

# Klimaat en de oceaan: De koolstofcyclus

## Leerkrachtenversie

*Klimaatopwarming is wellicht het grootste probleem waar onze, en toekomstige generaties voor staan. Aan de basis van deze klimaatopwarming ligt  $\text{CO}_2$ . In een door de mens onaangeroerd klimaat zorgt dit broeikasgas ervoor dat de temperatuur op aarde leefbaar is. Maar sinds de industriële revolutie heeft de mens steeds meer  $\text{CO}_2$  in de atmosfeer gebracht zodat dit verwarmend effect versterkt wordt en uit de hand dreigt te lopen.*

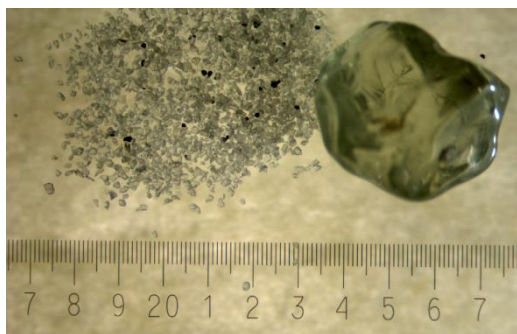
*Om de klimaatopwarming een halt toe te roepen is het belangrijk dat we gezamenlijk minder  $\text{CO}_2$  uit stoten. Tevens dient er ingezet te worden op het actief afvangen van  $\text{CO}_2$  uit de lucht. Een methode die  $\text{CO}_2$  kan afvangen is versnelde kustverwerking (“coastal enhanced silicate weathering”). Het idee is gebaseerd op het natuurlijk proces waarbij silicaatgesteenten (bijvoorbeeld kwarts of olivijn, beide silicaatmineralen) verwerken en bij dit proces  $\text{CO}_2$  vastzetten.*

OPDRACHT: Chemisch rekenen – bereken hoeveel olivijn nodig is om voldoende  $\text{CO}_2$  af te vangen in de strijd tegen de klimaatopwarming.

**Tijdsduur:** één lesuur

**Niveau:** 3<sup>de</sup> graad secundair

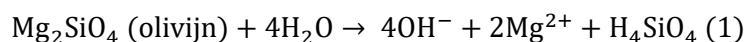
Luna Geerts en dr. Laurine Burdorf ([UAntwerpen](#)) ontwikkelden, in samenwerking met het VLIZ en de UGent, een opdracht om te onderzoeken of de verwerking van olivijn (Figuur 1) kan versneld worden.



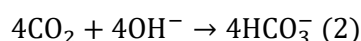
Figuur 1. (Gemalen) olivijn. Laurine Burdorf UAntwerpen.

## Achtergrondinformatie

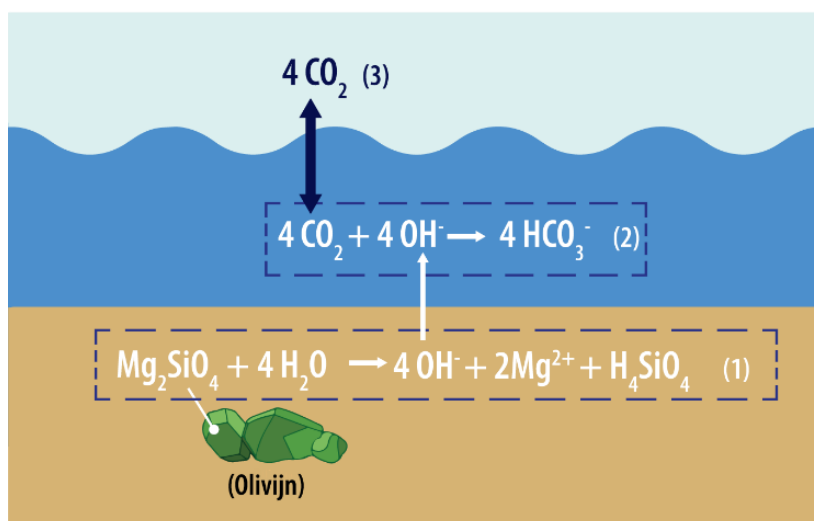
Verwerking is het natuurlijk proces waarbij gesteente verandert onder invloed van het weer, het klimaat en biologische activiteit. Chemische verwerking van gesteente (bv. silicaat) treedt op wanneer het oplost in contact met water (zie figuur 2).



De gevormde hydroxide-ionen ( $\text{OH}^-$ ) onttrekken hierbij  $\text{CO}_2$  aan de atmosfeer en vormen zo (bi)carbonaten in zeewater.



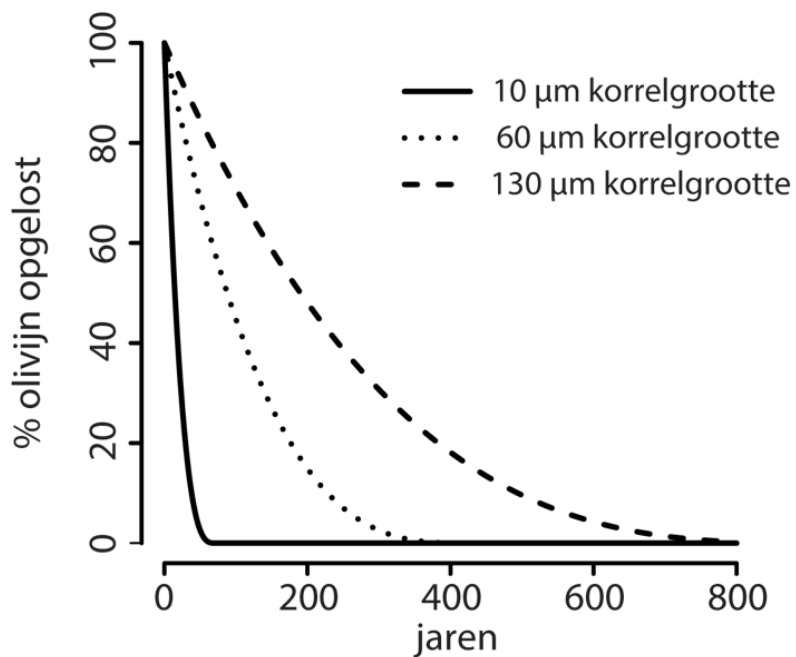
De  $\text{CO}_2$  die opgelost was in het water is in balans met de  $\text{CO}_2$  in de atmosfeer. Omdat er minder  $\text{CO}_2$  in het water is, wordt dit tekort bijgevuld door de  $\text{CO}_2$  in de atmosfeer. Eindresultaat: minder  $\text{CO}_2$  in de atmosfeer.



Figuur 2. Bij het (chemisch) verwerken van olivijn kan  $\text{CO}_2$  'vastgezet' worden – © Coastal enhanced silicate Weathering

Dit proces van  $\text{CO}_2$ -captatie speelt zich normaal af over miljoenen tot biljoenen jaren. Tijd die we, gezien de hoogdringendheid van ons klimaatbeleid, niet hebben. Deze manier van *koolstofopslag* proberen versnellen, is onderdeel van het onderzoek. Een snel verwerend silicaatmineraal (zoals olivijn) wordt fijngemalen tot de grootte van fijn zand. Door het vermalen vergroot het contactoppervlak en versnelt de verweringsreactie aanzienlijk (zie figuur 3). Dit 'zand' wordt hierna verspreid in ondiepe kustzones. Verwerking op zee of in kustgebieden heeft groot potentieel omdat golfslag en getijdenwerking het proces in de hand werken. Het maakt dat zeewater, dat al veel  $\text{CO}_2$  absorbeert, er nog meer kan stockeren.

### Effect van korrelgrootte op verwerkingssnelheid



Figuur 3. Effect van korrelgrootte op verwerkingssnelheid © Coastal enhanced silicate Weathering

**Opdracht**

Om de klimaatdoelstellingen te halen moeten we niet alleen minder CO<sub>2</sub> uitstoten maar ook CO<sub>2</sub> afvangen uit de atmosfeer. Modellen tonen aan dat we 730 Gt (1 Gigaton = 1 Petagram = 10<sup>15</sup> gram) CO<sub>2</sub> moeten afvangen tegen 2100 als we de opwarming willen beperken tot een extra 1,5°C t.o.v. het pre-industrieel niveau.

Stel dat de Verenigde Naties een ambitieus plan uitrollen om met behulp van versnelde silicaatverwerking 730 Gt CO<sub>2</sub> af te vangen tegen 2100. Jij wordt als adviseur op dit project gezet.

1. Welke korrelgrootte zou je adviseren te gebruiken (10 μm, 60 μm, of 130 μm) en waarom?

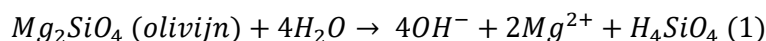
*10 μm (er is een negatief verband tussen korrelgrootte en CO<sub>2</sub>-afvang. Door het vermalen vergroot het contactoppervlak, wat de verweringsreactie aanzienlijk versnelt)*

2. Hoeveel mol en gram olivijn moet er theoretisch worden uitgestrooid om 730 Gt CO<sub>2</sub> af te vangen? (tip: bekijk reactie (1))

$$\text{molaire massa CO}_2 = 44,01 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$\text{molaire massa olivijn} = 140,69 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$\frac{730 * 10^{15} \text{ g CO}_2}{44,01 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 16,59 * 10^{15} \text{ mol CO}_2$$



*De reactie toont dat er in ideale condities 4 mol CO<sub>2</sub> afgevangen wordt per mol olivijn.*

$$\frac{16,59 * 10^{15} \text{ mol CO}_2}{4 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol olivijn}}} = 4,15 * 10^{15} \text{ mol olivijn}$$

*Of in gram:*

$$4,15 * 10^{15} \text{ mol olivijn} * 140,69 \frac{\text{g olivijn}}{\text{mol olivijn}} = 5,83 * 10^{17} \text{ gram (= 583 Gt)}$$

3. Echter, als we de CO<sub>2</sub>-uitstoot ten gevolge van het mijnen, malen en spreiden van olivijn meenemen in de berekening, vinden we dat er 3,04 mol CO<sub>2</sub> wordt opgenomen per gram olivijn (in plaats van de 4 mol waar we theoretisch van uitgingen). Hoeveel olivijn is er nodig als we hiervoor corrigeren?

$$\frac{730 * 10^{15} \text{ gCO}_2}{0,95 \frac{\text{gram CO}_2}{\text{gram olivijn}}} = 768,42 \text{ Gt Olivijn}$$

OF

$$\frac{16,59 * 10^{15} \text{ mol } CO_2}{3,04 \frac{\text{mol } CO_2}{\text{mol olivijn}}} = 5,46 * 10^{15} \text{ mol olivijn}$$

4. De oppervlakte die beschikbaar wordt gesteld voor dit project is de continentale plaat van de Noord-Atlantische oceaan (7 313 790 km<sup>2</sup>). Hoe dik moet de laag olivijn zijn die we uitstrooien? Het molair volume van olivijn is 43.02 cm<sup>3</sup>/mol.

*Extra info:* Het olivijn wordt niet uitgestrooid als één grote blok, maar als fijn zand. Het molaire volume toont de densiteit van een blok olivijn maar niet van een berg olivijn korrels. We corrigeren hiervoor met *tortuositeit* en *porositeit*. Dit is de fractie van de berg olivijn die respectievelijk uit olivijn en lucht bestaat. Voor 10 µm korrels is de tortuositeit 0,4 en de porositeit 0,6. Of in andere woorden: 40% van een berg olivijnzand (van 10 µm) bestaat uit olivijn, het overige wordt opgevuld door lucht.

**Stap 1: bereken het volume olivijn voor een solide blok olivijn, wetende dat het molair volume van olivijn 43,02 cm<sup>3</sup>/mol is en de porositeit van een hoop korrels met een diameter van 10 µm 0,6.**

$$\text{mol}_{\text{olivijn}} = \frac{768,42 * 10^{15} \text{ gram olivijn}}{140,69 \frac{\text{gram}}{\text{mol}}} = 5,46 * 10^{15} \text{ mol}$$

Bereken het volume olivijn, gebruikmakend van het molair volume dat gegeven is:

$$\text{volume}_{\text{olivijn (blok)}} = 5,46 * 10^{15} \text{ mol} * 43,02 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} = \mathbf{2,35 * 10^{17} \text{ cm}^3}$$

**Stap 2: corrigeer voor porositeit/tortuositeit**

$$\frac{2,35 * 10^{17} \text{ cm}^3}{0,4} = 5,87 * 10^{17} \text{ cm}^3 = \text{volume}_{\text{olivijn(zand)}}$$

(Alternatief kan je uit het molair volume de bulk densiteit berekenen voor olivijnzand met korrelgrootte 10 µm en dan rechtstreeks gebruiken om uit de massa het volume te bepalen)

**Stap 3: bereken de dikte van de laag olivijn die op de Atlantische continentale plaat moet verspreid worden om 730 Gt CO<sub>2</sub> af te vangen.**

$$7\,313\,790 \text{ km}^2 = 7\,313\,790 * 10^{10} \text{ cm}^2$$

Deel het volume olivijn door de oppervlakte van de zeebodem:

$$\frac{5,87 * 10^{17} \text{ cm}^3}{7313790 * 10^{10} \text{ cm}^2} = \mathbf{8,03 \text{ cm}}$$