

Klimaat en de oceaan:

Oceaancirculatie

Gebruiksinfo voor de leerkracht

Dit document omvat een lespakket rond het thema 'Oceaancirculatie'.

- In de sectie '**Leerplandoelstellingen**' kan je nagaan binnen welke leerplandoelstellingen dit lespakket past.
- In de sectie '**Achtergrondinformatie**' kan je je inlezen in het thema. Dit biedt de nodige achtergrond voor de leerkracht om aan de slag te gaan met het thema en kan ook als inleiding dienen voor leerlingen. Onderaan deze sectie vind je ook een aantal betrouwbare en interessante links om verder te lezen, mocht je nog informatie willen.
- De sectie '**Leerkrachteditie**' geeft de volledige ingevulde versie (schuingedrukt) van het document '**Werkbundel**' die er voor de leerlingen is. De werkbundel kan je apart op de Planeet Zee website downloaden.
- **Videomateriaal** van het experiment rond de thermohaliene circulatie is voorhanden op de website.



Klimaat en de oceaan:

Oceaancirculatie

Leerplandoelstellingen

<p>Leerplandoelstelling De massadichtheid van een vaste stof, een vloeistof of een gas experimenteel bepalen (en deze methode beschrijven).</p>		
Fysica	Tweede graad	<ul style="list-style-type: none"> - ASO Wetenschappen, Sportwetenschappen, Wetenschappen-Topsport Leerplan Secundair onderwijs VVKSO – Brussel D/2012/7841/009 - TSO Biotechnische wetenschappen, Voedingstechnieken D/2015/7841/024 - TSO Plant-, dier- en milieutechnieken D/2015/7841/023 - TSO Techniek-wetenschappen D/2015/7841/025 - ASO Economie, Grieks, Grieks-Latijn, Humane wetenschappen, Latijn. Leerplan Secundair onderwijs GO! 2012/005 - ASO Wetenschappen, Wetenschappen-topsport, Sportwetenschappen. 2012/004 - TSO Biotechnische wetenschappen. 2015/020 - KSO-TSO Lichamelijke opvoeding en Sport, Topsport, Plant-, dier- en milieutechnieken, Bouw- en houtkunde, Elektricitetelektronica, Elektromechanica, Fotografie, Audiovisuele vorming, Beeldende en architecturale vorming. 2015/007 - TSO Industriële wetenschappen. 2015/014 - TSO Techniek-wetenschappen. 2015/017
Natuur-wetenschappen	Tweede graad	<ul style="list-style-type: none"> - KSO/TSO Artistieke opleiding, Beeldende en architecturale kunsten, Bio-esthetiek, Bouwtechnieken, Brood- en banket, Creatie en mode, Dans, Elektrotechnieken, Grafische media, Handel, Handel-talen, Hotel, Houttechnieken, Maritieme technieken dek, Maritieme technieken motoren, Mechanische technieken, Muziek, Slagerij en vleeswaren, Woordkunst-drama, Toerisme. 2015/008

Klimaat en de oceaan:

Oceaancirculatie

Achtergrondinformatie

Sleutelwoorden: thermohaliene circulatie – densiteit van warm en koud water – densiteit van zoet- en zoutwater – afsmelten van ijs – klimaatopwarming – thermocline – halocline – stratificatie (gelaagdheid)

Oceaancirculatie is een belangrijke **regulator van het klimaat**, voornamelijk door het opslaan en transporteren van warmte van lagere naar hogere breedtegraden. Deze zeestromingen herverdelen de ingestraalde zonnewarmte over onze planeet, net zoals luchtdrukgebieden en winden dit doen in de atmosfeer. Zo heeft de oceaan een belangrijke invloed op zowel het regionale als globale klimaat.

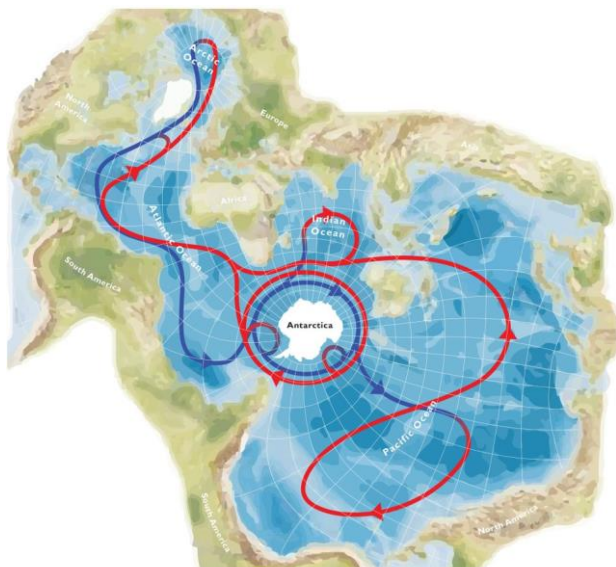
Oceaancirculatie verdelen we onder in **oppervlaktestromingen en diepwaterstromingen**. Het geheel van wereldwijde oceaanstromingen noemen we de thermohaliene circulatie. Deze term is afkomstig van het Grieks, waarbij thermo staat voor temperatuur en halien voor zoutgehalte. Verschillen in **temperatuur** en **zoutgehalte** (of saliniteit) zijn dan ook de belangrijkste drijfveren voor het ontstaan van oceaanstromingen. Beide beïnvloeden op hun beurt de **densiteit** (of dichtheid), een maat voor hoeveel massa een bepaald volume bevat.

Densiteit is niet alleen een functie van temperatuur en saliniteit, maar ook van **druk**. De fysica gaat echter uit van de onsamendrukbaarheid van water bij het formuleren van wetten. Water is zelfs in de diepzee maar zeer beperkt samendrukbaar. Druk oefent dus slechts een minimale invloed uit op de densiteit en mag als verwaarloosbaar worden beschouwd.

Oppervlaktestromingen staan ook niet los van de herverdeling van warmte in de atmosfeer via **wind**. Wanneer de lucht beweegt, oefent die een wrijvingskracht uit op het water waardoor de bovenste waterlaag als het ware meegetrokken wordt.

Laat ons even dieper ingaan op **densiteitsverschillen** als drijfveer van de thermohaliene circulatie. De motor achter dit gebeuren is de zon, die met name in de tropen het oceaanooppervlak opwarmt en een oppervlaktestroming op gang trekt. Dat warme water is minder dicht dan kouder water, waardoor het aan het oppervlak blijft. Die lagere dichtheid is te wijten aan de extra energie van de individuele watermoleculen, die botsen en zo meer ruimte laten tussen de moleculen. Voor een bepaald volume is er dus een kleinere massa. Zoutwater is dan weer dichter dan zoetwater. Tussen de watermoleculen bevinden zich ook zoutmoleculen die massa bijdragen aan een bepaald volume. Zoutmoleculen dissociëren in water (vormen Na⁺- en Cl⁻-ionen) en vormen geladen deeltjes die de partieel geladen watermoleculen aantrekken. Hierdoor krijg je meer deeltjes (en dus meer massa) per volume.

Op deze basisprincipes berust de **thermohaliene circulatie**. Het door de zon opgewarmde oppervlaktewater ter hoogte van de tropen beweegt poolwaarts en geeft geleidelijk aan zijn warmte af. Het water wordt kouder en dus dener. Als voorbeeld en onderdeel van die thermohaliene circulatie kunnen we ons licht werpen op de Golfstroom. Deze voor Europa belangrijke oceanische oppervlaktestroming ontstaat in de Golf van Mexico en transporteert warm water via de Atlantische Oceaan, helemaal noordwaarts tot in de Noordelijke IJszee. Naarmate de Golfstroom noordoostwaarts vloeit, verliest ze meer en meer haar warmte en wordt ze zwaarder. Uiteindelijk is zoveel warmte afgegeven dat het zeewater van de Golfstroom befrist in de Noordelijke IJszee. Dat ijs is zoet omdat het zout niet mee befrist. Gevolg: het koude zeewater dat overblijft krijgt een nog hoger zoutgehalte en hogere densiteit. Dit zwaardere, densere water zinkt naar de diepte en vormt een omkerende diepwaterstroom. Dit gebeurt zowel in de Noordelijke IJszee (in de Labradorzee en de Groenlandzee) als in de Weddellzee en Rosszee rond Antarctica. Wanneer dener water zinkt, dient een vergelijkbare hoeveelheid water de plaats in te nemen. Dit aangetrokken warmer oppervlaktewater houdt de 'transportband' in beweging. In het Engels spreekt men dan ook van de 'global conveyor belt', een wereldwijde transportband. Wanneer we uitzoomen op de wereldkaart, zien we dat alle oceaانبekken op die manier verbonden zijn. Het is dus beter om over één globale oceaan te spreken.



Figuur. Globale oceaancirculatie op een Spilhausprojectie, met centraal Antarctica en daarrond de verbonden oceaانبekken tot één globale oceaan. Rode stromingen stellen warm oppervlaktewater voor, blauwe stromingen wijzen op koud diepwater (©Michael Meredith).

Daarnaast is de oceaancirculatie gevoelig voor de **globale zoetwaterflux**, een samenspel van verdamping, vorming van zee-ijs, neerslag en het smelten van ijskappen. Verdamping en zee-ijsvorming verhogen de saliniteit (en dus densiteit). Neerslag en het smelten van ijskappen doen de saliniteit net dalen.

Ook de antropogene **klimaatopwarming** beïnvloedt de thermohaliene circulatie. Zowel de stijgende temperatuur van het (oppervlakte)water als de instroom van zoet smeltwater aan de polen, zorgen voor een densiteitsdaling. Dit kan diepwatervorming bemoeilijken en de thermohaliene circulatie vertragen.

Verder lezen in het Nederlands:

- Vlaams Instituut voor de Zee. Thermohaline circulation of the oceans. www.vliz.be/wiki/Thermohaline_circulation_of_the_oceans
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. Transportband van de oceaan. www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/transportband-van-de-oceaan

Verder lezen in het Engels:

- Ocean & climate platform. Ocean circulation. https://ocean-climate.org/?page_id=3829&lang=en
- Climatic Research unit. University of East Anglia. The Thermohaline Circulation. www.cru.uea.ac.uk/documents/421974/1295957/Info+sheet+%237.pdf/320eba6e-d384-497d-b4fc-2d2c187f805e
- Stefan Rahmstorf. Potsdam Institute for Climate Impact Research. The thermohaline circulation, a brief fact sheet. www.pik-potsdam.de/~stefan/thc_fact_sheet.html

Video's:

- Jennifer Verduin. How do ocean currents work? www.youtube.com/watch?v=p4pWafuvdrY
- NASA. The ocean: driving force for weather and climate. www.youtube.com/watch?v=SHBPTxlgHy4&t=4s

Klimaat en de oceaan:

Oceaancirculatie

Leerkrachteditie

De watermassa's van de oceaan herverdelen warmte over onze planeet. Oppervlaktewater dat opwarmt aan de tropen stroomt naar hogere breedtegraden en geeft zijn warmte geleidelijk aan af aan de atmosfeer. Zo heeft oceaancirculatie een bepalende invloed op ons globale en regionale klimaat. De warme Golfstroom die hier onderdeel van uitmaakt, zorgt ervoor dat West-Europa een milder klimaat kent in vergelijking met de regio's in het westen van de Atlantische Oceaan die zich op dezelfde breedtegraad bevinden.

In de hiernavolgende experimenten creëer je verschillende waterlagen en bestudeer je hoe die met elkaar interageren. **De experimenten staan los van elkaar.**

Doelstellingen:

- Bepalen van dichtheid.
- Inzicht verkrijgen in dichtheid (van zoet- en zoutwater; van warm en koud water).
- Een gestratificeerde oceaan maken met verschillende waterlagen (oppervlaktewater, intermediair water en diepwater).
- De link leggen tussen de opwarming van het klimaat en de thermohaliene circulatie.

Nodige voorkennis van de leerlingen:

Dichtheid = een maat voor hoeveel massa een bepaald volume bevat, m/V .

Concentratie- en verdunningsberekening.

Klimaat en de oceaan:

Oceaancirculatie

Leerkrachteneditie: Deel I: Het bepalen van de dichtheid van zoet- en zoutwater

Tijdsduur: een half lesuur

Niveau: tweede graad middelbaar

Materiaal deel I: maatcilinder (100 ml), balans, pipet, peer, horlogeglas, spatel, gedestilleerd water, zout

Procedure deel I:

- Bepaal de massa van de lege maatcilinder. Noteer alle waarden hieronder bij 'Reflectie deel I'.
- Vul de maatcilinder met 100 ml gedestilleerd water.
- Bepaal de massa van de maatcilinder met gedestilleerd water. Vul in.
- Hieruit kan je de massa van het gedestilleerde water berekenen. Vul in.
- Bepaal de dichtheid van het gedestilleerd water: deel de massa door het volume. (Tip: 1 ml komt overeen met 1 cm³). Vul in.
- Gebruik een pipet om 5 ml gedestilleerd water te verwijderen uit de maatcilinder.
- Weeg 5 g zout af op een horlogeglas en voeg dit toe aan de maatcilinder met gedestilleerd water.
- Lees het waterniveau af. Dit is het nieuwe volume. Vul in.
- Bepaal de nieuwe dichtheid. Vul in.

Reflectie deel I:

- Massa lege maatcilinder = g
- Massa maatcilinder met gedestilleerd water = g
- Massa gedestilleerd water = 100 g
- Dichtheid gedestilleerd water = 1 g/cm³
M.a.w. wanneer je een kubus van 1cm x 1 cm x 1 cm vult met water, weegt dit precies 1 g.
- Volume na verwijderen van 5 ml water en toevoegen van 5 g zout = ml
- Dichtheid zoutwater = g/cm³
De dichtheid is iets groter dan 1 g/cm³ geworden.
- Vergelijk de dichtheid van zoetwater en zoutwater door onderstaande vragen te beantwoorden:

Vraag 1. Wanneer 5 g zout werd opgelost in 95 ml gedestilleerd water, veranderde dan het volume?
Het volume steeg lichtjes (2-3 ml).

Vraag 2. Wanneer 5 g zout werd opgelost in 95 ml gedestilleerd water, veranderde dan de densiteit van dit zoutwater t.o.v. de densiteit van het zoetwater? Leg uit.

De densiteit van het water steeg omdat de massa steeg (van 95 naar 100 g) terwijl het volume minder steeg. We verkregen eenzelfde massa (100 g) voor een kleiner volume. Zoutwater is daarom denser dan zoetwater.

Klimaat en de oceaan:

Oceaancirculatie

Leerkrachteneditie: Deel II: Thermohaliene Circulatie

Tijdsduur: een lesuur voor het experiment met reflectie, een lesuur voor de theoretische opdracht en link met de Thermohaliene Circulatie

Niveau: tweede graad middelbaar

Videomateriaal van deze proef is beschikbaar op de Planeet Zee website.

Materiaal deel II: aquarium, balans, horlogeglas, maatbeker 1 l (2), maatbeker 100 ml, maatbeker 500 ml, roerstaaf, cultuurfles, elektrische thermometer, bunsenbrander, driepikkel, draadnet, kroestang, spatel, voorwerp om als platform in het aquarium te gebruiken (bv. een grote maatbeker), stift, lucifers of aansteker, gedestilleerd water, drie verschillende kleuren kleurstof (bv. blauw, rood, geel), zout, geruit A4-blad (theoretische opdracht), kleurpotloden (theoretische opdracht)

Procedure deel II:

- Weeg 17,5 g zout af op een horlogeglas.
 - Voeg dit zout toe aan een maatbeker gevuld met 0,5 l gedestilleerd water. Zorg dat al het zout is opgelost. Label: zoutwater.
 - Giet 100 ml van dit zoutwater in een cultuurfles en voeg enkele druppels (blauwe) kleurstof toe. De rest van het zoutwater heb je later in dit experiment nog nodig.
 - Vul het aquarium met gedestilleerd water. Zowel het zoutwater als dit zoetwater moeten dezelfde temperatuur hebben.
 - Plaats een grote maatbeker rechtop aan de ene kant van het aquarium. Dit dient als platform (zie illustratie rechts).
 - Leg de cultuurfles (zonder dop) met (blauw)gekleurd zoutwater plat op het platform (de maatbeker).
 - Beschrijf je waarneming verder in het laborrapport. Beantwoord bijgevoegde vragen (1-2).
-
- Kook 100 ml gedestilleerd water in een maatbeker (opstelling: bunsenbrander, driepikkel, draadnet) en voeg een (rode) kleurstof toe.
 - Gebruik de kroestang om de maatbeker met (rood)gekleurd warm water rechtop in het aquarium te plaatsen (zie illustratie rechts), aan de andere zijde. Let op, doe dit voorzichtig!
 - Beschrijf je waarneming verder in het laborrapport. Beantwoord bijgevoegde vragen (3-4).



Illustratie: maatbeker als platform in het aquarium.



Illustratie: maatbeker met kroestang in aquarium brengen.

- Kook opnieuw een hoeveelheid gedestilleerd water (300 ml) in een grote maatbeker.
- Maak een 50/50 mengsel van het zoutwater op kamertemperatuur en het kokend water en kleur dit in een andere kleur (geel).
- Bereken het zoutgehalte en meet de temperatuur van het mengsel en noteer dit in het laborapport (5).
- Voorspel vervolgens waar dit (gele) water terecht zal komen wanneer je het in het aquarium brengt met een kroestang (zie illustratie rechts) (6).
- Breng het (gele) mengsel in het aquarium met een kroestang en noteer je observaties in het laborapport (7).



*Illustratie:
mengsel in het
aquarium met
een kroestang.*

Reflectie deel II:

1. Wat gebeurt er nadat je de cultuurfles met (blauw)gekleurd zoutwater in het aquarium met zoetwater hebt gelegd?

Het (blauw)gekleurde zoute water stroomt uit de cultuurfles en zinkt. Zoutwater is dus denser dan zoetwater. Er treedt stratificatie (gelaagdheid) op en er wordt een halocline waargenomen op de grens van (blauw)gekleurd water en helder water. Een halocline is een overgangszone tussen twee waterlagen met een verschillende saliniteit.

2. Wanneer je een gelaagdheid (stratificatie) waarneemt in het water, hoe wordt die veroorzaakt?
De stratificatie treedt op tussen twee waterlagen met een verschillend zoutgehalte (saliniteit).

3. Wat gebeurt er nadat je de maatbeker met (rood)gekleurd warm water in het aquarium hebt geplaatst?

Het (roodgekleurde) warme water stroomt naar boven omdat het minder dicht is dan het onderliggende koudere water. Er treedt stratificatie op en er wordt een thermocline waargenomen vlakbij het oppervlak op de grens tussen (rood)gekleurd en helder water. Een thermocline is een overgangszone tussen twee waterlagen met een verschillende temperatuur.

4. Wanneer je een gelaagdheid (stratificatie) waarneemt in het water, hoe wordt die veroorzaakt?
De stratificatie treedt op tussen twee waterlagen met een verschillende temperatuur.

De termen 'halocline' en 'thermocline' worden in de daaropvolgende theoretische opdracht door de leerlingen verworven.

5. Wat is de temperatuur en het zoutgehalte van het 50/50 mengsel? Noteer ook je berekeningen. Vergeet geen eenheden.

Leerlingen meten de temperatuur van het 50/50 mengsel. Die temperatuur zal zich tussen kamertemperatuur en 100°C bevinden.

Om het zoutgehalte te bepalen is enige chemische kennis vereist. Wanneer leerlingen dit nog niet gezien hebben in het vak chemie, is enige verduidelijking hier nodig.

Zoutwater heeft een massaconcentratie van 35 g/l. Dit is de beginconcentratie c_1 . Hiervan wordt 300 ml genomen (V_1) om toe te voegen aan 300 ml van het kokende zoetwater. V_2 is dan 300 + 300 ml = 600 ml. De concentratie van de verdunning wordt via volgende formule berekend: Eindconcentratie $C_2 = (c_1 V_1) / V_2 = (35 \text{ g/l} \cdot 0,3 \text{ l}) / 0,6 \text{ l} = 17,5 \text{ g/l}$. Intuïtief voelen leerlingen aan dat een 50/50 mengsel van zoutwater en zoetwater een concentratie zal hebben die half zo groot is als die van het zoutwater.

6. Waar zal dit (gele) water terechtkomen wanneer je het in het aquarium giet?

Voorspelling van de leerlingen.

7. Wat observeer je wanneer je het (gele) mengsel in het aquarium giet?

Het mengsel is minder zout en dus minder dens dan het (blauwgekleurde) zoutwater. Daarom bevindt het zich boven het (blauwgekleurde) zoutwater. Het mengsel is kouder dan het (roodgekleurde) warme oppervlaktewater en dus ook denser. Daarom bevindt het zich onder het (roodgekleurde) oppervlaktewater. Het (geelgekleurde) mengsel bevindt zich tussen de twee waterlagen en noemen we intermediair water.



*Illustratie:
intermediair
water.*

Theoretische opdracht

Na het uitvoeren van Deel II kunnen leerlingen theoretische kennis rond de drie belangrijkste waterlagen en de begrippen 'thermocline' en 'halocline' zelfstandig verwerven. Ze leggen ook de link met de Thermohaliene Circulatie.

De uitgevoerde experimenten tonen aan dat er twee factoren zijn die de densiteit van water beïnvloeden, nl.:

- *Temperatuur*
- *Zoutgehalte of saliniteit*

Omdat oceaانwater verschillende densiteiten heeft, vormt het verschillende lagen. Water met een hogere densiteit zinkt naar de bodem terwijl water met een lagere densiteit erboven drijft. Water met een hogere densiteit is over het algemeen kouder en zouter, terwijl water met een lagere densiteit warmer en zoeter is.

Algemeen zijn er drie verschillende lagen in de oceaan:

- Het **oppervlaktewater** is de warmste laag omdat het opgewarmd wordt door de zon. De wind mengt dit water zodat de volledige laag ongeveer dezelfde temperatuur heeft.
- De **thermocline** is een laag waar de temperatuur snel daalt met de diepte. Deze valt vaak samen met de **halocline**, een laag waar het zoutgehalte snel verandert met de diepte.
- De **diepwaterlaag** is gelegen onder de thermocline en wordt gekenmerkt door kouder, dichter en zouter water. Zowel de temperatuur als het zoutgehalte blijven nagenoeg constant in deze laag. Het grootste volume water wereldwijd bevindt zich in de diepwaterlaag.

De diepte van de verschillende lagen is afhankelijk van de breedtegraad en van het seizoen.

*Er bestaan nog andere 'clines'. De **pycnocline** beslaat een gradiënt waar de densiteit snel verandert met de diepte. Net zoals temperatuur en saliniteit de densiteit van zeewater beïnvloeden (temperatuur in belangrijkste mate), beïnvloeden ook de thermocline en halocline de pycnocline.*

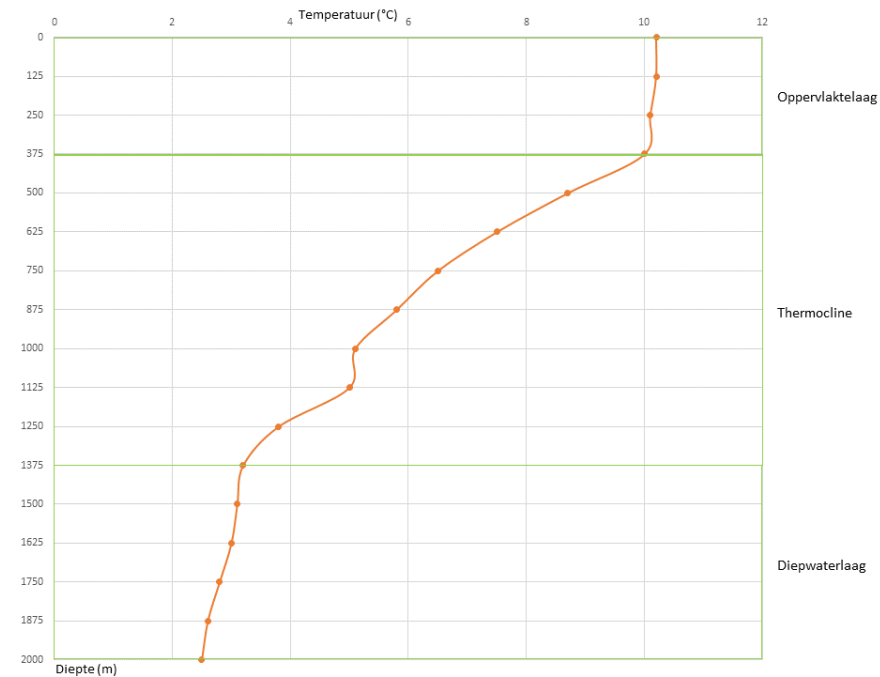
Opdracht 1. Stel, op basis van onderstaande data van een gematigde breedtegraad in de winter, een temperatuurprofiel op van het oppervlaktewater tot een diepte van 2000 m (bron: NOAA, National Oceanic and atmospheric Administration).

Maak een grafiek op een geruit A4-blad: (*Hier wordt voorgesteld om dit op papier te doen maar leerlingen kunnen dit ook in Excel doen.*)

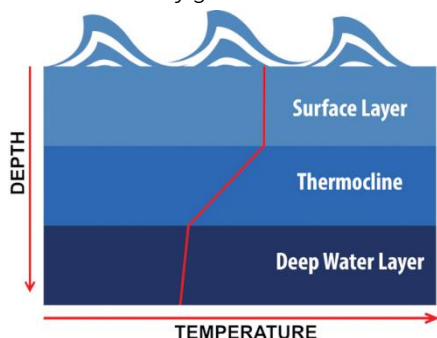
- X-as: temperatuur (°C) van 0 tot 12°C, met een interval van 2°C.
- Y-as: diepte (m) van 0 tot 2000 m, met een interval van 125 m.

Duid vervolgens de drie hierboven beschreven waterlagen aan.

Diepte (m)	Temperatuur (°C)
0	10,2
125	10,2
250	10,1
375	10
500	8,7
625	7,5
750	6,5
875	5,8
1000	5,1
1125	5
1250	3,8
1375	3,2
1500	3,1
1625	3
1750	2,8
1875	2,6
2000	2,5



De grafiek die leerlingen bekomen, volgt het algemene patroon zoals weergegeven wordt op onderstaande figuur.



© 2014 Khaled bin Sultan Living Oceans Foundation

Figuur. Oppervlaktelaag, thermocline en diepwaterlaag in functie van diepte en temperatuur.

Analyseer de data en beschrijf de verschillende waterlagen.

De oppervlaktelaag strekt zich uit van het wateroppervlak tot op een diepte van 375 m en wordt gekenmerkt door een vrij uniforme temperatuur van rond de 10°C.

De thermocline is een laag waarin de temperatuur met de diepte snel daalt en strekt zich uit tussen 375 m en 1375 m. De temperatuur daalt er ongeveer van 10°C tot 3°C.

De diepwaterlaag is typisch een koudere laag, gekenmerkt door een vrij constante temperatuur. Hier strekt deze zich uit dieper dan 1375 m en de temperatuur blijft er tussen de 3 en 2,5°C.

Extrapoler de data van het temperatuurprofiel en voorspel de temperatuur op 3000 m diepte.

De temperatuur op 3000 m diepte zal quasi hetzelfde zijn als de temperatuur op 2000 m diepte. Dit zal ongeveer 2,5°C zijn.

Opdracht 2. Reflectievragen.

Leerlingen kunnen dit op papier oplossen (alleen of in groepjes), of kunnen een Kahoot spelen:

<https://create.kahoot.it/share/oceaancirculatie/1b245682-f39e-4ea0-bc32-eaaa3d56eb43>

1. De laag waarin temperatuur het meest verandert met diepte, noemen we:
De thermocline.

2. Waar verwacht je het warmste water aan te treffen, opgewarmd door de zon?
 - a) Op de oceaانبodem
 - b) *Bij het wateroppervlak*
 - c) In de thermocline
 - d) Tussen 500 en 1000 m

3. Waarom blijft warm water aan het oppervlak?
Het is minder dens dan kouder water en drijft op het densere water.

4. Welk kenmerk beschrijft het water onder de thermocline het best?
 - a) Zeer variabel in temperatuur
 - b) Warmer dan het meeste oppervlaktewater
 - c) *Vrij uniform in temperatuur en koud*
 - d) Variabel per breedtegraad

5. Een verhoging van het zoutgehalte zal onder normale omstandigheden ook een verhoging veroorzaken van:
 - a) Temperatuur
 - b) Druk
 - c) *Densiteit*
 - d) Alle bovenstaande

6. De oceaanlaag waarin de snelste verandering van zoutgehalte met de diepte plaatsvindt, noemen we:
De halocline.

Opdracht 3. Inzichten in de thermohaliene circulatie.

Je plaatste koud zoutwater aan één zijde van het aquarium en warm zoetwater aan de andere zijde. Maak nu zelf de link met onze oceaan, de evenaar en de polen.

De aquariumzijde met het warme zoetwater stelt de evenaar voor. Hier warmt het water op dat vervolgens richting de polen stroomt. De aquariumzijde met het koude zoutwater stelt de noord- of zuidpool voor waar het afgekoelde, dichtere water zinkt en over de oceaانبodem terugstroomt naar de evenaar.

We maken nu de link met de **thermohaliene circulatie** (figuur rechts). Globale stromingen worden aangedreven door **temperatuur** (thermo) en **zoutgehalte** (halien), die beiden een invloed hebben op de **densiteit** van water.

Warmer en minder dens water ontstaat aan de tropen en stroomt richting de polen. Onderweg geeft het zijn warmte af zodat het water kouder wordt. Aan de polen bevriest een deel van dit water. Zoutkristallen blijven echter achter in het water en verzwaren het achterblijvende koude water waardoor het zinkt. Deze koudwaterstromingen vloeien op grote diepte terug naar de tropen. De thermohaliene circulatie is dus belangrijk voor het verspreiden van warmte over onze planeet. Ze heeft een effect op zowel het globale als het regionale klimaat.

De figuur toont dat de thermohaliene circulatie een gesloten systeem vormt. Het duurt ongeveer 1000 jaar vooraleer water de volledige thermohaliene circulatie heeft doorlopen.

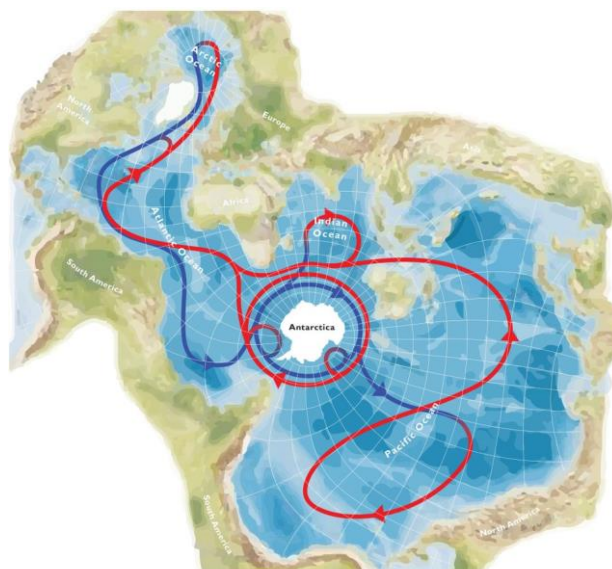
Wanneer water op onze planeet allemaal ongeveer dezelfde temperatuur zou hebben, zou warmte veel minder verspreid worden. De temperatuurverschillen tussen het evenaarsgebied en de polen zou groter zijn. Het evenaarsgebied zou dus nog warmer zijn en de polen nog kouder. Grotere temperatuurverschillen tussen watermassa's zorgen voor sterkere stromingen die warmte verspreiden en dus opnieuw verdelen.

Bestudeer nu de figuur op de volgende bladzijde.

1. Wat is de beste beschrijving voor nummer 1 op de kaart?
 - a) De Golfstroom vervoert warmte van de tropen naar West-Europa.
 - b) De Golfstroom vervoert warmte van de tropen naar de Middellandse Zee.
 - c) De Golfstroom vervoert koud water naar West-Europa.
 - d) De Golfstroom vervoert koud water van de tropen naar Groenland.

2. Omschrijf wat er gebeurt bij nummer 2 op de kaart.

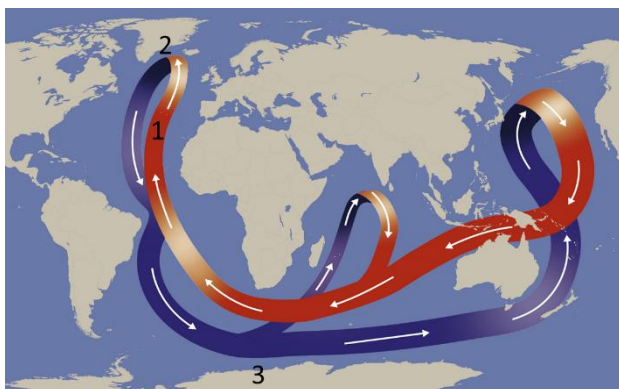
Oppervlaktewater koelt af in de Noord-Atlantische Oceaan en staat warmte af. Dit maakt het water dener waardoor het naar de bodem zinkt.



Figuur. Globale oceaancirculatie op een Spilhausprojectie, met centraal Antarctica en daarrond de verbonden oceaانبekkens tot één globale oceaan. Rode stromingen stellen warm oppervlaktewater voor, blauwe stromingen wijzen op koud diepwater (©Michael Meredith).

3. Wat is de beste beschrijving voor nummer 3 op de kaart?
 - a) *Diepwatervorming rond Antarctica.*
 - b) *Diepwatervorming in de Arctische Oceaan.*
 - c) *Opwarming van het water rond Antarctica.*
 - d) *Opwarming van het water in de Arctische Oceaan.*

4. Wat gebeurt er precies rond Antarctica (m.a.w. hoe verklaar je bovenstaande)?
Wanneer ijs gevormd wordt, wordt het omringende water zouter en denser waardoor het naar de bodem van de oceaan zinkt.



Figuur. Vereenvoudigde weergave van de thermohaliene circulatie. Legende: 1. Golfstroom; 2. Noord-Atlantisch Diepwater; 3. Antarctisch bodemwater.

De thermohaliene circulatie zorgt ervoor dat wij in West-Europa een zachter klimaat hebben. Het kritisch deel van de thermohaliene circulatie is het zinken van koud water in de Noord-Atlantische Oceaan.

We maken nu de link tussen de **klimaatverandering** en de thermohaliene circulatie. Door de enorme toename in broeikasgassen sinds de Industriële Revolutie, stijgt de temperatuur op aarde, zowel van de atmosfeer als van de oceaan. Eveneens smelt er meer ijs aan de polen. Wat kan volgens jou hiervan het effect zijn op de thermohaliene circulatie?

Wanneer leerlingen moeite hebben om tot het juiste antwoord te komen, kan je ze sturen door hen volgende vraag te stellen: Hoe kan dit de vorming van diepwater in de Noord-Atlantische Oceaan beïnvloeden? Wanneer leerlingen komen tot het vertragen of stilvallen van de thermohaliene circulatie, kan je dit als leerkracht verder duiden met onderstaande informatie van het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

Zowel de opwarming van het water in de oceaan, als de instroom van zoet smeltwater in de Noordelijke IJsee (een cruciale plaats voor de vorming van dens diepwater), verlagen de densiteit van het water. Hierdoor kan water minder vlot zinken en verloopt die vorming van denser diepwater moeilijker. Of en hoeveel de thermohaliene circulatie zal vertragen is een moeilijk vraagstuk waar het IPCC momenteel slechts een voorzichtig antwoord kan op geven. Het volledig stilvallen van de thermohaliene circulatie wordt als 'zeer onwaarschijnlijk' beschouwd door de huidige klimaatmodellen. Er zijn wel aanwijzingen dat de thermohaliene circulatie vertraagd is sinds de tweede helft van de twintigste eeuw, dus onder

invloed van een warmer wordende atmosfeer en een verhoogde instroom van zoet smeltwater van ijskappen en gletsjers.

Het volledig stilvallen van die thermohaliene circulatie zou natuurlijk de meest ingrijpende gevolgen hebben voor ons klimaat en het leven op aarde. Ook een substantiële afzwakking, die wél binnen de voorspellingen valt, kan verstrekkende gevolgen hebben die wereldwijd voelbaar zullen zijn. De meeste modellen voorspellen een afkoeling van enkele graden over Noordwest-Europa door een verzwakt transport van warm water richting de Noord-Atlantische regio. Dit zou een daling in de orkaanfrequentie in het westelijk deel van de Noord-Atlantische Oceaan als gevolg hebben en eveneens een verhoging van het aantal (winter)stormen over Europa. Over Noord-Europa zou de regenval verhogen.

De vertraging van de thermohaliene circulatie zou ervoor zorgen dat het opwarmende water ook langer in zuidelijke gebieden blijft. Die opwarming van de Zuid-Atlantische regio zou daar tot droogte leiden en een negatieve impact hebben op de voedselproductie. De verzwakte Golfstroom zou niet alleen voelbaar zijn in het Atlantisch gebied, maar wereldwijd in beide halfronden. De moesson over Azië zou bv. afzakken met droogtes en een verminderde voedselproductie tot gevolg.

Let wel, de voorspelde afkoeling boven Noordwest-Europa mogen we niet als een ‘oplossing’ van de klimaatopwarming voor onze regio beschouwen. De gevolgen van een vertraging van de thermohaliene circulatie zijn verstrekkend en de afkoeling slechts tijdelijk.