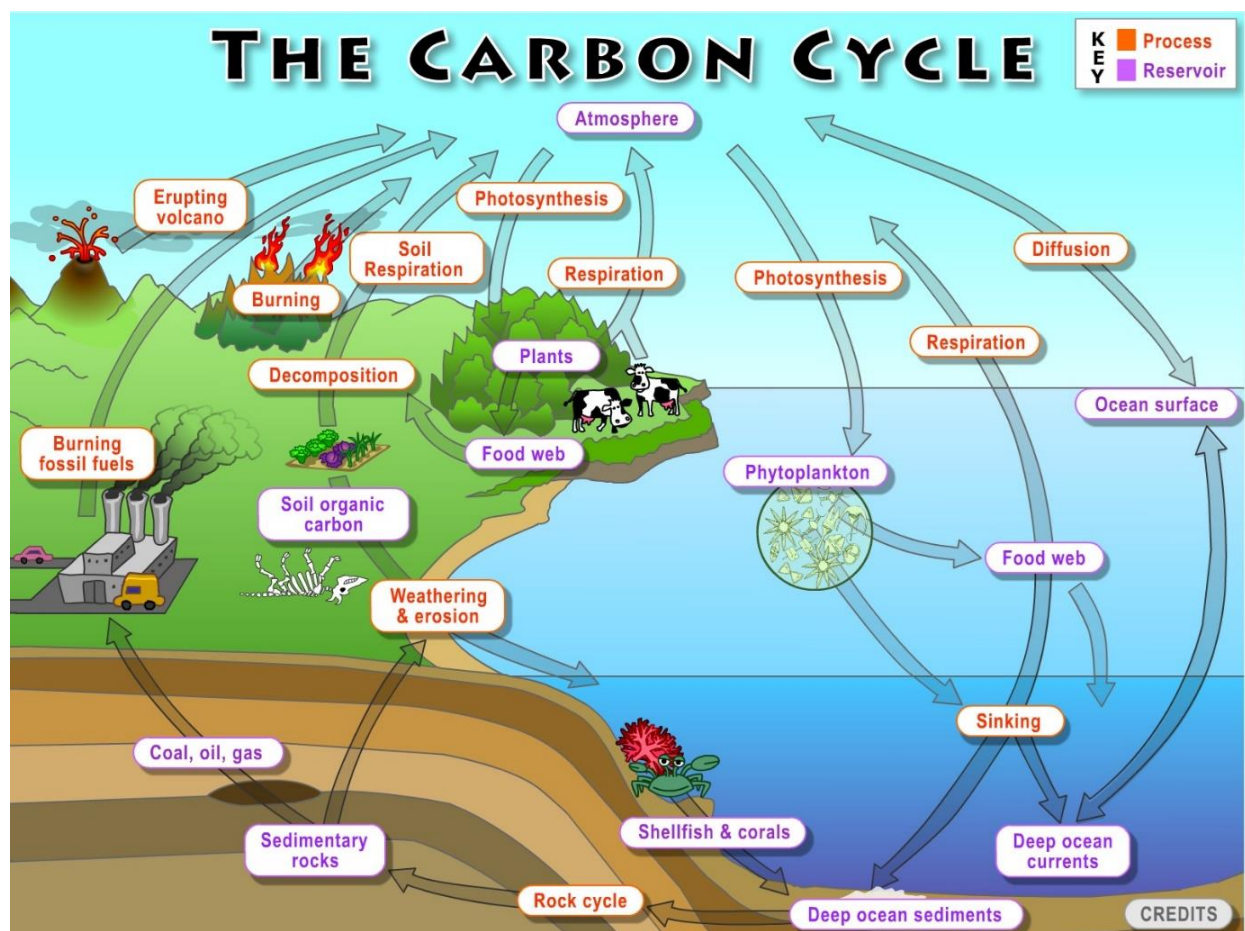
Figuur 2: Vergelijking van kooldioxide- en methaangegevens in de webtoepassing Climate from Space (Bron: ESA CCI)

Koolstof en klimaat: achtergrondinformatie

De koolstofcyclus

De relatieve overvloed aan koolstof in de atmosfeer en de korst van de aarde is verrassend laag - minder dan 0,5% in beide gevallen. Toch zijn koolstofverbindingen essentieel voor het leven: zij vormen de weefsels van alle levende wezens. Alle organische koolstof, en bijna alle koolstof die is opgeslagen in de oceanen en de grond onder onze voeten, werd eerst uit de atmosfeer gehaald door fotosynthese. Afzonderlijke atomen worden samen onderdeel van verschillende moleculen, opgeslagen in verschillende opslagplaatsen (putten), en het kan seconden of aeonen duren voordat ze weer in de atmosfeer terechtkomen.

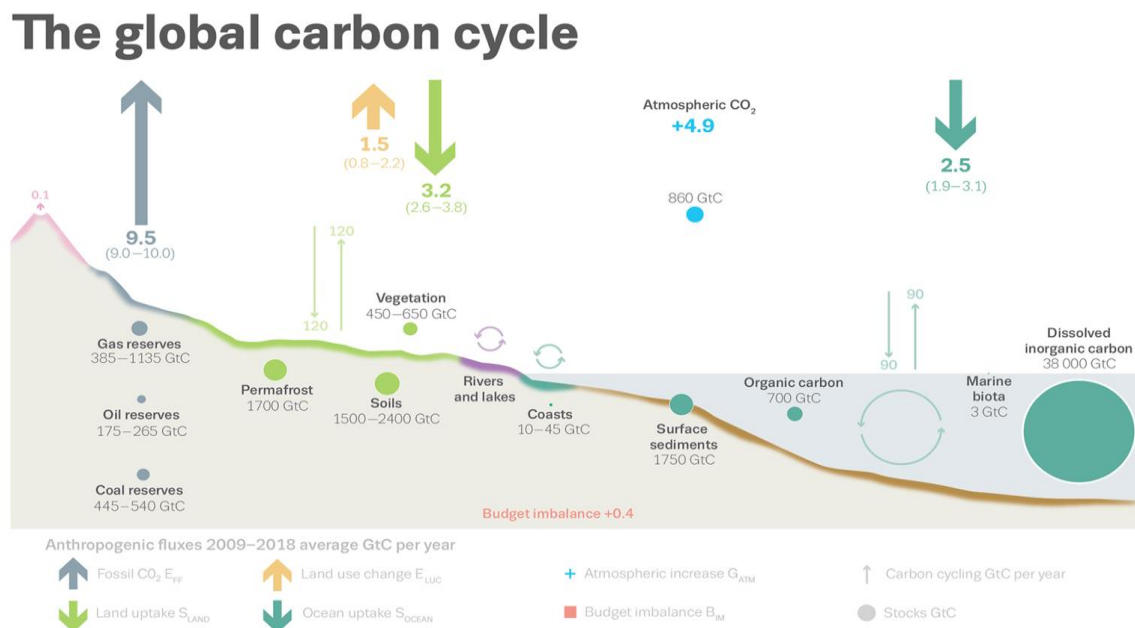
Hoe koolstof zich door de koolstofkringloop beweegt is welbekend en wordt beschreven op informatieblad 1 (zie ook figuur 3). Naarmate menselijke activiteiten de cyclus echter verstoren - waarbij koolstofverbindingen sneller in de atmosfeer vrijkomen dan zij worden geabsorbeerd - wordt het steeds belangrijker om te weten hoeveel koolstof is opgeslagen in de verschillende putten of reservoirs, en hoeveel door elk proces wordt overgedragen. Dit geldt met name in situaties waarin een opwarmende planeet tot positieve terugkoppeling kan leiden. Zo draagt bijvoorbeeld methaan dat vrijkomt bij het ontdooien van permafrost bij tot verdere opwarming.



Figuur 3: De koolstofcyclus (Bron: Jeff Lockwood, gebruikt onder CC BY-NC-SA 3.0)

Klimaatverandering en de koolstofcyclus

De sleutel tot de beheersing van klimaatverandering is het beheer van de koolstofcyclus - het verhogen van de hoeveelheid koolstof die in putten is opgeslagen en het verminderen van de emissies. Figuur 4 toont de omvang van enkele van deze opslagplaatsen en overdrachten (fluxen). Activiteit 1 stelt de leerlingen in staat individuele en gemeenschappelijke acties in verband te brengen met deze processen.



Figuur 4: Menselijke invloed op de mondiale koolstofcyclus
(Bron: Pierre Friedlingstein, Matthew W. Jones, Michael O'Sullivan et al.; gebruikt onder CC BY-SA 4.0)

Verzamelen van koolstofgegevens

Zoals blijkt uit de figuren 3 en 4, hebben we informatie nodig over een enorm aantal zaken als we de koolstofcyclus en de invloed daarvan op het klimaat willen begrijpen. Het verzamelen van gegevens over bijvoorbeeld het deel van de bodem dat het hele jaar door op de hele Noordpool bevroren blijft, zou niet mogelijk zijn als we alleen metingen op de grond zelf konden verrichten. Sommige satellieten in een baan om de aarde "kijken" elk kwartier naar alles op één halfrond. Andere satellieten reizen ongeveer om de tien dagen over elk deel van de planeet. Eén enkel satellietbeeld kan meer informatie bevatten dan een leger mensen op de grond zou kunnen verzamelen.

Sensoren op satellieten kunnen niet alleen foto's maken om te laten zien hoe de aarde eruit ziet - wat ons bijvoorbeeld kan helpen te volgen hoe we land gebruiken - maar stellen ons ook in staat veel variabelen te meten die te maken hebben met de delen van de koolstofcyclus die we niet kunnen zien, zoals de concentratie van gassen in de atmosfeer, de temperatuur van het land- en zeeoppervlak, en de hoeveelheid koolstof die als biomassa is opgeslagen. Activiteit 3 geeft de leerlingen de kans om met sommige van deze gegevens te werken. Ze kunnen meer te weten komen over de manier waarop die gegevens worden verzameld in de lespakketten "*Het Ritme van de Planeet Opmeten*", die verkrijgbaar zijn op <https://climate.esa.int/nl/educate/climate-for-schools/>.

Activiteit 1: DE KOLENCYCLUS

Deze activiteit stelt de leerlingen in staat inzicht te krijgen in de koolstofcyclus, hoe menselijke activiteiten deze verstoort en hoe de overweging ervan ons kan helpen acties te bepalen om klimaatverandering te beperken. De taken ondersteunen de leerlingen in hun lees- en schrijfvaardigheid: lezen om te begrijpen en schrijven om te informeren en te overtuigen, en moedigen hen aan kritisch na te denken over hun kennis en empathie te gebruiken om een ander standpunt in te nemen. Sommige of alle taken op het werkblad kunnen als huiswerk worden opgedragen: de beschrijving hieronder is een suggestie van hoe het in de klas gebruikt kan worden, aangevuld met een extra activiteit.

Benodigheden

- Informatieblad 1 (2 blz.)
- Werkblad 1 voor studenten
- Climate from Space webtoepassing: Koolstofcyclusverhaal (optioneel)
- Internettoegang
- Materiaal voor het maken van posters of software voor het maken/verwerken van afbeeldingen waar de leerlingen bekend mee zijn (optioneel)
- Een tennisbal of volleybal voor elke groep van 4-6 leerlingen (optioneel)

Oefening

1. Lees informatieblad 1 klassikaal voor of vraag de leerlingen het individueel of in groepjes te lezen, zoals beschreven in stap 1 en 2 op leerlingenblad 1.
Als de leerlingen in tweetallen of in groepjes werken, moedig hen dan aan om hun kennis van de dikgedrukte begrippen te delen en alleen te verwijzen naar eerder werk, schoolboeken of het internet als geen van hen/ niemand bekend is met het begrip.
Als u met de hele klas werkt, kunt u de tweede lezing van het informatieblad illustreren met beelden uit het verhaal *over de koolstofcyclus* in de webtoepassing Climate from Space, in het bijzonder de video op dia 4.
2. Vraag de leerlingen schema's te maken van de koolstofcyclus. De leerlingen kunnen individueel, in tweetallen of in groepjes werken. Ze kunnen A4-papier gebruiken, een volledige bladzijde in hun schriften, of software om afbeeldingen te maken/te verwerken; en misschien nog andere media, afhankelijk van de beschikbare tijd en middelen.
Moedig hen aan het schema niet te krap te maken, zodat ze bij stap 5 van het werkblad nog ruimte hebben om meer informatie toe te voegen.
3. Zodra de leerlingen informatie over de rol van methaan in de koolstofcyclus aan hun diagram hebben toegevoegd (werkblad stappen 4 en 5), kunt u de hieronder beschreven activiteit 'Circulerende koolstof' gebruiken om hun begrip van de cyclus te beoordelen.
De antwoorden op de stappen 6 en 7 van het werkblad kunnen ook op die manier worden gebruikt.
4. Het volgende deel van de activiteit is gericht op maatregelen om de uitstoot te verminderen. Begin met een algemene discussie over klimaatverandering.

Denken de leerlingen dat zij erdoor beïnvloed worden? Welke individuele acties ondernemen ze?

5. De stappen 8-10 op het werkblad voor de leerlingen gaan over het lobbyen voor een actie om klimaatverandering op maatschappelijk niveau te beperken. U kunt eventueel de grootte van het gebied en/of de plaats vermelden waar u wilt lobbyen en het soort persoon tot wie u zich wilt richten. (In het Verenigd Koninkrijk zouden de leerlingen bijvoorbeeld kunnen overwegen om gemeenteraadsleden aan te spreken over een actie die de stad zou kunnen ondernemen, of parlementsleden als ze een nationaal beleid voorstellen). De instructies op het werkblad vragen de leerlingen een logisch argument te formuleren voor de goedkeuring van hun bestrijdingsplan, na te denken over mogelijke zwakke punten daarin en manieren te zoeken om die aan te pakken. Sommige van de aanvullende informatie die nodig is om een goed argument te formuleren (zie de ideeën in de antwoorden op het werkblad hieronder) kan nogal technisch of moeilijk te verkrijgen zijn. Toch kan het wenselijk zijn voor de leerlingen om het nodige extra onderzoek uit te voeren en een voorstel te schrijven voor de relevante vertegenwoordiger(s), vooral als ze op gemeenschapsniveau werken. Als een bezoek kan worden geregeld, kunnen de leerlingen hun voorstellen presenteren. In dat geval zou het een goed idee zijn voor de leerlingen om in groepjes te werken.

Circulerende koolstof (optionele beoordelings activiteit)

Deze activiteit moet buiten of in een (gym)zaal worden uitgevoerd.

Het idee is om als groep verhalen te verzinnen die laten zien hoe een enkel koolstofatoom, weergegeven door een bal, zich door de koolstofkringloop beweegt. De leerlingen stellen plaatsen voor waar het atoom enige tijd wordt bewaard.

Als de leerlingen de bal doorgeven, zeggen ze wat ze voorstellen, in welke vorm of/en waar ze het koolstofatoom 'vasthouden', en via welk proces ze het doorgeven. De leerlingen kunnen de bal meer dan één keer krijgen en van rol wisselen naarmate het 'atoom' door de cyclus en terug naar het beginpunt beweegt.

Bijvoorbeeld:

STUDENT 1: Ik ben fytoplankton en deze koolstof zit in verbindingen in mijn cel. Ik word opgegeten door een vis. (STUDENT 1 gooit de bal naar STUDENT 2.)

Ik ben een vis. Ik verteer het fytoplankton, en de koolstof wordt onderdeel van een vetmolecuul in mijn weefsels. Ik word opgegeten door een vogel. (STUDENT 2 gooit de bal naar STUDENT 3.)

STUDENT 3: Ik ben een vogel. Ik verteer de vis en gebruik de energie opgeslagen in zijn vet voor de ademhaling. Ik adem het koolstofatoom uit in de atmosfeer als koolstofdioxide. (STUDENT 3 gooit de bal naar STUDENT 4.)

Ik ben de atmosfeer. Deze molecuul koolstofdioxide wordt geabsorbeerd door een regendruppel. (STUDENT 1 gooit de bal naar STUDENT 1.)

STUDENT 1: Ik ben een regendruppel met koolzuur ...

De regendruppel kan in de oceaan vallen en worden geabsorbeerd door fytoplankton, waardoor de kringloop wordt gesloten, of een meer omslachtige weg volgen.

1. Vraag de leerlingen groepjes van 4-8 te vormen. Elke groep heeft een bal nodig en moet in een cirkel gaan staan.
2. Demonstreer het idee door één groep te helpen terwijl de anderen toekijken.
3. Geef de groepjes tien tot twintig minuten om de langste ketting die ze kunnen bedenken te maken.
4. Vraag elke groep om beurt om hun langste ketting te tonen. Andere groepen kunnen gewoon van het verhaal genieten of gevraagd worden om de kennis van hun medeleerlingen te beoordelen en feedback te geven.

Ketens kunnen secties bevatten zoals:

koolstof in een prehistorische vogel → stierf in grot → grot stort in → lichaam samengeperst met dat van vele anderen → koolstofatoom nu in olie → olie gewonnen en verbrand in een automotor → koolstof uitgestoten in de atmosfeer als CO₂

koolstof in een blad → blad valt op bosbodem → blad afgebroken door een schimmel → schimmel opgegeten door termiet ...

Werkblad antwoorden

1. De hier gegeven definities zijn niet volledig, maar illustreren het begripsniveau dat de term in deze context vereist.
 - **broeikaseffect:** zonlicht dat door de atmosfeer valt, verwarmt de aarde; CO₂ en andere gassen in de atmosfeer voorkomen dat deze warmte opnieuw de ruimte ingestraald wordt
 - **fotosynthese:** de vorming van eenvoudige suikers uit CO₂ en water in de aanwezigheid van licht
 - **ademhaling:** de afbraak van eenvoudige suikers in CO₂ en water om levende wezens van energie te voorzien
 - **afbraak:** de afbraak van organisch materiaal in de loop van de tijd; dit kan gepaard gaan met vertering door andere organismen en met chemische processen
 - **sedimentgesteente:** gesteente dat ontstaat wanneer materiaal zoals zand of resten van organismen wordt samengeperst
 - **metamorf gesteente:** sedimentgesteente dat door druk en/of warmte is getransformeerd
 - **fossiele brandstoffen:** brandstoffen die ontstaan wanneer de resten van prehistorische organismen zijn blootgesteld aan hitte en druk; steenkool, olie en gas

- **Industriële Revolutie:** de snelle groei van de verwerkende industrie op basis van stoomkracht, die plaatsvond vanaf ongeveer 1750.
2. Individuele antwoorden.
 3. Zie figuur 3 op bladzijde 7.
 4. Moerassen, vee, stortplaatsen, bosbranden, winning van fossiele brandstoffen.
 5. Zie figuur 3 op bladzijde 7.
 6. Hoeveel koolstof of CO₂ een individu of een gemeenschap uitstoot in de atmosfeer - niet inbegrepen wat ze uitademen!
 7. De leerlingen kunnen denken aan zaken als herbeplanting of herbebossing van bepaalde gebieden; financiële stimulansen of infrastructuurontwikkeling voor vervoer met een lage of nulmissie of vermindering van het aantal reizen; verwarming of koeling van openbare gebouwen, of/en steun om die van particuliere gebouwen efficiënter te maken; elektriciteitsopwekking en energie-efficiëntie; afvalverwerking, enzovoort.
 8. Individuele antwoorden.
 9. Aanvullende gegevens die nodig zijn om de haalbaarheid van een plan te beoordelen zullen variëren, maar kunnen betrekking hebben op de opstartkosten en de lopende kosten (apparatuur, land, tijd); extra voordelen die de kosten kunnen mitigeren; hoeveel verschil de verandering zal maken voor de emissies; de betrokkenheid van de gemeenschap, vooral als mensen hun manier van leven zullen moeten aanpassen; het aantal mensen dat de gevolgen van het plan zal ondervinden (zowel in positieve als in negatieve zin); het effect op de werkgelegenheid, enzovoort.
 10. De mogelijke bronnen voor deze bijkomende gegevens zullen ook variëren. Leerlingen kunnen openbare gegevensbanken voorstellen voor bevolkingsgegevens en informatie over de infrastructuur; technologiebedrijven voor details over specifieke toestellen; wetenschappelijke literatuur voor het effect op de uitstoot; opiniepeilingen en enquêtes om de vraag en de waarschijnlijke respons te beoordelen, enzovoort.

Activiteit 2: ZURE OCEANEN

Met deze praktische activiteiten kunnen de leerlingen de effecten van de verzuring van de oceaan zien, dit in verband brengen met de chemische reactie die optreedt, en nagaan hoe ze met dezelfde eenvoudige apparatuur meer te weten kunnen komen. Door het gebruik van alledaagse materialen zijn de activiteiten geschikt voor thuis- of afstandsonderwijs.

Benodigheden

- Werkblad 2 voor de leerlingen (3 blz.)
- 3 potten of bekertjes per groep
- 2 flessen of kleinere potten per groep
- Gedistilleerde azijn - genoeg om de grotere pot of beker voor de helft te vullen en om beide flessen of kleinere potten te vullen
- Citroen- of limoensap - om een pot half te vullen
- 4 eierschalen per groep
- 2 ballonnen per groep
- Oogbescherming
- Doeken of papieren handdoeken
- Pincet of tang

Vorbereiding en opmerkingen over de benodigheden

Vraag de leerlingen om van tevoren eierschalen te verzamelen, en deze schoon te maken!

Voor het eerste deel van de activiteit zijn potten of bekertjes nodig met een opening die groot genoeg is om er een ei door te laten passen.

De pot of fles voor het tweede deel moet een hals hebben die smal genoeg is om er een ballon op te plaatsen, maar breed genoeg om de ballon er goed in te laten passen. Eventueel kan plakband, een touwtje of een elastiekje worden gebruikt om de afsluiting te verbeteren.

Opmerking: Dunne PET-flessen kunnen zelf uitzetten en zijn dus niet geschikt voor deze activiteit.

Als u citroen- of limoensap uit een fles gebruikt (het soort dat wordt verkocht om mee te koken), bespaart u heel wat tijd en geknoei. Als u vers fruit gebruikt, zeef het sap dan om de pulp te verwijderen.

Zeeschelpen van ambachtelijke leveranciers zijn een realistischer alternatief voor eierschalen, maar het duurt waarschijnlijk langer voordat het effect zichtbaar is. Als u ze toch gebruikt, controleer dan of ze van duurzame herkomst zijn.

Gezondheid en veiligheid

Oogbescherming moet worden gedragen.

Bij deze activiteit worden voedingsmiddelen gebruikt, dus moet de leerlingen worden verteld dat ze niets mogen proeven. Zorg ervoor dat er materiaal beschikbaar is om gemorste stoffen op te ruimen.

Oefening

1. Leg uit dat warmere oceanen meer CO₂ uit de atmosfeer kunnen opnemen en dat dit de oceanen zuurder maakt.
Opmerking: Hoewel dit op dit moment het geval is, suggereert onderzoek dat voortdurende opwarming het vermogen van de oceanen om CO₂ op te nemen kan verminderen.
2. We gaan het effect van oceaanzuuriging onderzoeken met een model waarin:
 - schelpdieren en koraal worden gerepresenteerd door eierschalen (die zijn van hetzelfde materiaal gemaakt)
 - krijt stikken staan voor kliffen of kusten gevormd uit sedimentair gesteente
 - zwakke zuren die we in onze keuken kunnen vinden, vertegenwoordigen een verzuurde oceaan.
3. Vraag de leerlingen hun apparatuur op te stellen volgens de instructies op werkblad 2.1 en hun eerste waarnemingen te noteren. Ze kunnen enkele belangrijke punten noteren op leerlingblad 2.2, foto's maken en/of meer gedetailleerde beschrijvingen in hun schriften noteren.
Opmerking: Het is belangrijk om de ballonnen van tevoren uit te rekken om het rubber te ontspannen, omdat het geproduceerde kooldioxide niet zoveel overdruk creëert als de longen van de leerlingen.
4. De intervallen tussen de waarnemingen hoeven niet precies te zijn, dus de waarneming die eigenlijk na één uur zou moeten worden gemaakt, kan ook aan het einde van de les worden gemaakt. Als u dit doet, kan de tussenruimte gebruikt worden voor de bespreking van de vragen 3, 4 en 5 van leerlingwerkblad 2.3.
5. Als de leerlingen hun resultaten hebben verzameld, vraag hen dan de vragen op leerling-werkblad 2.3 in te vullen.
Dit kan als evaluatie worden gebruikt of met de klas worden besproken. U kunt sommige of alle vragen als huiswerk meegeven.
Jongere of minder vaardige leerlingen kunt u helpen vraag 4 en 5 te beantwoorden door extra materiaal voor te stellen dat ze zouden kunnen gebruiken (zie Werkblad antwoorden, hieronder).
Bij een klassikale bespreking is het de moeite waard om het te hebben over de positieve terugkoppelingsskring die uit dit proces ontstaat.
6. U kunt de leerlingen vragen verder onderzoek te doen naar de gevolgen van oceaanzuuriging voor het leven in zee.

Resultaten steekproef

In azijn en citroensap verschijnen vrijwel onmiddellijk belletjes rond de eierschalen. In water kunnen zich rond de eierschalen enkele belletjes voordoen, maar deze zijn

waarschijnlijk van ingesloten lucht en verspreiden zich in de loop van een uur of dagen (zie figuur 5 op de volgende bladzijde).

Het meeste schoolbordkrijt is van gips gemaakt, dat slechts kleine hoeveelheden calciumcarbonaat bevat. De belletjes die van het krijt afkomen zijn waarschijnlijk kleiner (zie figuur 6 op de volgende bladzijde), hoewel het er waarschijnlijk meer zullen zijn, althans in het begin.

Na een uur kunnen de eierschalen in de zuren zachter zijn geworden of enige putjes vertonen - vooral aan de randen, die gladder kunnen zijn geworden. De reactie met het krijt kan volledig zijn gestopt als al het vatbare calciumcarbonaat heeft gereageerd.



Figuur 5: Eierschalen in azijn, citroensap en water na ongeveer een uur (Bron: ESA CCI)

De schelp in azijn zal na twee of drie dagen volledig zijn opgelost, en de schelp in citroensap zal goed op weg zijn (zie figuur 7).



Figuur 6: Kleinere belletjes uit krijt in azijn. Vergelijk met die uit eierschalen in figuur 5. (Bron: ESA CCI)



Figuur 7: Eierschalen na een dag in azijn (links) en citroensap (rechts) (Bron: ESA CCI)

De ballon boven het potje met de krijtjes zal waarschijnlijk niet veel uitzetten, maar die boven het potje met de eierschaal zal waarschijnlijk een redelijke hoeveelheid gas opvangen, hoewel dit het eerste uur misschien geen zichtbaar verschil zal maken (zie figuur 8).

Naarmate de reactie tussen de azijn en de eierschaal vertraagt, kan het volume van de ballon constant blijven, of zelfs afnemen als het gas sneller door de ballon diffundeert dan er extra gas wordt ontwikkeld.



Figuur 8: Ballonnen voor deel 2 van de activiteit na enkele uren: eierschaal en azijn (links), krijt en azijn (rechts) (Bron: ESA CCI)

Werkblad antwoorden

1. Voer het door kalkwater, dat troebel zal worden als het gas CO_2 is.
2. a. De schelpen van weekdieren zullen verbleken en dunner worden, waardoor ze kwetsbaar worden.
De skeletten van koralen - het deel wat wij koraal noemen - zullen oplossen.
b. De chemische verwerking van het gesteente zal versnellen.
c. Dit zal toenemen.
3. $\text{CaCO}_3 + 2\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
4. a. De eenvoudigste benadering is om een touwtje te gebruiken om de omtrek van de ballon te meten.
Als we aannemen dat de ballon een cirkelvormige doorsnede heeft, kunnen we de straal berekenen en als we aannemen dat het een bol is, kunnen we uit de straal het volume berekenen.
Afhankelijk van de gebruikte ballon kunnen de leerlingen de ballon ook benaderen als een cilinder, of een combinatie van een bol en een cilinder, en vervolgens de corresponderende metingen te verrichten.
b. Dit hangt af van de vorm van de ballon en de gemaakte veronderstellingen (zie hierboven).
Een voorbeeld: bij de ballonnen in figuur 8 is de horizontale doorsnede elliptisch in plaats van cirkelvormig, zodat de straal waarschijnlijk kleiner zal zijn dan de straal die op basis van de omtrek wordt berekend, wat leidt tot een te hoge schatting.
Het opgeblazen gebied zou echter boven en onder de bol uitsteken die het geacht wordt te vullen, wat ervoor zorgt dat het werkelijke volume groter kan zijn dan het berekende volume.
De mogelijkheid bestaat dat de twee fouten elkaar opheffen.
5. Punten die in de antwoorden van de studenten kunnen worden meegeteld:
 - Gebruik van azijn/zuur in verschillende verdunningen.
 - Meet hoe lang het duurt voordat een bepaald volume CO_2 vrijkomt, of de ballon een bepaalde omtrek bereikt (dit laatste is riskanter omdat het mogelijk is het juiste tijdstip te missen).
 - Meet de omtrek van de ballon met intervallen en vergelijk of plot.
 - Gebruik een lijn die rond de ballon is gemarkeerd om ervoor te zorgen dat de omtrek steeds op hetzelfde punt wordt gemeten.
 - Meet telkens het volume van het zuur en de massa van de gebruikte eierschalen.
 - Meer wiskundig bekwame leerlingen kunnen voorstellen de snelheid te berekenen door het volume door de tijd te delen of door de gradiënt van een grafiek te gebruiken. Zij kunnen zich er ook van bewust zijn dat, zelfs als zij geen volume berekenen, zij de kubus van elke lineaire meting moeten gebruiken om er zeker van te zijn dat zij iets beschouwen dat in verhouding staat tot het volume.
 - Degenen die zich bewust zijn van de factoren die de snelheid van een reactie beïnvloeden, kunnen opmerken dat een constante temperatuur nodig is en dat de vaste stof telkens in stukken van gelijke grootte moet zijn.

Opmerking: Omdat azijn een verdunde oplossing van een zwak zuur is, zijn de hoeveelheden kooldioxide die vrijkomen te klein, zelfs in theorie, om een onderzoek als dit praktisch te maken. De leerlingen zouden de methode die zij bedenken echter kunnen gebruiken als basis voor laboratoriumwerk met zoutzuur en marmer snippers.

Activiteit 3: koolstof vanuit de ruimte volgen

In deze activiteit gebruiken de leerlingen de webtoepassing Climate from Space om een vraag over een deel van de koolstofcyclus te onderzoeken en een presentatie voor te bereiden om hun bevindingen aan anderen uit te leggen. Deze activiteit kan individueel, met z'n tweeën of in kleine groepjes worden uitgevoerd. Als leerlingen samenwerken en/of niet bekend zijn met de webtoepassing, is het nuttig om ten minste het eerste deel van de oefening klassikaal uit te voeren, hoewel de activiteit ook geschikt is om zelfstandig te doen.

Uitrusting

- Internettoegang
- Webtoepassing Climate from Space
- Werkblad 3 voor de leerlingen (2 bladzijden, tweede bladzijde optioneel)
- Presentatie software zoals PowerPoint

Oefening

1. Geef de leerlingen wat tijd om zich bekend te worden met de webtoepassing Climate from Space of demonstreer het gebruik ervan aan de hand van de instructies in het kader bovenaan werkblad 3.1.
De basiskaart (donkergrijze oceanen en lichtgrijs land) laat doorschemeren op plaatsen waar het niet mogelijk is geweest om op betrouwbare wijze uit te rekenen hoeveel kooldioxide er in de lucht zit. Dit kan komen doordat de bewolking verhinderde dat de satelliet sensor voldoende gegevens verzamelde om zeker te zijn van de meting.
Wanneer de leerlingen andere variabelen onderzoeken, kunnen ze ook merken dat de pixels voor verschillende hoeveelheden verschillend van grootte zijn. Daar zijn meerdere redenen voor, onder andere dat er meer ruwe gegevens nodig zijn om sommige variabelen te berekenen dan andere, en dat verschillende instrumenten verschillende resoluties kunnen hebben. Meer informatie hierover is te vinden in de '*Taking the Pulse of the Planet*'-pakketten, verkrijgbaar op <https://climate.esa.int/nl/educate/climate-for-schools/>
2. Vraag de leerlingen een van de voorgestelde vragen te onderzoeken en een korte presentatie te maken zoals beschreven op leerlingenblad 3.1.
Misschien wilt u de vragen aan bepaalde leerlingen of groepen toewijzen. Hoewel de opdracht open is, zodat differentiatie naar resultaat mogelijk is, kunnen eerdere vragen gemakkelijker zijn dan latere vragen, afhankelijk van de voorkennis van de klas.
Leerlingenblad 3.2 biedt ondersteuning door gebieden voor te stellen waarop ze zich kunnen concentreren (de leerlingen moeten misschien een cartografie toepassing gebruiken om deze gebieden te lokaliseren) en, in sommige gevallen, een paar meer gedetailleerde vragen.
3. Als de leerlingen hun bevindingen aan elkaar moeten presenteren, kunt u misschien een tijdslimiet toevoegen aan de lijst met instructies voor de presentatie, of/en geschikte criteria voor een onderlinge beoordeling bespreken.

Werkblad antwoorden

Bij deze activiteit komt het erop neer dat de leerlingen bewijs leveren om hun antwoorden te ondersteunen, in plaats van alleen maar het voor de hand liggende verband aan te geven met weinig ondersteunende details.

Echter, in grote lijnen:

- Wordt het seizoensgebonden karakter van de CO₂-niveaus besproken op informatieblad 1 en de langetermijntrend van stijgende niveaus blijkt duidelijk uit de verandering in de overheersende kleur van de gegevens.
- Vertonen rijst groeiende regio's of gebieden die vatbaar zijn voor brand duidelijke seizoensgebonden veranderingen in het methaangehalte. Ook deze gegevens laten een duidelijke jaarlijkse stijging zien.
- Neemt de oppervlakte bedekt met permafrost af - in de gegevens te zien aan de lichtere kleuren en de omvang - en dit hangt samen met de toename van broeikasgassen. Laat de leerlingen nadenken over de vraag of deze correlatie al dan niet een oorzakelijk verband aantoont, en zo ja, in welke richting.
- Wordt over het algemeen een toename van de verbrande oppervlakte in verband gebracht met een toename van de koolstofconcentratie in de atmosfeer en een afname van de biomassa, en het wordt vaak in verband gebracht met veranderingen in de bodembedekking van bos naar landbouw. Leerlingen kunnen dit al dan niet aantonen, afhankelijk van de gebieden die ze bestuderen.

	dec-feb	mrt-mei	jun-aug	sep-nov
Colombia	<i>Hoog</i>	<i>Medium</i>	<i>Laag</i>	<i>Laag</i>
Brazilië	<i>Laag</i>	<i>Laag</i>	<i>Hoog</i>	<i>Medium</i>
Kameroen	<i>Hoog</i>	<i>Medium</i>	<i>Laag</i>	<i>Laag</i>
Zambia	<i>Laag</i>	<i>Laag</i>	<i>Hoog</i>	<i>Medium</i>
Noord-Australië	<i>Laag</i>	<i>Hoog</i>	<i>Hoog</i>	<i>Medium</i>

- Opwelling van koeler water kan de toevoer van voedingsstoffen verhogen en zo leiden tot een grotere groei van plankton - wat misschien niet is wat de leerlingen verwachten te zien.

De activiteit kan worden gebruikt om onderzoeksvaardigheden te toetsen, en de presentatie om communicatievaardigheden te toetsen, aan de hand van lokale criteria.

Werkblad 1: DE KOOLSTOF CYCLUS

1. Lees informatieblad 1 kort door.
Als u niet zeker weet wat **vetgedrukte** woorden of zinnen betekenen, zoek deze dan op voordat u naar de volgende stap gaat.

Je gaat een diagram tekenen dat de volledige koolstofcyclus weergeeft. In je diagram moeten de *bronnen* en *putten* van koolstof worden aangegeven en de processen die de koolstof door de snelle en langzame cyclus verplaatsen.

2. Lees het informatieblad aandachtiger door, dit keer op zoek naar details die je in je diagram moet opnemen.
Je kunt belangrijke punten markeren of een ruwe schets maken terwijl je leest.
3. Maak je diagram.
Je kunt verschillende kleuren of lettertypes gebruiken om het verschil aan te geven tussen bronnen en putten en/of processen die deel uitmaken van de langzame en snelle cyclus.

Op het informatieblad staat dat *methaan*, CH₄, een ander belangrijk broeikasgas is. Zoals je aan de chemische formule kunt zien, bevat methaan ook koolstof. De bodem absorbeert een kleine hoeveelheid methaan uit de atmosfeer, maar het meeste blijft in de lucht totdat het een chemische reactie ondergaat die het verandert in kooldioxide en water.

4. Doe wat onderzoek om bronnen van methaan te vinden.
5. Voeg informatie over methaan toe aan je diagram.

Op het informatieblad staan enkele maatregelen die mensen kunnen nemen om hun *koolstof voetafdruk* te verkleinen.

6. Gebruik wat je van het blad geleerd hebt om je eigen definitie van deze term te schrijven.
Probeer niet meer dan twintig woorden te gebruiken.
7. Kies een actie die de koolstofvoetafdruk van je hele gemeenschap, stad, regio of zelfs land zou verkleinen.
Gebruik je diagram van de koolstofcyclus om te bepalen waarom dit een impact zal hebben.
Denk na over welke bronnen, putten en processen hierbij betrokken zijn.

Stel je voor dat je de kans krijgt om te spreken met een groep besluitvormers die deze actie zouden kunnen uitvoeren.

8. Schrijf de punten op die u wilt maken in een lijst met opsommingstekens.

Denk na over vragen die de besluitvormers zouden kunnen stellen of bezwaren die zij zouden kunnen opwerpen.

9. Welke extra informatie zou je nodig hebben om hun vragen te beantwoorden of hun bezorgdheid weg te nemen?
10. Hoe zou je deze informatie kunnen vinden?

Als je vindt dat deze informatie aan je kernpunten moet worden toegevoegd, herschrijf dan je lijst om aan te geven waar je ze zou opnemen.

Werkblad 2: ZURE OCEANEN

Benodigdheden

- 3 potten of bekers
- 2 flessen of kleinere potjes
- Azijn
- Citroen- of limoensap
- 4 schone eierschalen
- 2 staafjes krijt
- 2 ballonnen

Gezondheid en veiligheid

Werk voorzichtig om morsen en spatten te voorkomen.

Draag oogbescherming.

Als er iets in uw oog komt, moet u het onmiddellijk uitspoelen met veel koud, schoon water.

Proef niets en raak je gezicht niet aan.

Oefening: Deel 1

1. Vul een pot of beker voor de helft met gedistilleerde azijn, een andere met citroensap en de derde met water.
2. Doe twee halve eierschalen in elk potje.
3. Wat gebeurt er in elk potje?
Je kunt een aantal trefwoorden noteren in de tabel op leerlingen werkblad 2.2.



(Bron: ESA CCI)

- Eventueel kun je foto's nemen om je waarnemingen te ondersteunen.
4. Haal na minstens een uur voorzichtig een stukje eierschaal uit elk potje. Hoe zien de schalen eruit en hoe voelen ze aan?
 5. Doe de eierschalen terug in de juiste pot.
 6. Herhaal je waarnemingen dagelijks tot je geen verandering meer ziet. Als je de tabel op leerlingen werkblad 2.2 gebruikt, moet je misschien extra rijen toevoegen.

Oefening: Deel 2

Doe dit op hetzelfde moment op als deel 1. Verdeel de taken over je groep, zodat je snel tussen stap 3 en 4 kunt schakelen.

1. Blaas de ballon enkele malen op en weer leeg tot hij gemakkelijk opblaast.
2. Vul de flessen of kleinere potjes bijna tot de top met azijn.
3. Doe een eierschaal in de azijn in het ene potje en twee krijtjes in het andere.
Als ze te groot zijn, breek ze dan in stukjes die ongeveer even groot zijn en voeg alle stukjes tegelijk toe aan de azijn.
4. Maak de ballon vast aan de hals van elke fles. Misschien moet je plakband, een touwtje of een elastiekje gebruiken om het goed af te sluiten.



(Bron: ESA CCI)

5. Noteer wat er met de ballonnen gebeurt na ongeveer een uur en vervolgens elke dag. Ook hier zou je eventueel foto's kunnen nemen om uw waarnemingen te ondersteunen.

Resultaten

Na 2 dagen	Na 1 dag	Na 1 uur	Eerste waarnemingen	
				Water
				Citroensap
				Azijn
				Eierschaal
				Krijt
				Ballon afdichting, azijn
				container openen, eierschaal

Onderzoek de resultaten

1. Hoe kun je aantonen dat het gas dat bij deze reactie vrijkomt, kooldioxide is?

2. Als oceanen zuurder worden, wat zal er dan volgens je resultaten gebeuren met:

a. mariene weekdieren en koraalriffen?

b. kustlijnen gevormd uit kalksteen en soortgelijke gesteenten?

c. de snelheid waarmee kooldioxide aan de atmosfeer wordt toegevoegd?

Het zuur in azijn is ethaanzuur (azijnzuur), CH_3COOH , en de verbinding in schelpen die met het zuur reageert is calciumcarbonaat. Bij de reactie ontstaan calciummethanoaat (acetaat), water en kooldioxide.

3. Vul de reactievergelijking aan met:

- de formules voor calciumcarbonaat, kooldioxide en water in de vakjes
- de getallen, waar nodig, om de vergelijking in evenwicht te brengen.



4. Bedenk hoe je de ballon zou kunnen gebruiken om de hoeveelheid kooldioxide te schatten die door de eierschaal wordt afgegeven.

a. Leg uit wat je zou meten, hoe, en welke berekeningen je zou uitvoeren.

b. Welke veronderstellingen heb je bij deze berekening gemaakt?

Geef voor elke aanname aan of je antwoord daardoor waarschijnlijk te groot of te klein zal zijn.

5. Hoe zou je de ideeën uit deze activiteit kunnen gebruiken om te onderzoeken hoe de snelheid waarmee kooldioxide wordt afgegeven varieert met de concentratie van het zuur?

Bespreek je ideeën met een partner of je groep.

Als je een plan hebt, schrijf dan een lijst van de benodigde apparatuur en chemicaliën, en stap-voor-stap instructies, waaruit blijkt hoe je ervoor gaat zorgen dat je een correcte proef uitvoert.

Werkblad 3: KOOLSTOF VANUIT DE RUIMTE VOLGEN

Open de webtoepassing Climate from Space (cfs.climate.esa.int).

Klik op het symbool Gegevens Lagen (rechtsboven) en kies Koolstofdioxide (CO₂).

Speel de animatie een paar keer af om te controleren of je begrijpt hoe de bedieningselementen op het scherm je helpen om beter te kijken naar bepaalde plaatsen of tijden.

Klik opnieuw op het symbool Gegevens Lagen, scroll omlaag naar Methaan en klik deze keer op VERGELIJKEN.

Controleer of je weet hoe je de knoppen rechtsonder op het scherm moet gebruiken om te wisselen tussen kaart- en wereldbol weergave en om te downloaden wat er op het scherm staat.

1. Nu je weet hoe je de webtoepassing Climate from Space moet gebruiken, kun je deze gebruiken om één of meer van de onderstaande vragen over de koolstofcyclus te onderzoeken. Met toestemming van je leraar mag je een andere vraag over de koolstofcyclus onderzoeken.
2. Gebruik wat je in dit onderwerp hebt geleerd, en informatie uit andere online bronnen, om je te helpen de patronen, trends en verbanden te verklaren die je hebt geïdentificeerd in de gegevens in Climate from Space.
3. Maak een korte presentatie van niet meer dan vier dia's om samen te vatten wat je hebt ontdekt en hoe. Je dia's moeten:
 - ten minste drie relevante beelden uit Climate from Space als bewijs voor je antwoord op de vraag bevatten
 - niet meer dan vier afbeeldingen op elke dia hebben
 - niet meer dan 100 woorden op elke dia - dit is inclusief labels op diagrammen.

De vragen

1. Welke patronen en trends komen naar voren in de metingen van kooldioxide?
2. Welke patronen en trends komen naar voren in de metingen van methaan?
3. Welk verband bestaat er tussen de permafrost concentratie en de niveaus van kooldioxide en/of methaan?
4. Wat is het verband tussen het kooldioxide- en methaangehalte in de atmosfeer en branden?
5. Welk effect hebben branden op de bodembedekking op korte en lange tijdschaal?
6. Welk effect hebben branden op het biomassa niveau op korte en lange termijn?
7. Hoe reageert fytoplankton op veranderingen in de temperatuur van het zeeoppervlak?

Enkele suggesties om je op weg te helpen

Vragen 1 en 2

Je zou twee plaatsen kunnen vergelijken, één op elk halfrond (zoals Parijs en Johannesburg).

Zoek naar seizoensgebonden cycli door langzaam door een aantal jaren te stappen.

Wanneer piekt het niveau van elk gas op elke plaats?

Wat is de trend in de periode waarop de gegevens betrekking hebben?

Als je vraag 2 onderzoekt, kun je ook terugblikken op wat je in activiteit 1 hebt ontdekt over methaanbronnen.

Vraag 3

Permafrost is grond die het hele jaar door bevroren blijft.

Je zou je kunnen concentreren op een gebied zoals het schiereiland Jamal, waar de laatste jaren enorme gaten zijn ontstaan in voorheen bevroren grond.

Zoek naar seizoensgebonden cycli.

Vragen 4-6

Je zou kunnen beginnen met het invullen van een tabel als deze om de niveaus van brand activiteit op een aantal plaatsen op verschillende tijdstippen van het jaar weer te geven.

	dec-feb	mrt-mei	juni-aug	sept-nov
Columbia	<i>Hoog</i>			
Brazilië				
Kameroen				
Zambia				
Noord-Australië				<i>Medium</i>

Je zou een soortgelijke tabel kunnen gebruiken om u te helpen de andere variabele waarin je geïnteresseerd bent te onderzoeken, en dan de twee tabellen vergelijken.

Vraag 7

De kleuren dataset van de oceaan toont de chlorofylconcentratie en geeft dus een beeld van het aantal fytoplankton.

De Pacifische kust van Amerika is een goede plaats om te beginnen: kijk naar plaatsen aan weerszijden van de evenaar.

Zijn de effecten onmiddellijk zichtbaar of is er een tijdvertraging?

Informatieblad 1: DE KOOLSTOF CYCLUS

De afgelopen jaren melden nieuwsorganisaties steeds vaker recordbrekende temperaturen. Hete zomers en warmere winters komen steeds vaker voor in veel landen in Europa en in 2020 vertelde het Britse Met Office aan de BBC dat de meeste mensen in Engeland tegen 2040 geen sneeuw meer zullen zien in de winter.

We weten al dat menselijke activiteiten bijdragen aan de opwarming van de aarde doordat de hoeveelheid kooldioxide (CO_2) in de atmosfeer toeneemt en het **broeikaseffect wordt versterkt**. Wetenschappers waarschuwen dat er veel negatieve gevolgen zullen zijn voor de mens, de economie en de natuur, als dit zo doorgaat. Veel mensen zijn daarom begonnen met veranderingen om hun *koolstofvoetafdruk te verkleinen*. Misschien vermijden ze vliegen, gebruiken ze de auto minder, denken ze na over de impact van het voedsel dat ze eten of vermijden ze producten die worden geproduceerd ten koste van regenwouden.

Maar wat hebben deze dingen te maken met CO_2 in de atmosfeer?

De beweging van koolstof - in CO_2 en andere verbindingen - tussen atmosfeer, land en water is in een delicaat evenwicht. De koolstofcyclus beschrijft hoe deze zich verplaatst tussen *putten* (plaatsen die koolstof vasthouden en zo voorkomen of vertragen dat het in de atmosfeer terechtkomt) en *bronnen* (die koolstofhoudende gassen produceren of in de lucht brengen).

De snelle koolstofcyclus

Planten nemen CO_2 op uit de lucht tijdens de **fotosynthese**, slaan het op in hun weefsels terwijl ze groeien, en geven een deel ervan terug aan de lucht via **ademhaling** en wanneer ze sterven. Loofbomen nemen veel meer CO_2 op wanneer ze elk voorjaar nieuwe bladeren krijgen. Maar in de herfst stopt de fotosynthese en komt er door de **afbraak** van de afgevalen bladeren CO_2 terug in de atmosfeer. Terwijl het op het noordelijk halfrond lente is, is het op het zuidelijk halfrond herfst, dus deze seizoensveranderingen vallen toch wel weg als we de aarde als geheel beschouwen? Helaas niet. Niet alleen is er meer land op het noordelijk halfrond, maar grote delen daarvan - vooral in Siberië en Canada - zijn bedekt met bossen. Als gevolg daarvan bereikt het mondiale CO_2 -niveau een piek in mei.

Natuurlijk kunnen planten ook door dieren worden gegeten. In dat geval komt de koolstof die in het plantenweefsel is opgeslagen vrij wanneer het dier ademt of wanneer het op zijn beurt sterft en zijn lichaam vergaat.



Delen van het regenwoud in Borneo worden gekapt om er oliepalmen te laten groeien, waardoor de boombedekking vermindert en opgeslagen koolstof vrijkomt. Palmolie wordt gebruikt in producten van zeep tot koekjes. (Bron: bevat aangepaste Copernicus Sentinel-gegevens (2019), verwerkt door ESA).

Het kan iets langer duren voordat de CO_2 weer in de atmosfeer terechtkomt, maar het hele proces neemt maanden of jaren in beslag en wordt de snelle koolstofcyclus genoemd.

De langzame koolstofcyclus

Daarentegen kan een koolstofatoom er honderdduizenden - zelfs miljoenen - jaren over doen om de langzame koolstofcyclus te doorlopen.

Het oppervlak van de oceaan absorbeert CO_2 en, hoewel een deel snel weer in de atmosfeer terecht komt, wordt een deel in diep water gemengd waar het eeuwenlang opgelost blijft. Koolstof bereikt de oceaan ook via de watercyclus: regenwater absorbeert CO_2 , waardoor het licht zuur wordt. Dit zwakke zuur reageert met rotsen en bodems, breekt ze af en vormt nieuwe verbindingen die uiteindelijk in de zee kunnen worden gespoeld.

Ocean organismen, waaronder fytoplankton en koralen, absorberen koolstof wanneer ze groeien. Wanneer ze sterven, vallen hun lichamen op de zeebodem en wordt de koolstof in hun schelpen of skeletten opgesloten in **sedimentair gesteente**, het grootste koolstofreservoir van de aarde. Deze koolstof wordt pas weer in de atmosfeer gebracht wanneer het materiaal van de oceaanbodem de cyclus van gesteente doorloopt: bij sommige processen die leiden tot de productie van **metamorf gesteente**, de verspreiding van de zeebodem en vulkanen komt CO_2 vrij.

Koolstof wordt uit de snelle cyclus verwijderd en gaat deel uitmaken van de langzame cyclus wanneer de overblijfselen van opplanten en dieren niet volledig kunnen vergaan, maar zich in plaats daarvan ophopen en na verloop van tijd worden omgezet in turf, leisteen en **fossiele brandstoffen**.

Bij de verbranding van fossiele brandstoffen komt CO_2 in de atmosfeer terecht, waardoor een deel van de langzame koolstofcyclus effectief wordt omzeild. Ontbossing vermindert het vermogen van de aarde om koolstof op te nemen en op te slaan - en als het plantaardige materiaal wordt verbrand of tot ontbinding wordt overgelaten, wordt de opgeslagen koolstof sneller teruggeleid naar de snelle cyclus dan anders het geval zou zijn geweest. Hoewel een deel van de overvloedige CO_2 door het land en de oceanen is geabsorbeerd, heeft de rest zich in de atmosfeer opgehoopt, wat heeft geleid tot een toename van 30% in de afgelopen 150 jaar.

Een evenwicht tot stand brengen

De afzonderlijke acties die in de eerste paragraaf zijn besproken, kunnen bijdragen tot een vermindering van de snelheid waarmee wij koolstof aan de atmosfeer toevoegen. Veel gemeenschappen streven naar *netto nul* - dat wil zeggen dat ze niet meer koolstof aan de atmosfeer toevoegen dan ze eruit verwijderen. Het gas blijft echter een lange tijd in de atmosfeer aanwezig, waardoor aanvullende maatregelen nodig zullen zijn om de niveaus van vóór de **industriële revolutie te bereiken**.

Met door satellieten verzamelde gegevens kunnen wij de koolstofcyclus over de hele wereld volgen. Satellietsensoren meten de concentratie van CO_2 (en *methaan*, CH_4 , een ander belangrijk broeikasgas) in de atmosfeer; door vanuit de ruimte de bodembedekking te volgen en de biomassa te schatten, kunnen we de hoeveelheid koolstof bepalen die is opgeslagen in de vegetatie op het land; en bestudering van de kleur van de oceaan kan een beeld geven van de hoeveelheid koolstof die door fytoplankton wordt opgenomen.

Klimaatwetenschappers gebruiken dergelijke informatie om numerieke modellen te maken die verklaren hoe het klimaat in het verleden is veranderd en die kunnen worden gebruikt om te voorspellen wat er in de toekomst zou kunnen gebeuren. Beleidsmakers kunnen deze modellen vervolgens gebruiken om uit te werken hoe wij onze activiteiten als samenleving kunnen beheren om het evenwicht in de koolstofcyclus te herstellen.

Links

Middelen

Klimaat vanuit de ruimte webapplicatie

<https://cfs.climate.esa.int>

Klimaat voor scholen

<https://climate.esa.int/nl/educate/climate-for-schools/>

Onderwijzen met ruimte

http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Teach_with_space3

Animatie koolstofcyclus

http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2018/02/Carbon_Cycle

Koolstof en de oceanen animatie

[https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2017/12/Carbon_dioxide_ocean_atmosphere_exchange/\(lang\)](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2017/12/Carbon_dioxide_ocean_atmosphere_exchange/(lang))

Ruimtevaartprojecten van ESA

ESA-klimaatbureau

<https://climate.esa.int/nl>

Ruimte voor ons klimaat

http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate

ESA's missies voor aardobservatie

www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/ESA_for_Earth

Aarde Ontdekkingsreizigers

http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers

Copernicus Schildwachten

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4

Andere bronnen

Video over ruimte voor klimaat

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate

Klimaat en permafrost

<https://climate.esa.int/projects/permafrost/news/picturing-permafrost-arctic/>

Meer Aarde vanuit de Ruimte video's

http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Sets/Earth_from_Space_programme

ESA Kinderen

https://www.esa.int/kids/en/learn/Earth/Climate_change/Climate_change