

Voortgezet
14-16



onderwijsmiddelenpakket

PLANETAIRE WARMTEPOMPEN

docentenhandleiding en werkbladen
voor leerlingen



PLANETAIRE WARMTEPOMPEN	1
PLANETAIRE WARMTEPOMPEN: Overzicht.....	4
Snelle feiten.....	4
Korte beschrijving.....	4
Beoogde leerresultaten.....	4
Samenvatting van de activiteiten.....	6
Praktische aantekeningen voor leraren.....	7
Gezondheid en veiligheid.....	7
Klimaat vanuit de ruimte.....	8
Oceanen en klimaat: achtergrondinformatie.....	9
Oceanen en klimaat.....	9
Oceaanstromingen.....	9
Satellietwaarnemingen boven de oceaan.....	10
Activiteit 1: PLANETAIRE WARMTEPOMPEN.....	12
Activiteit 2: Stijgend en dalend water.....	14
Activiteit 3: DE GOLFSTROOM.....	17
Werkblad 1: PLANETAIRE WARMTEPOMPEN.....	20
Werkblad 2: Stijgend en dalend water.....	21
Werkblad 3: DE GOLFSTROOM.....	24
Informatieblad 1: PLANETAIRE WARMTEPOMPEN.....	26
Informatieblad 2: TEMPERATUUR EN DIEPTE VAN DE OCEAAN.....	30
Links.....	31
Extra informatie.....	31

Informatiepakket klimaatveranderingsinitiatief - PLANETAIRE WARMTEPOMPEN
<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

PLANETAIRE WARMTEPOMPEN: Overzicht

Snelle feiten

Vak(ken): Aardrijkskunde, Natuur wetenschappen, Aardwetenschappen

Leeftijdsgroep: 14-16 jaar

Type: lezen, wiskundig onderzoek, online onderzoek

Complexiteit: gemiddeld tot gevorderd

Minimaal benodigde lestijd: 4 uur

Kosten: laag (5-20 euro)

Plaats: binnen

Inclusief het gebruik van: Internet, rekenmachine, spreadsheetsoftware, ijs en gekleurd water

Sleutelwoorden: warmtecapaciteit, dichtheid, thermohaline circulatie, zoutgehalte, temperatuur van het zeeoppervlak, satellieten, aardobservatie, stratificatie, Golfstroom

Korte beschrijving

Door het volgen van deze reeks activiteiten leren de leerlingen hoe de oceaancirculatie het klimaat beïnvloedt.

In de inleidende activiteit voeren zij berekeningen uit om te vergelijken wat het relatieve effect van de opwarming van de aarde is op de atmosfeer en de oceanen.

Door middel van een praktische activiteit, waarbij gebruik wordt gemaakt van gemakkelijk verkrijgbare apparatuur, onderzoeken de leerlingen hoe water met verschillende temperaturen lagen kunnen vormen in de oceaan. Met deze informatie kunnen ze vervolgens onderzoeken wat het effect van veranderingen in het zoutgehalte zal zijn op de stratificatie. In de laatste activiteit gebruiken de leerlingen de webtoepassing Climate from Space om meer te weten te komen over de Golfstroom.

Beoogde leerresultaten

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

Berekeningen uit te voeren om de rol van de oceanen en de atmosfeer op het reguleren van het klimaat te vergelijken.

Uit te leggen hoe de wereldwijde thermohaliene circulatie ontstaat.

Te beschrijven hoe oceaanstromingen water en energie de aarde rond transporteren.

Een model te gebruiken om de beweging van water met verschillende temperaturen te onderzoeken en de gelaagdheid in de oceaan te verklaren.

Praktische methoden te ontwerpen om een vraag te onderzoeken over hoe water zich in de oceanen beweegt.

Het gedrag van de Golfstroom te beschrijven aan de hand van informatie uit klimaat data.

Gegevens uit registraties van ten minste twee essentiële klimaatvariabelen te synthetiseren om een waargenomen correlatie of trend te verklaren.

Samenvatting van de activiteiten

	Titel	Beschrijving	Resultaat	Voorafgaand leren	Tijd
1	Planetaire warmtepompen	Lezen en rekenen	Het uitvoeren van berekeningen om een vergelijking te maken tussen de rol van de oceanen en de atmosfeer bij het reguleren van het klimaat. Uitleggen hoe de wereldwijde thermohaliene circulatie ontstaat. Beschrijven hoe oceaanstromingen water en energie rond de aarde transporteren.	Berekeningen met standaardvorm; oppervlakte van een bol; herschikken van vergelijkingen	1 uur
2	Stijgend en vallend water	Praktische activiteit	Een model gebruiken om de beweging van water van verschillende temperaturen te onderzoeken en de gelaagdheid in de oceaan te verklaren. Een praktische methode ontwikkelen om vragen over hoe water zich in de oceanen beweegt te onderzoeken.	Geen	1½ uur
3	De Golfstroom	Onderzoek opdracht	Beschrijf het gedrag van de Golfstroom aan de hand van klimaat data. Synthetiseer registratie gegevens van ten minste twee essentiële klimaatvariabelen om een waargenomen correlatie of trend te verklaren.	Lezen van een deel van Activiteit 1	1½ uur

De beschreven tijden gelden als een kader voor de belangrijkste oefeningen, ervan uitgaande dat de IT 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 de tijd voor de presentatie van de resultaten niet, want deze varieert naar gelang 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 de activiteiten staat aan het begin van het desbetreffende hoofdstuk, samen met notities 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 afgedrukt.

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

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

Suggesties voor **uitbreiding** en ideeën voor **differentiatie** zijn in de beschrijving van elke activiteit opgenomen.

Ter ondersteuning van **de beoordeling** zijn werkbladantwoorden en voorbeeldresultaten voor de 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.

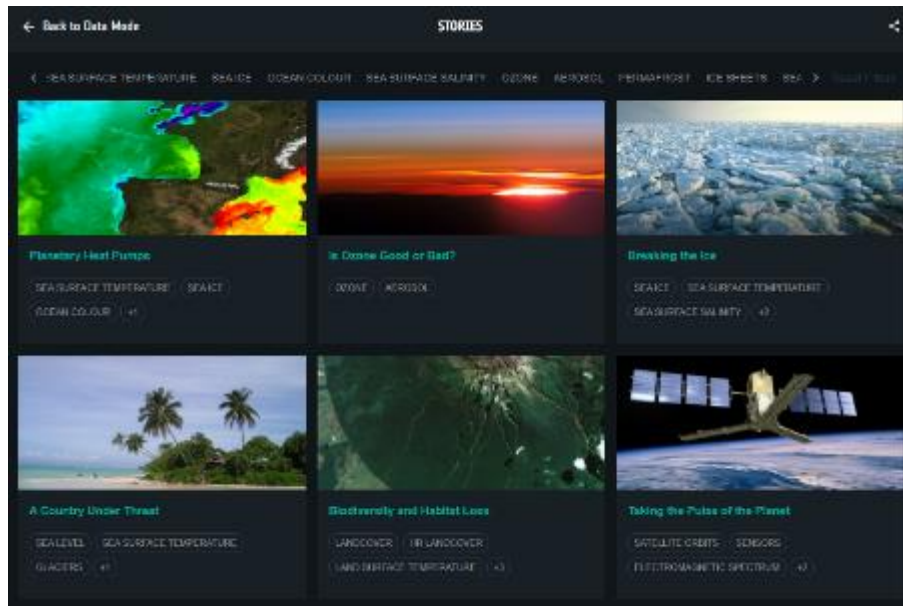
Gezondheid en veiligheid

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

Sommige van deze activiteiten maken gebruik van de Climate from Space web applicatie of van andere interactieve websites. Het is mogelijk om van daaruit naar andere delen van de ESA Climate Change Initiative-site of naar die van de hostorganisatie 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 de plaatselijke veiligheidsregels voor internet.

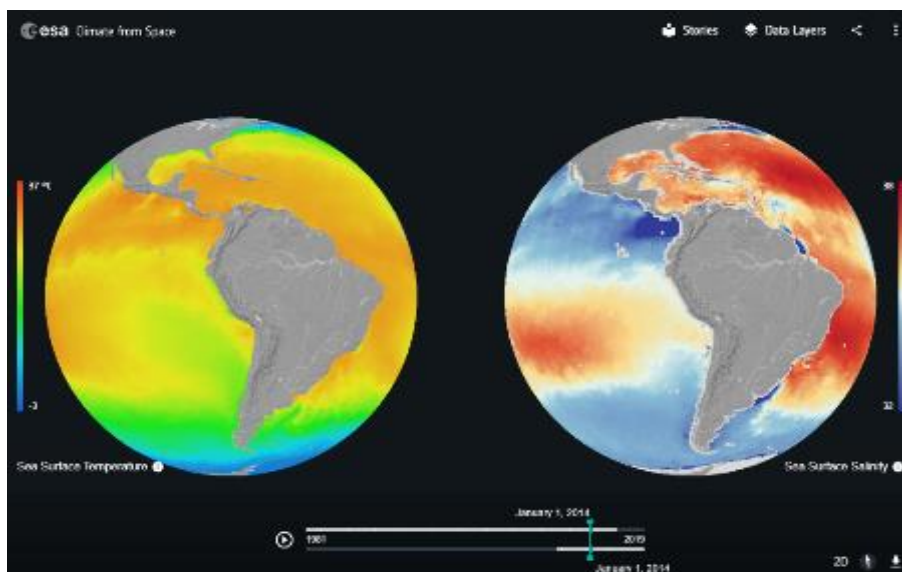
Klimaat vanuit de ruimte

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



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

Het ESA-programma Climate Change Initiative (CCI) produceert betrouwbare wereldwijde registraties van een aantal cruciale klimaataspecten, de zogenaamde essentiële klimaatvariabelen ("Essential Climate Variables": ECV's). Met de Climate from Space webapplication kunt u meer te weten komen over de gevolgen van klimaatverandering door deze gegevens zelf te onderzoeken.



Figuur 2: Vergelijking van de temperatuur van het zeeoppervlak en het zoutgehalte in de web applicatie Climate from Space (Bron: ESA CCI)

Oceanen en klimaat: achtergrondinformatie

Oceanen en klimaat

Het weer is ingewikkeld en moeilijk te voorspellen, maar de herverdeling van warmte over de aarde is een van de belangrijkste drijvende krachten: de energie van de zon die geabsorbeerd wordt door de aarde verschilt per locatie wat leidt tot temperatuurverschillen. Dit komt doordat de terugstraling vanaf het aardoppervlak afhankelijk is van de hoeveelheid water dat verdampt en door de circulatie van de atmosfeer en de oceanen. Hoewel we zouden verwachten dat de hoofdrichting van deze warmte beweging van de warme evenaar naar de koude polen zou zijn, voegen de rotatie van de aarde én de wrijving tussen de lagen van de atmosfeer en de oceaan een oost-west component toe. Dit is slechts de eerste van vele complicerende factoren.

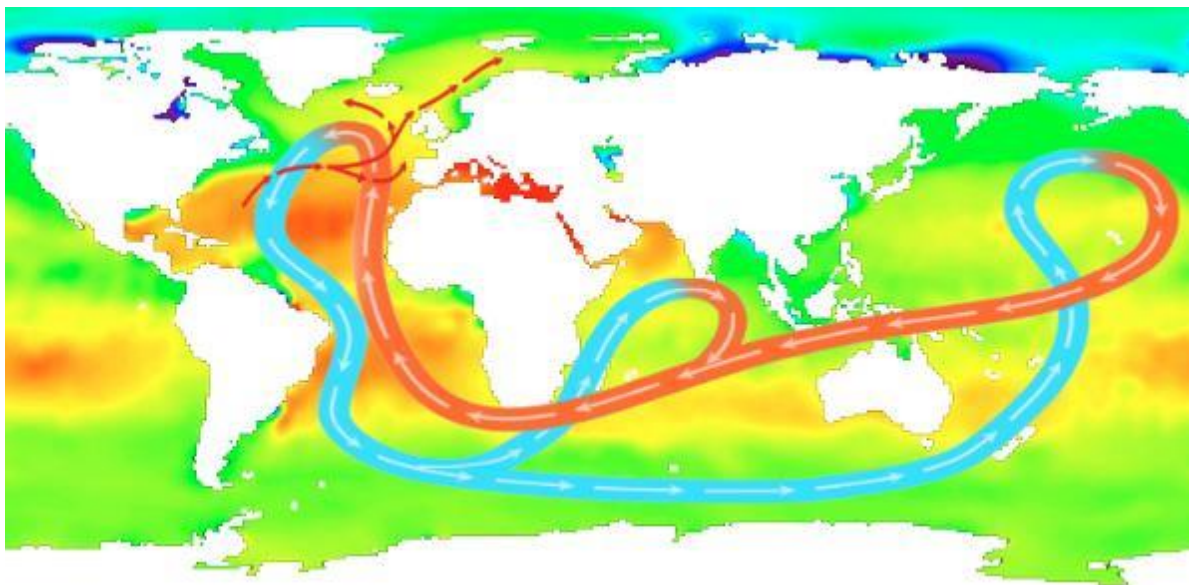
De meesten van ons brengen het grootste deel van ons leven door op het land, dat minder dan een derde van de gehele oppervlakte van onze planeet beslaat. Het weer dat in zekere mate onze dagelijkse activiteiten bepaalt, wordt in de eerste plaats beïnvloed door de beweging van de atmosfeer. Daarnaast vergeten we vaak te denken aan de rol die de oceanen spelen bij het bepalen van weerpatronen en, op langere tijdschaal, bij het beheersen van het klimaat.

Gebieden op aarde die op dezelfde afstand van de evenaar liggen ontvangen in de loop van een jaar dezelfde hoeveelheid zonnestraling, waardoor we zouden verwachten dat ze een vergelijkbaar klimaat hebben. Één blik op de populatieverdeling van mensen over de aarde toont het feit dat dit niet zo is: veel Europese steden liggen tussen 49 en 52 graden noorderbreedte, maar de grote steden aan de oostkust van Noord-Amerika liggen veel zuidelijker. Dat het klimaat van de Noorse kust vrij mild is in vergelijking met plaatsen op vergelijkbare breedtegraden in Amerika of het centrum van de Aziatische landmassa, is ten dele te danken aan een belangrijke (zee)stroming die gewoonlijk de Golfstroom wordt genoemd. De energie die deze Golfstroom van de tropische breedtegraden naar het westelijke deel van de Atlantische Oceaan vervoert, wordt van het water overgebracht op de lucht erboven en vervolgens naar het land gedragen door aanlandige winden.

Oceaanstromingen

Het Golfstroomsysteem, dat de leerlingen kunnen onderzoeken in Activiteit 3, is één van de vele stromingssystemen of 'gyres' die het resultaat zijn van oppervlaktewinden die de bovenlaag van de oceaan meetrekken, op dezelfde manier als een briesje het oppervlak van een plas water doet rimpelen. De subtropische gyre, aangedreven door de passaatwinden in de Stille Oceaan, is een voorbeeld hiervan. Een verstoring van dit circulatiepatroon leidt tot een El Niño of La Niña; een gebeurtenis die uiteen wordt gezet in het begeleidende educatieve bronnenpakket *'Taking the Pulse of the Planet'* (Hoger secundair onderwijs), verkrijgbaar op <https://climate.esa.int/nl/educate/climate-for-schools/>.

Iedereen die wel eens in zee heeft gezwommen, is zich bewust van de effecten van plaatselijke circulatiepatronen die het gevolg zijn van getijdenbewegingen of van de geografie van de kust en de zeebodem. Een zwemmer kan veranderingen voelen van de temperatuur en van de richting waarin de oceaan de zwemmer meetrekt, en moet zich misschien ook bewust zijn van de kracht van een onderstroom - water onder het oppervlak dat in een andere richting beweegt. Op grotere schaal verplaatst het water zich in de loop van zo'n duizend jaar in een driedimensionaal circulatiepatroon rond de hele wereld. Deze zogenaamde Noord-Atlantische Diepwaterpomp (zie figuur 3 op de volgende bladzijde) wordt ook wel de wereldwijde thermohaliene circulatie genoemd, omdat deze wordt aangedreven door verschillen in temperatuur en zoutgehalte. Een gevolg van het zee-ijs in het noordpoolgebied is bijvoorbeeld een hoger zoutgehalte van het water (niet al het zout in het water bevriest namelijk), waardoor het water een hogere dichtheid krijgt en naar de diepte zinkt. Hierdoor wordt het oppervlaktewater naar het ijs toegetrokken, koelt het af en zinkt op zijn beurt, waardoor er een koude diepe stroming ontstaat die zich van het ijs verwijderd en een warmere oppervlaktestroming die zich naar het ijs toe beweegt. Activiteit 2 laat - op een veel kleinere schaal - zien hoe verschillen in dichtheid ertoe kunnen leiden dat water zich op verschillende diepten in verschillende richtingen beweegt.



Figuur 3: Gemiddelde saliniteit (achtergrondkleuren: rood toont hoge saliniteit, groen lage); de Golfstroom (rode pijlen); en de wereldwijde thermohaliene circulatie (brede band: koeler oppervlaktewater is blauw, warmer oppervlaktewater rood) (Bron: ESA)

Satellietwaarnemingen boven de oceaan

Voor het satelliet tijdperk kon de temperatuur van de oceaan alleen worden gemeten met thermometers die vanaf de kust werden ingezet, vanaf schepen werden neergelaten of aan boeien of onderzeeërs waren bevestigd. Dit resulteerde natuurlijk in onvolledige metingen en dat er maar voor heel weinig plaatsen continu gegevens beschikbaar waren.

Thermische camera's op satellieten kunnen wereldwijd de oceanische oppervlaktetemperatuur met regelmatige tussenpozen waarnemen. Een satelliet in een geostationaire baan kan elk deel van de zee in een bepaald halfrond ongeveer om de vijftien minuten bekijken; een satelliet in een polaire baan, dicht bij de aarde, kan meer details zien en de gehele planeet bestrijken, maar zal de temperatuur op een bepaalde plaats slechts om de tien dagen meten. (In het bovengenoemde pakket "*Taking the Pulse of the Planet*" is meer te vinden over hoe satellietbanen van invloed zijn op de gegevens die zij verzamelen).

Activiteit 1: PLANETAIRE WARMTEPOMPEN

De bedoeling van deze activiteit is het maken van berekeningen door middel van de specifieke warmtecapaciteit. De relevante formules worden gegeven, zodat de leerlingen geen voorkennis van de terminologie nodig hebben. Één of beide delen van de activiteit (het lezen en de berekeningen) kan als huiswerk worden gegeven, afhankelijk van de capaciteiten van de klas.

Materialen

- Informatieblad 1 (2 blz.)
- Studenten werkblad 1
- Rekenmachine
- Climate from Space webapplicatie: *Planetaire warmtepompen* verhaal (optioneel)

Oefening

1. Vraag de leerlingen informatieblad 1 te lezen en individueel of in tweetallen te werken aan een samenvatting van de inhoud in een vorm die zij nuttig achten. Dit kan bijvoorbeeld een lijst met opsommingstekens zijn of een conceptkaart. Als u dit klassikaal doet, kunt u de tekst als volgt aanvullen met materiaal uit het verhaal *Climate from Space Planetaire warmtepompen*:
 - De galerij op dia 2 bevat een kaart van de temperatuur van het zeeoppervlak, deze kan een discussie op gang brengen over de oorzaken van oppervlaktestromingen; een dwarsdoorsnede van de Atlantische Oceaan die de verticale verdeling van water bij verschillende temperaturen laat zien; en een kaart van de thermohaliene circulatie. (Gebruik de pijltjesknop helemaal rechts op het scherm om door de verschillende afbeeldingen op deze dia te scrollen).
 - De wereldbol op dia 3 toont de temperatuur van het zeeoppervlak over de hele wereld met tussenpozen vanaf 1981. (Stap door in plaats van continu afspelen).
 - Dia 4 bevat een video met meer details over de interacties tussen de atmosfeer en de oceaan, inclusief een illustratie van gelaagde temperaturen in de nasleep van een orkaan (van 0:22 tot 0:36) en opwelling (0:40-1:06).
 - Dia 6 geeft aanvullende informatie over de variatie in het zoutgehalte en laat zien hoe dit over de hele wereld varieert. De tekst verklaart de rol van het zoutgehalte in de planetaire warmtepomp van de aarde.
2. Studenten Werkblad 1 leidt de leerlingen door een berekening van de theoretische temperatuurstijging, berekend met de snelheid waarmee externe warmte aan het aardsysteem wordt toegevoegd. Vraag de leerlingen de berekening uit te voeren en voorzie ze van steun indien nodig.
3. In de laatste vraag wordt de leerlingen gevraagd om ideeën van het informatieblad te gebruiken om uit te leggen waarom hun berekeningen niet overeenstemmen met de waarnemingen.
Veel geciteerde cijfers geven een wereldwijde temperatuurstijging aan van

ongeveer 1°C sinds het pre-industriële tijdperk (enkele honderden keren minder dan het berekende cijfer) en een temperatuurstijging van het zeeoppervlak van 0,13°C per decennium (ongeveer tien keer meer dan het resultaat van de berekening).

Bij de bespreking van deze antwoorden zou ook kunnen worden besproken hoe wiskundige modellen die in de wetenschap worden gebruikt, vaak beginnen met grote benaderingen die geleidelijk worden verfijnd om de situatie in overeenstemming te brengen met de werkelijkheid. In dit geval zou een tweede benadering voor de atmosfeer, op basis van de gegevens op het informatieblad, nodig zijn om 10% van het jaarlijkse energiecijfer te gebruiken.

Een volgende benadering voor de oceanen zou een berekening van de oppervlakte van de oceanen kunnen zijn (70% van het antwoord op vraag 1), om de massa van een laag van bijvoorbeeld 30 m diepte te berekenen (de gemiddelde dichtheid van zeewater is 1027 kg m^{-3}), en deze waarde te gebruiken om de verwachte temperatuurstijging te berekenen. Misschien kunt u de meer bekwame leerlingen vragen deze berekening uit te voeren.

Werkblad antwoorden

1. Met gebruik van $A = 4\pi r^2$, is de oppervlakte van de Aarde $= 5,15 \times 10^{14} \text{ m}^2$
2. Totale overtollige energie $= 0,62 \text{ W m}^{-2} \times 5,15 \times 10^{14} \text{ m}^2 = 3,19 \times 10^{14} \text{ J s}^{-1}$
 $= 3,19 \times 10^{14} \text{ J s}^{-1} \times (60 \times 60 \times 24 \times 365,25) = 1,01 \times 10^{22} \text{ J jaar}^{-1}$
3. Met $\Delta T = Q \div mc$, stijgt de atmosferische temperatuur met
 $= 1,01 \times 10^{22} \text{ J jaar}^{-1} \div (5,14 \times 10^{18} \text{ kg} \times 1158 \text{ J kg}^{-1}\text{°C}^{-1}) = 1,69\text{°C jaar}^{-1}$
4. Stijging van de oceanische temperatuur
 $= 1,01 \times 10^{22} \text{ J jaar}^{-1} \div (1,4 \times 10^{21} \text{ kg} \times 3850 \text{ J kg}^{-1}\text{°C}^{-1}) = 1,87 \times 10^{-3}\text{°C jaar}^{-1}$
5. De atmosfeer: omdat de atmosfeer een veel kleinere massa heeft en lucht een kleinere specifieke warmtecapaciteit heeft.
6. Het werkelijke cijfer voor de atmosfeer is kleiner omdat, volgens het verhaal, 90% van de overtollige energie door de oceanen wordt geabsorbeerd. Een deel zal ook door het land worden geabsorbeerd, waardoor de hoeveelheid die beschikbaar is om de atmosfeer op te warmen nog verder zal afnemen en de jaarlijkse temperatuurstijging lager zal uitvallen.

Bij de berekening voor de oceaan is uitgegaan van de totale massa van de oceaan, maar de energie wordt aan de oppervlakte geabsorbeerd en het grootste deel zal in de bovenste lagen blijven: water is een slechte warmtegeleider en warmer water zal op kouder water drijven (ten minste boven 4°C). Het zal eeuwen duren voordat de thermohaliene circulatie deze energie naar de diepten van de oceaan heeft getransporteerd. De in de berekening gebruikte massa is dus veel te groot, wat leidt tot een veel te kleine jaarlijkse temperatuurstijging.

Het kerncijfer voor deze oefening heeft betrekking op de periode 2000-2012 en is afkomstig uit Allan, R., Liu, C., Loeb, N., Palmer, M., Roberts, M., Smith, D., & Vidale, P. (2014) 'Changes in global net radiative imbalance 1985-2012', *Geophysical Research Letters* DOI: [10.1002/2014GL060962](https://doi.org/10.1002/2014GL060962).

Activiteit 2: Stijgend en dalend water

In deze praktische activiteit bootsen de leerlingen de thermodynamica van de oceaan na in een container, waarbij ze gekleurd water gebruiken om stromingen te volgen en te zien hoe waterlagen met verschillende temperaturen worden gevormd en in stand worden gehouden. Ze worden uitgedaagd na te denken over hoe ze het model kunnen gebruiken om andere aspecten van de oceaancirculatie te demonstreren.

Materialen

- Een grote doorzichtige bak per groep - dit kan een grote beker of vaas zijn, of een petfles van twee liter waarvan het bovenste gedeelte is afgesneden.
- Een klein bakje per groep - dit moet een vrij brede bodem hebben en klein genoeg zijn om ondergedompeld te worden in het grotere bakje; een kruidenpotje, bijvoorbeeld.
- Plastic zakken
- Elastiekjes of touwtjes
- Voedingskleurstof of inkt
- IJs in een emmer om af te koelen, of gekoeld water
- Toegang tot warm en koud water
- Stopwatch of klok per groep (optioneel)
- Camera of smartphone per groep (optioneel)
- Thermometers (optioneel)
- Doeken of papieren handdoeken
- Werkblad 2 voor de leerlingen (2 blz.)
- Materiaal om posters te maken, of software om video's of presentaties te maken (zie stap 3)
- Climate from Space web applicatie: *Planetaire warmtepompen* verhaal (optioneel)

Gezondheid en veiligheid

Gebruik warm water tussen de 40°C en 60°C - als er geen warm stromend water beschikbaar is, meng dan kokend water uit een waterkoker met koud water.

Voedingskleurstoffen en inkt geven vlekken af, dus adviseer de leerlingen voorzichtig te werken om morsen en spatten te voorkomen.

Zorg ervoor dat de apparatuur op een stabiele ondergrond staat, uit de buurt van tafel- of bank randen.

Zorg ervoor dat er materiaal beschikbaar is om gemorste stoffen op te ruimen.

Oefening

1. Introduceer de activiteit met het diagram van een dwarsdoorsnede van de Noord-Atlantische Oceaan die laat zien hoe de temperatuur varieert aan het oppervlak en in de diepte.
Dit is een van de afbeeldingen in de galerij op dia 2 van het verhaal over

Planetaire warmtepompen in de Climate from Space web applicatie. Het is ook beschikbaar op informatieblad 2. Leg uit dat de leerlingen in deze les zullen onderzoeken hoe de stratificatie of gelaagdheid in dit diagram ontstaat.

2. De leerlingen kunnen dan het onderzoek uitvoeren door in tweetallen of groepjes de instructies op leerlingenwerkblad 2.1 te volgen.
Als er weinig tijd is, kunt u de voorgestelde combinaties over de klas verdelen en elk tweetal of elke groep slechts een of twee reeksen waarnemingen laten doen. Als u meer tijd hebt en er thermometers beschikbaar zijn, daagt u de leerlingen uit te onderzoeken hoe het proces verandert met het temperatuurverschil. Wat is het kleinste temperatuurverschil dat een circulatie op gang brengt? Dat zal resulteren in stratificatie?
3. Vraag de leerlingen de aanwijzingen op leerlingwerkblad 2.2 te volgen om hun resultaten te analyseren en te presenteren op een manier die past bij de methode die ze hebben gebruikt om hun waarnemingen vast te leggen. Misschien wilt u extra eisen of beperkingen opleggen om bepaalde vaardigheden te beoordelen of de uitdaging te vergroten. Moedig de leerlingen aan ideeën over de variatie van de dichtheid met de temperatuur te gebruiken om de waarnemingen te verklaren en ze in verband te brengen met wat ze in de vorige activiteit hebben geleerd.
4. De leerlingen kunnen hun resultaten delen met een andere groep, op zoek gaan naar gelijkenissen en verschillen en de gegeven verklaringen met elkaar te evalueren.
5. De ontwerp opdrachten aan het einde van leerlingenblad 2.2 dagen de leerlingen uit het practicum aan te passen om te onderzoeken hoe het zoutgehalte de beweging van het water beïnvloedt en om opstrooming te demonstreren. De leerlingen kunnen dit in groepjes bespreken of een van de opdrachten als huiswerk maken.
Als de tijd het toelaat, zouden ze hun plannen ook kunnen uitvoeren.

Voorbeeldresultaten

Koud water in een grote bak, heet water in een kleine bak



Figuur 4: Resultaten voor grote container met koud water, kleine container met warm water (Bron: ESA CCI)

Het minder dichte warmere water stroomt snel naar boven en vormt draaikolken zoals rookpluimen. Het gekleurde water verspreidt zich naar buiten en vormt een drijvende laag van warmer water aan de oppervlakte (zie figuur 4).

Heet water in grote container, koud water in een kleine bak

Het dichtere koude water blijft in de container. Als men de grote bak een beetje schudt, beweegt het oppervlaktewater en kan er wat uitlopen. Het blijft echter als een luchtbel in het warmere water zweven, alsof het geen zwaartekracht heeft (zie figuur 5).



Figuur 5: Resultaten voor grote container met warm water, kleine container met koud water (Bron: ESA CCI)

Warm water in grote bak, koud water in horizontale kleine bak



Figuur 6: Resultaten voor grote container met warm water, horizontaal kleine container met koud water (Bron: ESA CCI)

Het water stroomt uit de kleine bak en blijft, omdat het een grotere dichtheid heeft, op de bodem van de grote bak liggen, waardoor een laag op de bodem wordt gevormd (zie figuur 6).

Heet water in een grote bak, koud water bovenaan.

Het dichtere koude water zal naar de bodem zinken, waardoor soortgelijke wervelingen en stromingspatronen ontstaan als bij het eerste experiment werden waargenomen (zie figuur 7).



Figuur 7: Koud water toevoegen aan de top van een

Activiteit 3: DE GOLFSTROOM

In deze activiteit gebruiken de leerlingen de Climate from Space webapplicatie om te kijken naar de temperatuur van het zeeoppervlak langs het traject van de Golfstroom, en gebruiken ze gedownloade gegevens om patronen en tendensen in de Golfstroom te vergelijken met die elders in de Noord-Atlantische Oceaan. Daarna onderzoeken en verklaren ze verbanden tussen de temperatuur van het zeeoppervlak en een andere klimaatvariabelen, waarbij ze gebruik maken van de kennis die ze tijdens hun studie van het onderwerp hebben opgedaan.

Materialen

- Internettoegang
- Climate from Space webapplicatie
- Werkblad 3 voor de leerlingen (2 blz.)
- Planetaire warmtepompen Activiteit 3 spreadsheet
- Spreadsheetsoftware of grafiekpapier (de eerste heeft de voorkeur)

Vorbereiding

U kunt de spreadsheet Planetaire warmtepompen Activiteit 3 downloaden van de sectie Planetaire warmtepompen van de ESA Climate for Schools webpagina (<https://climate.esa.int/nl/educate/climate-for-schools/>) naar een plaats waar uw leerlingen er toegang toe hebben zonder online te gaan, of u kunt de gegevens afdrukken zodat de leerlingen ze met de hand kunnen bewerken.

Oefening

1. Vraag de leerlingen, zonder een kaart of atlas te gebruiken, te vertellen wat noordelijker ligt: Parijs of Montreal? Amsterdam of New York? Vancouver of Londen? Oslo of Calgary? In alle gevallen is het de Europese stad. In sommige of alle gevallen denken veel mensen er anders over omdat de Noord-Amerikaanse steden een koeler klimaat hebben.
2. Herinner de leerlingen eraan dat West-Europa wordt opgewarmd door de Golfstroom (zoals vermeld op informatieblad 1) en leg uit dat ze daar in deze les meer over te weten zullen komen.
3. Vraag de leerlingen om te beginnen de Golfstroom te onderzoeken in de webtoepassing Climate from Space, volgens de instructies op leerling-werkblad 3.1. Daarna moeten ze de dataset in het spreadsheet gebruiken om meer details te zien, zoals beschreven in het eerste deel van werkblad 3.2. De dataset is klein genoeg voor leerlingen om met de hand uit te schrijven, maar als ze dat doen, laat vraag 4 dan weg, omdat het moeilijk zal zijn om een trendlijn te zien.
4. Het onderdeel 'Vebanden leggen' van het werkblad bevat verschillende suggesties voor verder onderzoek. De instructies vragen de leerlingen om wat ze ontdekken in verband te brengen met wat ze in het eerste deel van de activiteit en bij het vorige deel van het onderwerp hebben geleerd, dus u kunt hen vragen om individueel te werken en

een kort verslag te maken dat u kunt gebruiken om hun vorderingen te beoordelen.

U kunt ook paren of groepen vragen een poster, presentatie of video te maken om wat ze hebben geleerd met de rest van de klas te delen.

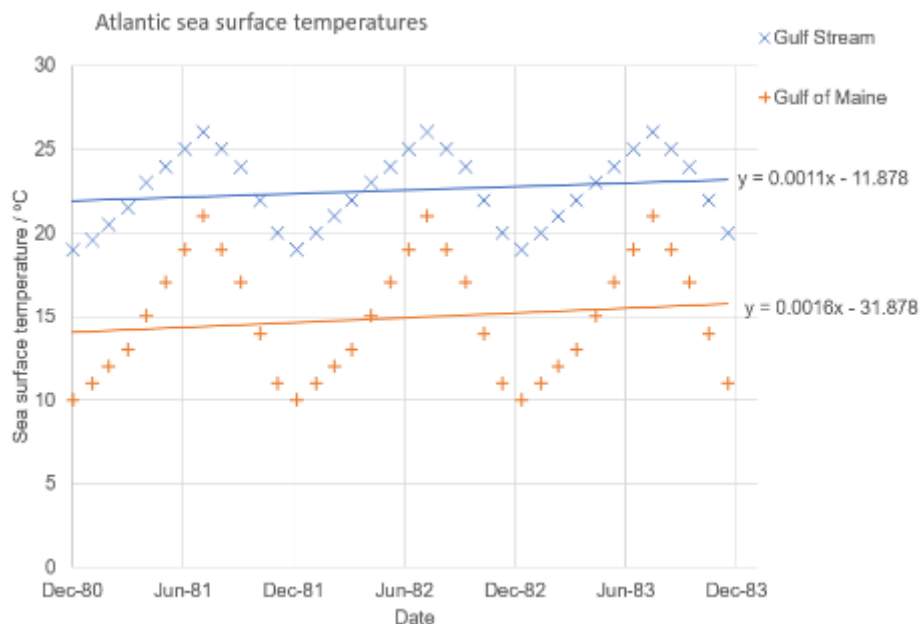
Werkblad antwoorden

- Er is een duidelijk temperatuurverschil in de eerste maanden van het jaar, wanneer het warme water van de Golfstroom in het koudere noordelijke water stroomt. Naarmate het jaar vordert, wordt het verschil minder uitgesproken, te beginnen aan het oostelijke uiteinde. De stroom is goed begrensd, met scherpe randen, langs het eerste deel van zijn reis. Waar hij zich mengt met koud water dat van de Noordpool komt, vormt hij cirkelvormige patronen (eddies), die de randen van de stroom vager maken (zie https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2013/02/Sea-surface_salinity_and_currents#.X9n4wBIA-uQ.link).

- Zie tabel.

	Maand	Geschatte gemiddelde temperatuur / °C	
		Golfstroom	Golf van Maine
Warmste	Augustus	26	21
Koudste	Januari	19	10

- Zie figuur 8.



Figuur 8: Plot van gegevens uit spreadsheet Planetaire warmtepompen Activiteit 3 (Bron: ESA CCI)

- Het water van de Golfstroom is warmer en vertoont minder temperatuurschommelingen dan die van de Golf van Maine, hoewel op beide plaatsen dezelfde seizoensschommelingen zichtbaar zijn. De gemiddelde temperatuur stijgt op beide plaatsen. De stijging is iets sneller in de Golf van Maine.

Het tempo bedraagt $0,0011^{\circ}\text{C}/\text{dag} = 0,40^{\circ}\text{C}/\text{jaar}$ in de Golfstroom en $0,0016^{\circ}\text{C}/\text{dag} = 0,58^{\circ}\text{C}/\text{jaar}$ in de Golf van Maine.

Numerieke gegevens voor deze activiteit werden gedownload van <https://giovanni.gsfc.nasa.gov>

Werkblad 1: PLANETAIRE WARMTEPOMPEN

Gebruik je kennis van meetkunde en de onderstaande vergelijkingen om de vragen 1-5 te beantwoorden. Wees voorzichtig met eenheden en significante cijfers.

$$\text{Vermogen (in W)} = \text{Energie (in J)} \div \text{tijd (in s)}$$

$$\text{Energie (in J)} = \text{massa (in kg)} \times \text{specifieke warmtecapaciteit (in J kg}^{-1}\text{C}^{-1}\text{)} \\ \times \text{temperatuur verandering (in }^{\circ}\text{C)}$$

1. De straal van de aarde is 6400 km. Wat is de oppervlakte van de planeet in m^2 ?

2. Een schatting van de extra energie die door de opwarming van de aarde wordt gevangen, is $0,62 \text{ W m}^{-2}$. Wat is de totale hoeveelheid extra energie die in de hele wereld wordt opgesloten?

a. Per seconde? _____

b. Per jaar? _____

3. Als al deze energie in de atmosfeer zou blijven, wat zou dan de jaarlijkse temperatuurstijging van de atmosfeer zijn?
totale massa van de atmosfeer = $5.14 \times 10^{18} \text{ kg}$
gemiddelde specifieke warmtecapaciteit van lucht = $1158 \text{ J kg}^{-1}\text{C}^{-1}$

4. Als in plaats daarvan al deze energie in de oceanen terecht kwam, wat zou dan de jaarlijkse temperatuurstijging daarvan zijn?
totale massa oceanen = $1,4 \times 10^{21} \text{ kg}$
gemiddelde specifieke warmtecapaciteit zeewater = $3850 \text{ J kg}^{-1}\text{C}^{-1}$

5. Welk theoretisch cijfer is groter? Waarom? _____

In de praktijk is de gemiddelde temperatuurstijging van de atmosfeer veel minder dan het door u berekende cijfer, en metingen van de oceaan temperaturen laten een veel grotere stijging zien.

6. Gebruik ideeën uit het informatieblad om u te helpen deze verschillen uit te leggen.

Werkblad 2: Stijgend en dalend water

Wat je nodig hebt

- Grote transparante bak
- Kleine bak
- Plastic zak
- Rubberen band
- Voedingskleurstof of inkt
- Ijs of gekoeld water
- Warm en koud water
- Stopwatch of klok (optioneel)
- Camera (optioneel)

Gezondheid en veiligheid

- Ga voorzichtig te werk om morsen en spatten te voorkomen die tot vlekken kunnen leiden.
- Gebruik warm water tussen 40°C en 60°C - als er geen warm stromend water beschikbaar is, meng dan kokend water uit een waterkoker met koud water.
- Wees extra voorzichtig als u glazen potten gebruikt.

Doel

Je gaat nauwkeurig onderzoeken hoe water van een bepaalde temperatuur zich gedraagt wanneer het in water van een andere temperatuur wordt geplaatst. Mogelijke combinaties die je zou kunnen proberen staan in de tabel hieronder.

	Water in grote bak	Water in klein bakje
1	Koud (uit de koelkast of gekoeld met ijs)	Heet
2	Heet	Koud
3	Heet	Koud (met kleine container horizontaal)
4	Koud(uit de koude kraan)	Heet

Wat te doen?

1. Doe water van één temperatuur in de grote bak. Vul hem voor ongeveer driekwart. Zet het op een stabiele ondergrond en laat het water tot rust komen.
2. Doe water van de andere temperatuur in de kleine bak. Kleur dit water met voedingskleurstof of inkt. Het moet vrij donker zijn. Maak een deksel voor het bakje van een stuk plastic zak dat met een elastiekje of een touwtje wordt vastgehouden. Maak enkele gaatjes in het deksel zodat het gekleurde water kan ontsnappen, maar niet te snel.
3. Laat de kleine bak voorzichtig in de grote zakken, waarbij je het water zo weinig mogelijk verstoort.
4. Leg je waarnemingen vast. Je kunt beschrijvingen, tekeningen, foto's of een combinatie daarvan gebruiken. Wellicht wil je ook noteren wanneer je bepaalde dingen ziet gebeuren.
5. Wanneer het water een stabiele toestand heeft bereikt (er lijkt weinig meer te veranderen), maak je de bakken leeg en probeer je een andere combinatie.



(Bron: ESA CCI)

Wellicht wil je zelf enkele combinaties uitproberen of, als de bakjes die u gebruikt het mogelijk maken om dit veilig te doen, het water uit het kleine bakje op een andere hoogte inbrengen.

Analyse van de resultaten

1. Vat de waarnemingen van elke combinatie die je hebt geprobeerd als volgt samen:
 - Kies de drie waarnemingen die samen het best aantonen hoe de situatie zich heeft ontwikkeld.
 - Beschrijf elk hiervan met behulp van:
 - een zin, of
 - een toelichtende afbeelding, of
 - een stukje video (niet meer dan 5 seconden).
 - Leg uit wat er op elk punt gebeurt.
Gebruik ideeën over temperatuur en dichtheid.
2. Valt je iets interessants op als je de waarnemingen voor twee verschillende combinaties (bijvoorbeeld combinaties 2 en 3, of 1 en 4) vergelijkt? Zo ja:
 - Voeg een extra zin of een samengestelde afbeelding toe en benadruk de overeenkomsten en verschillen.
 - Leg uit wat de oorzaak is van de overeenkomsten of verschillen die je benadrukt.
3. Leg uit hoe je bevindingen verband houden met de circulatie van water en energie in de oceanen. Wellicht kun je informatieblad 1 raadplegen.

Je leraar zal je vertellen welke vorm je moet gebruiken om je resultaten met de leraar of de rest van de klas te delen.

Onderzoek van het zoutgehalte

Hoe zou je deze apparatuur kunnen gebruiken om te onderzoeken wat het effect van verschillen in zoutgehalte op de menging tussen waterlagen in de oceaan is?

- Denk aan plaatsen in de oceaan waar watermassa's met verschillende zoutgehaltes met elkaar in contact komen.
- Gebruik deze ideeën om je te helpen combinaties te kiezen om te onderzoeken.
- Misschien wil je eerst onderzoeken hoe zout je water kunt maken, of onderzoeken hoe zout verschillende delen van de oceaan zijn.

Beschrijf je plan en voer, als de tijd het toelaat, je onderzoek uit.

Demonstratie van opwelling

Hoe zou je deze ideeën kunnen gebruiken om aan te tonen hoe aflandige winden leiden tot opwelling van koud water uit de diepe oceaan?

Teken een diagram om je ideeën te laten zien.

Werkblad 3: DE GOLFSTROOM

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

Klik op het symbool Data lagen (rechtsboven) en kies Zee Oppervlaktetemperatuur.

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.

De Golfstroom is een warme oppervlaktestroom die langs de kust van Florida opwelt en over de Noord-Atlantische Oceaan stroomt.

Algemene patronen

Wijzig de grootte van de wereldbol in Climate from Space zodat u de Golfstroom in detail kunt zien en de animatie van maand tot maand voor een jaar of twee kunt doorlopen.

1. Hoe ontwikkelt en verandert de Golfstroom zich in de loop van een jaar? Kijk naar zaken zoals hoe ver het zich elke maand over de oceaan uitstrekt, hoe scherp de randen zijn, en het temperatuurverschil tussen de stroom en de omringende oceaan.

Om meer over de Golfstroom te weten te komen, ga je je op twee plaatsen concentreren:

- De Golfstroom ten oosten van Norfolk, Virginia.
- De Golf van Maine.

Gebruik een online-kaart om deze twee gebieden te lokaliseren, zodat je de vorm van de kust kunt gebruiken om ze te identificeren in de Climate from Space webapplicatie.

2. In welke maanden lijkt het water van de Golfstroom het warmst en het koelst te zijn? Maak een schatting van de temperatuur in elk van deze gevallen en vergelijk deze met die van de Golf van Maine in dezelfde maanden.

	Maand	Geschatte gemiddelde temperatuur / °C	
		Golfstroom	Golf van Maine
Warmste			
Koudste			

Temperatuurschommelingen

Open de planetaire warmtepompen Activiteit 3 spreadsheet. (Je leraar zal je vertellen hoe je hier toegang toe krijgt.) De spreadsheet toont enkele van de gegevens die zijn gebruikt om de visualisatie in de webapplicatie Climate from Space te maken.

3. Zet beide reeksen gegevens uit op één grafiek met de datum op de x-as en de temperatuur van het zeeoppervlak op de y-as.
Gebruik je grafiek om je antwoorden op vraag 2 te controleren.

Voeg een lineaire trendlijn toe voor elke reeks gegevens en toon de vergelijkingen voor elke lijn op de grafiek.

4. Wat vertellen deze lijnen en hun vergelijkingen ons over water gebeurt met het water in de Golf van Maine en de Golfstroom? Zoek naar overeenkomsten en verschillen en gebruik, gebruik indien mogelijk, figuren om je beschrijvingen te ondersteunen.

Verbindingen leggen

Kom meer te weten over het gedrag en de invloed van de Golfstroom met behulp van de webtoepassing Climate from Space en andere bronnen.

Je kunt een van de volgende vragen onderzoeken, of een eigen vraag.

- Hoe beïnvloedt de Golfstroom de verspreiding van fytoplankton in de Atlantische Oceaan? (Gebruik de gegevenslaag over de kleur van de oceaan).
- Bestaat er een verband tussen de Golfstroom en de saliniteits patronen in de Noord-Atlantische Oceaan?
- Hoe beïnvloedt de omvang van het zee-ijs de Golfstroom?
- Zijn er verschillen in de ruwheid van de zee langs het traject van de Golfstroom? (Gebruik de Sea State data laag.)
- Zijn er merkbare verschillen in bewolking als de temperatuur van de Golfstroom varieert?

Gebruik je begrip van hoe energie en water bewegen tussen de atmosfeer en de oceaan om deze nieuwe informatie te relateren aan de patronen en trends in de temperatuur van het zeeoppervlak die je hierboven hebt beschreven.

Informatieblad 1: PLANETAIRE WARMTEPOMPEN

Als je op midzomerse dag een duik in zee neemt, kan het water verrassend koud zijn. Een van de belangrijkste oorzaken van verdrinking, vooral in de zomer, is een koud water shock. Hoewel de zon dan op het hoogste punt staat en er meer uren zonlicht zijn dan op enige andere dag van het jaar, bereikt de zee de maximumtemperatuur pas drie maanden later, in de herfst. Deze vertraging toont aan dat de zee een grote warmtecapaciteit heeft - het kost veel energie om de temperatuur te veranderen, dus warmt de zee langzaam op en koelt het langzaam af.

Water is ongelooflijk goed in het opslaan van warmte. Zo goed dat de bovenste drie meter van de oceaan alleen al evenveel warmte vasthouden als de hele atmosfeer - en de atmosfeer strekt zich uit tot een hoogte van bijna 100 kilometer. Het vermogen van de oceaan om de energie die het van de zon ontvangt op te slaan, te transporteren en langzaam weer af te geven, maakt het tot één van de belangrijkste klimaat regulatoren op onze planeet. De bovenste lagen van de oceaan absorberen ongeveer 90% van de overvloedige warmte die door de opwarming van de aarde wordt veroorzaakt.

Warmte verplaatsen over de wereld

De evenaar ontvangt veel meer energie van de zon dan de poolstreken. De circulatie van de oceaan en de atmosfeer zorgt echter voor een herverdeling van deze energie over de wereld. Oceaanstromingen worden aangedreven door de rotatie van de aarde, oppervlakte winden en verschillen in dichtheid van het water tengevolge van verschillen in het zoutgehalte (saliniteit) en de temperatuur. De bovenste lagen van de oceaan bewegen over het algemeen met de klok mee op het noordelijk halfrond en tegen de klok in op het zuidelijk halfrond.

Warme oppervlakte stromingen, zoals de Golfstroom op het plaatje, brengen warmte van de evenaar en de tropen naar hogere breedtegraden. Dit poolwaartse warmtetransport is verantwoordelijk voor het milde klimaat van West-Europa. In de Stille Oceaan verwarmt de Kuroshio-stroming de oostkust van Japan, en is er gewoonlijk een koude equatoriale stroming die zich vanuit Zuid-Amerika naar het westen uitstrekt.



Benjamin Franklins kaart van de Golfstroom, gepubliceerd in 1786 (Bron: ontleend aan de Library of Congress)

De zogenaamde Noord-Atlantische Diepwaterpomp (naar de plaats waar het voor het eerst werd waargenomen), of thermohaline circulatie, strekt zich uit tot in de diepten van de oceaan en omvat de hele wereldbol. Water doet er ongeveer 1000 jaar over om er volledig doorheen te stromen.

De oceanen en de atmosfeer transporteren beide ongeveer evenveel warmte naar de polen. De circulatie van de atmosfeer wordt gedeeltelijk aangedreven door de energie die wordt uitgewisseld wanneer oceaanoever water verdampt en wanneer regen valt. Dit maakt de zee tot een belangrijke klimaatregelaar en de temperatuur van het oppervlak tot een van de belangrijkste metingen voor klimaatwetenschappers.

Het effect van warmere oceanen

Hogere temperaturen aan het zeeoppervlak leiden tot meer verdamping. Meer waterdamp in de atmosfeer leidt waarschijnlijk tot meer bewolking en meer regen. In het westelijke Middellandse-Zeegebied is de opwarming van de zee een belangrijke factor bij het ontstaan van plotselinge stortbuien en plotselinge overstromingen die de kusten van Frankrijk, Italië en Spanje in de nazomer teisteren.

Op grotere schaal zijn hoge watertemperaturen in tropische oceanen de drijvende kracht achter extreme weersomstandigheden zoals orkanen. Tijdens deze orkanen wordt zoveel energie uitgewisseld tussen de oceaan en de atmosfeer dat de oppervlaktetemperatuur van de zee in de nasleep van een grote orkaan merkbaar kan dalen.

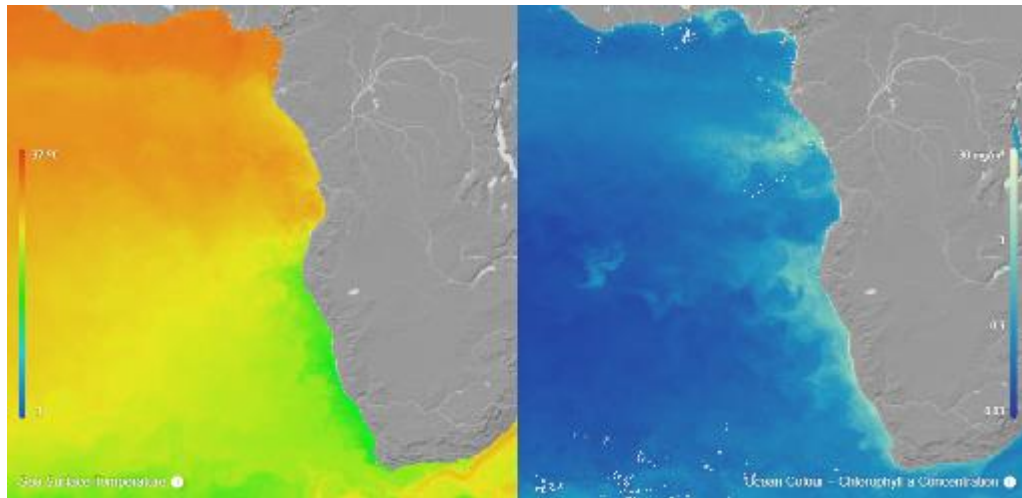
Temperatuurkaarten van het zeeoppervlak tonen niet alleen warme en koude stromingen, maar ook waar koud water opwelt, d.w.z. vanuit de diepe oceaan naar het oppervlak stijgt. Dit gebeurt waar oppervlaktewater door de heersende wind naar de kust wordt geduwd.

Monitoring van de oceaan

Het is waarschijnlijk dat de bovenste oceaanlaag al sinds het midden van de negentiende eeuw opwarmt. Wetenschappers zijn echter pas sinds de jaren zeventig van de vorige eeuw in staat om de opwarming van het oceaanoppervlak vanuit de ruimte te meten. Satellieten met infraroodcamera's meten de temperatuur van de oceaan met een nauwkeurigheid van enkele tienden van een graad Celsius.

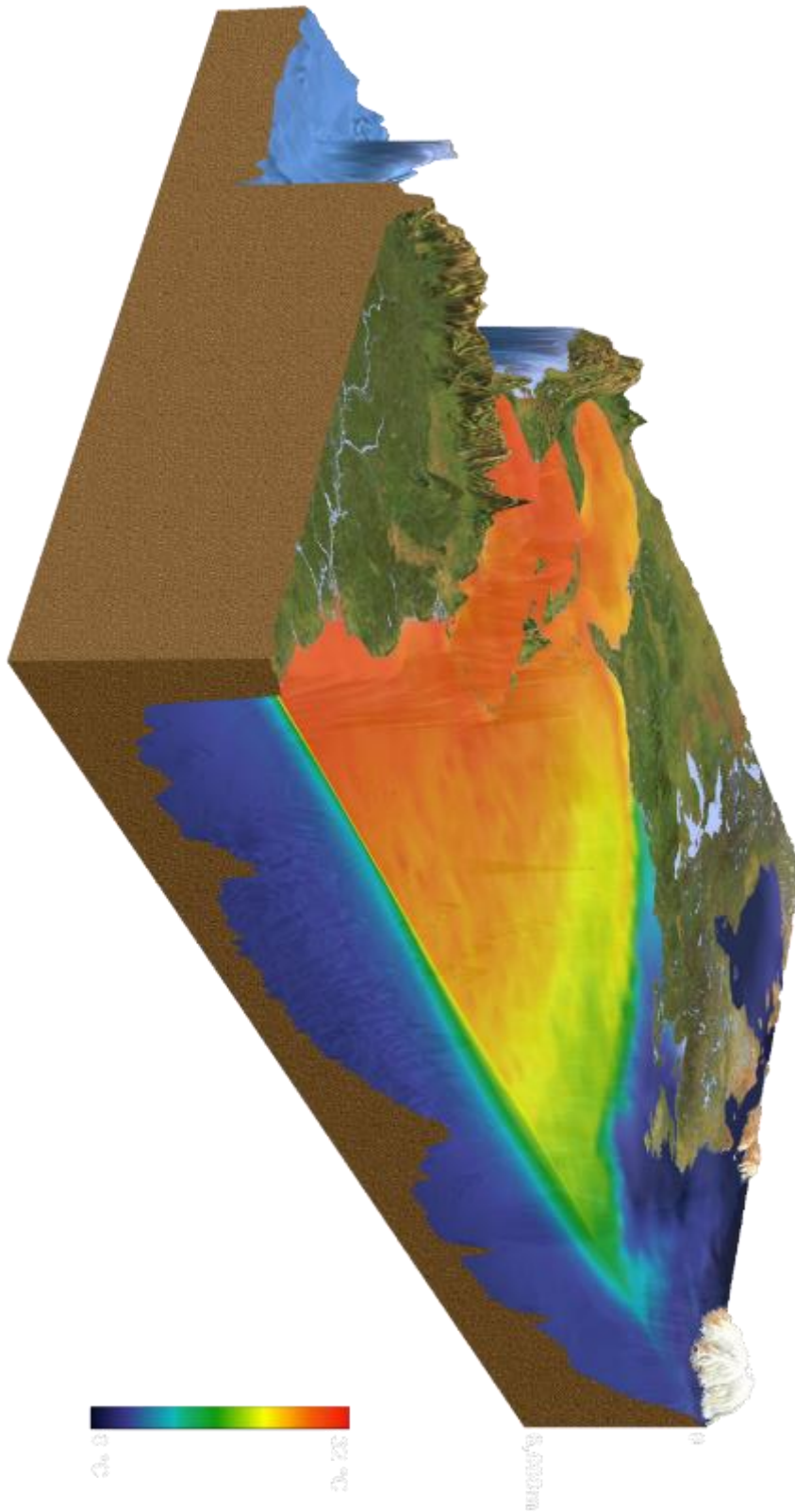
Sommige van deze satellieten zijn uitgerust met sensoren die zeer nauwkeurige metingen verrichten voor een klein deel van de oceaan op een bepaald tijdstip; andere meten de gemiddelde temperatuur van een groter gebied en kunnen zo in een paar dagen gegevens verzamelen voor de hele aarde. Klimaatwetenschappers hebben informatie van sensoren van een reeks satellieten gecombineerd tot een verzameling betrouwbare gegevens van hoge kwaliteit die laten zien hoe de oceaan de afgelopen jaren is veranderd. De gegevensreeksen hebben niet alleen betrekking op temperaturen, maar ook op variabelen zoals zoutgehalte, zeewater niveau, golfhoogte en chlorofylgehalte (aan de hand waarvan we de overvloed van

fytoplankton, dat aan de basis van de voedselketen in de oceanen staat, kunnen bepalen).



Temperatuur van het zeeoppervlak en chlorofyl in de oceaan langs de kust van Afrika. Het koude opstuwende water voert voedingsstoffen van de zeebodem mee waarop het plankton gedijt. (BRON: ESA CCI)

Informatieblad 2: TEMPERATUUR EN DIEPTE VAN DE OCEAAN



Dwarsdoorsnede van de Noord-Atlantische Oceaan die toont hoe de temperatuur van de oceaan varieert aan het oppervlak en met de diepte (Bron: Planetary Visions)

Links

Middelen

Climate from Space web applicatie

<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

Onderzoek naar de Golfstroom met LEO Works

https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Weather_EN/SEM29YK1YHH_0.html

Ruimtevaartprojecten van ESA

ESA-klimaatbureau

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

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 Sentinels Satellieten

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

SMOS - Bodemvochtigheid en zoutgehalte van de oceaan

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

Extra informatie

Zout water in kaart brengen

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

Video over de temperatuur van het zeeoppervlak

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/09/Sea-surface_temperature#.X9oKgkStwEY.link

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