



### Oceaanverzuring

Iedereen kent inmiddels het begrip klimaatverandering. De aarde warmt op door onze CO<sub>2</sub> uitstoot, al is de vraag nog steeds hoeveel warmer het wordt op aarde. Inmiddels is er nog een ander, misschien even ernstig effect van dat broeikasgas ontdekt: wetenschappers zijn bezorgd over het feit dat de oceanen zuurder lijken te worden. In deze opdracht bestudeer je dit verschijnsel en onderzoek je wat de gevolgen kunnen zijn.

#### Oriëntatie

Het is een beetje vreemd dat we onze planeet 'Aarde' noemen, merkte de Britse schrijver Arthur C. Clarke ooit op, zo'n 70% procent ervan is namelijk bedekt met water. De oceanen spelen een centrale rol in allerlei belangrijke processen op aarde. Zo bepalen ze voor een groot deel het klimaat, zowel mondiaal als regionaal.

Een tijdje geleden ontdekten wetenschappers dat de chemie van de oceanen aan het veranderen is. Het water, dat normaal gesproken licht basisch is, begint langzaam in pH te dalen.

Dit verschijnsel heet oceaanverzuring. Bekijk nu het volgende nieuws-item: [http://youtu.be/W9cSorl\\_NyI](http://youtu.be/W9cSorl_NyI)



Afbeelding 1 Oceaanverzuring

**OPDRACHT 1** In het filmpje wordt gesproken over 'fytoplankton'. Om welke biologische redenen zijn deze organismen belangrijk in de oceaan?

---

---

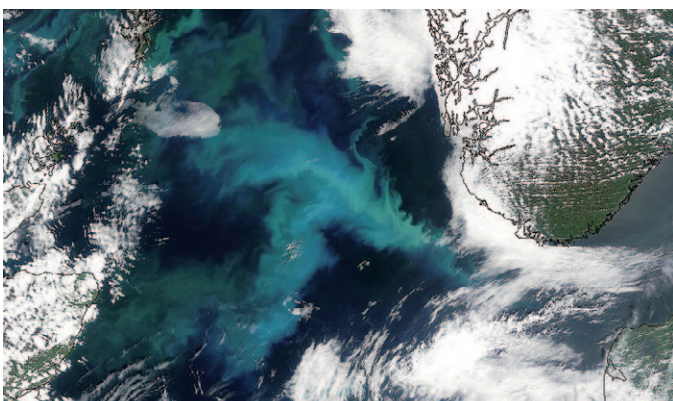
---

**OPDRACHT 2** Over welke correlatie wordt gesproken als oorzaak van de verzuring?

---

---

---



De oceaan is een groot reservoir van koolstof. Zoals je weet bevat de atmosfeer koolstof, vooral in de vorm van CO<sub>2</sub>. In de oceaan is echter 60 keer meer koolstof opgeslagen. Dat is onderdeel van verschillende grote kringlopen, zo is er is continu uitwisseling van CO<sub>2</sub> tussen de atmosfeer en de oceaan. De CO<sub>2</sub> die de mens uitstoot wordt ook gedeeltelijk door de oceaan opgenomen: ongeveer een derde van alle CO<sub>2</sub> die sinds de industriële revolutie is vrijgekomen uit fossiele brandstoffen, is in de oceaan opgelost. Momenteel absorbeert de oceaan maar liefst 2 Gigaton koolstof per jaar.

Afbeelding 2 Algenbloei (fytoplankton) in de Noordzee (Foto NASA)

## Reactievergelijkingen

**OPDRACHT 3** De oplossing van  $\text{CO}_2$  in water verloopt volgens drie stappen, waarbij achtereenvolgens de volgende producten ontstaan: koolzuur, waterstofcarbonaat en carbonaat. Schrijf de drie evenwichtsreacties op.

Stap 1

---

Stap 2

---

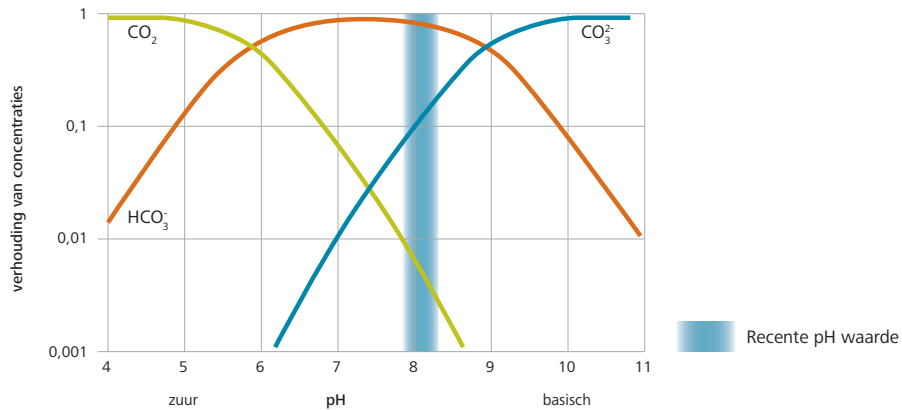
Stap 3

---

De oceaan helpt ons dus een handje om klimaatverandering te beperken. Maar nu blijkt dus dat dit proces niet zonder gevolgen is. Bekijk de onderstaande grafiek.

Afbeelding 3 Verhouding van de concentraties van de drie verschillende vormen van  $\text{CO}_2$  opgelost in zeewater, uitgezet tegen pH. Normaal zeewater valt binnen het blauwe gebied. In deze figuur zijn de concentraties van  $\text{CO}_2$  (aq) en  $\text{H}_2\text{CO}_3$  samengevoegd in de groene grafiek.

Bron: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Carbonate\\_system\\_of\\_seawater.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Carbonate_system_of_seawater.svg).



## Chemie van de oceaan

**OPDRACHT 4** Leidt uit figuur 1 af in welke vorm opgelost  $\text{CO}_2$  verreweg het meest aanwezig is in de oceaan.

---

---

---

**OPDRACHT 5** Leg uit waarom de oceaan dankzij deze samenstelling een bufferwerking heeft.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**OPDRACHT 6** Wat gebeurt er met de concentraties van koolzuur, waterstofcarbonaat en carbonaat als er grote hoeveelheden  $\text{CO}_2$  in de oceaan oplossen? Verklaar de toe- en afnames.

---

---

---

---

---

---

---

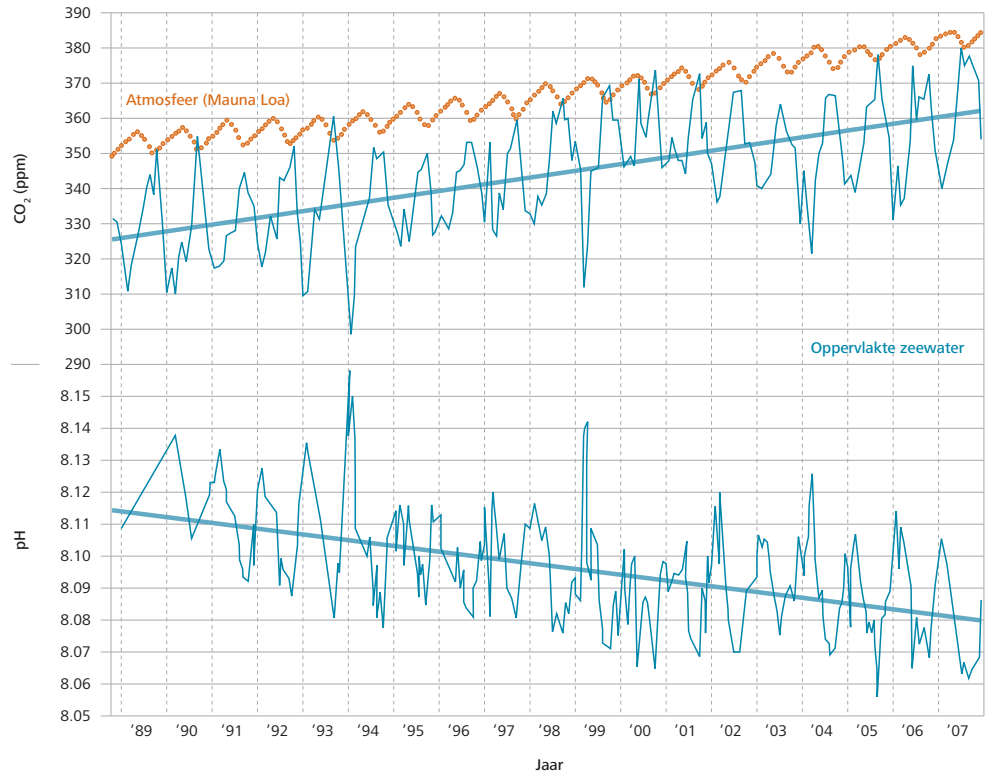
---

---

---

Uit metingen blijkt dat de oceaan nog maar heel licht in pH is gedaald. Niet iedereen is daarom overtuigd dat oceanverzuring daadwerkelijk een probleem is. Bekijk de volgende figuur.

Afbeelding 4 CO<sub>2</sub> concentratie in de atmosfeer (rode grafiek) en in het oppervlaktewater van de oceaan (bovenste blauwe grafiek). De onderste blauwe grafiek geeft de pH van het oppervlaktewater weer, gemeten op dezelfde locatie (Station ALOHA, vlakbij Hawai).  
Bron: Hawaii Ocean Time Series (<http://hahana.soest.hawaii.edu/hot/>).



## Metingen

**OPDRACHT 7** Leg uit wat deze grafiek laat zien.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**OPDRACHT 8** Je ziet dat de grafieken schommelingen vertonen binnen een enkel jaar. Verklaar de jaarlijkse op- en neergang van CO<sub>2</sub> in de atmosfeer (rode grafiek). Kun je nu ook de schommelingen van CO<sub>2</sub> in het zeewater verklaren?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**+ OPDRACHT 9** Waarom worden de CO<sub>2</sub> concentratie en de pH gemeten in het oppervlaktewater, en niet bijvoorbeeld midden in het watervolume?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zure oceaan?

**OPDRACHT 10** Hoe lang zou het duren voordat de oceaan zuur wordt (pH <7) als deze trend zich doorzet?

---

---

---

---

In werkelijkheid zal het nooit zo ver kunnen komen, ook al verstoppen we alle beschikbare fossiele brandstoffen. In het ergste geval zal de pH van het oppervlaktewater met 0,77 dalen, zo hebben wetenschappers uitgerekend. Dat komt omdat de extra  $H_3O^+$  ionen zich langzaam maar zeker ook in de diepere delen van de oceaan verspreiden en zo treedt verdunning op. Bovendien is onze voorraad fossiele brandstoffen eindig.

## Nabije toekomst

**OPDRACHT 11** Over enkele decennia zal de  $CO_2$  concentratie in de atmosfeer verdubbeld zijn ten opzichte van de 'natuurlijke' waarde van voor de industriële revolutie. De concentratie  $H_3O^+$  in de oceaan stijgt daardoor volgens berekeningen met 70%. Bereken met welke waarde de pH daardoor daalt.

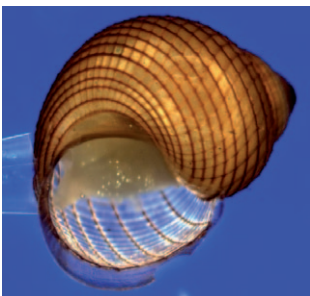
---

---

---

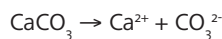
---

---



Afbeelding 5 Microscopische zeeslak met dunne schaal (Foto Maureen Conte, Bermuda Institute of Ocean Sciences)

Die daling van de pH lijkt dus al met al mee te vallen. Toch kunnen deze kleine verschuivingen in de chemische samenstelling van de oceaan grote gevolgen hebben. Niet zozeer de zuurgraad, maar de hoeveelheid carbonaationen speelt daarbij een rol. Bij dalende pH neemt die hoeveelheid af (zie figuur 1). Talloze organismen in de oceaan zijn afhankelijk van carbonaat voor de vorming van hun kalkskelet. Om deze (vaak microscopisch kleine) structuren te maken, moet het water verzadigd zijn met calcium- en carbonaationen. Calcificatie, zoals het proces van kalkvorming heet, wordt moeilijker bij een lagere pH en bestaande structuren kunnen dan ook oplossen. Nu al vinden we in bepaalde delen van de oceaan kleine schelpdierpjes met veel fragielere kalkschelpen dan normaal.



Bekijk de tabel in figuur 3 over de effecten van oceaanverzuring op verschillende soorten organismen.

## Organismen en oceaanverzuring

**OPDRACHT 12** Wat zijn je algemene conclusies over de gevolgen van oceaanverzuring op organismen, kijkend naar figuur 3?

---

---

---

---

**+ OPDRACHT 13** Fotosynthese verloopt bij veel van de bestudeerde organismen kennelijk beter door oceaanverzuring. Geef hier een verklaring voor.

---

---

---

---

**OPDRACHT 14** Waarschijnlijk heb je nog nooit van 'coccolithophores' en 'planktonic foraminifera' gehoord. Zoek op wat dit voor organismen zijn. Terugdenkend aan het filmpje, waarom zou het verdwijnen van deze organismen rampzalige gevolgen kunnen hebben?

---












---

---

---

Afbeelding 6 Respons van verschillende typen organismen op oceaanzuur, bepaald in experimenten. De drie verschillende bestudeerde processen zijn: kalkvorming, fotosynthese en voortplanting. Reacties zijn gecategoriseerd als (a) lineair negatief (gaat slechter bij toenemende verzuring), (b) lineair positief (gaat beter bij toenemende verzuring), (c) onveranderlijk of (d) parabolisch (optimum bij bepaalde zuurgraad). Met elke soort zijn meerdere experimenten uitgevoerd, soms met verschillende resultaten. Bijvoorbeeld bij 'Coralline Red Algae': één soort reageert zowel positief als negatief op verzuring.

Bron: Scott C. Doney, William M. Balch, Victoria J. Fabry, and Richard A. Feely. Ocean Acidification: A Critical Emerging Problem For The Ocean Sciences. Special Issue Feature from: Oceanography, Vol.22, No.4.

PHYSICAL RESPONSE	MAJOR GROUP	SPECIES STUDIED	RESPONSE INCREASING CO <sub>2</sub>			
			a	b	c	d
<b>CALCIFICATION</b>						
	Coccolithophores	5	2	1	1	1
	Planktonic Foraminifera	2	2	-	-	-
	Molluscs	6	5	-	1	-
	Echinoderms	3	2	1	-	-
	Tropical Corals	11	11	-	-	-
	Coralline Red Algae	2	1	1	-	-
<b>PHOTOSYNTHESIS</b>						
	Coccolithophores	4	-	2	2	-
	Prokaryotes	2	-	1	1	-
	Seagrasses	5	-	5	-	-
<b>REPRODUCTION</b>						
	Molluscs	4	4	-	-	-
	Echinoderms	1	1	-	-	-

## Vervolgonderzoek

De wetenschap kan nog niet goed verklaren waarom organismen op een verschillende manier reageren op oceaanzuur. We kunnen daarom ook niet goed voorspellen hoe het leven in de oceaan er over 50 of 100 jaar uitziet. Zijn er dan nog koraalriffen? Is er nog grootschalige visserij mogelijk? In feite zijn we bezig met een groot experiment, waar van de uitkomst onbekend is.

Om beter te voorspellen wat er nu gebeurt, zouden we in het verleden moeten kijken. De concentratie CO<sub>2</sub> in de atmosfeer heeft altijd gevarieerd, net als dus de pH van de oceaan. Misschien kunnen we achterhalen, bijvoorbeeld aan de hand van fossielen, hoe de oceaan er vroeger uitzag in tijden van hoge CO<sub>2</sub>. We weten echter ook dat de CO<sub>2</sub> concentratie al honderdduizenden, waarschijnlijk zelfs miljoenen jaren niet meer zo hoog is geweest als nu. Bovendien pompen we met recordsnelheid CO<sub>2</sub> in de atmosfeer, zo verzuurt de oceaan veel sneller dan onder natuurlijke omstandigheden. In het verleden hebben organismen tijd gehad om zich aan te passen aan de veranderende omstandigheden, nu ligt dat misschien anders.

Aan de Universiteit Utrecht wordt door paleoklimatologen onderzoek gedaan naar perioden in een ver verleden, die misschien vergelijkbaar zijn met de huidige situatie. Een periode op de grens van de tijdperken Paleoceen en Eoceen, genaamd PETM, is daar wellicht geschikt voor. Dit is zo'n 55 miljoen jaar geleden, tien miljoen jaar na het uitsterven van de dinosauriërs. Omdat dode organismen en hun overblijfselen (vooral die van de zeer talrijke eencelligen!) naar de bodem zakken, is de zeebodem een groot archief van wat zich vroeger in de oceaan heeft afgespeeld. Wetenschappers halen boorkernen uit de oceaانبodem om dit archief te onderzoeken.

