



FRED TRAPPENBURG/UU

• Ingetekende foto van een langwerpige bak met vergruisd olivijn, uitgevoerd als een pier voor de laast van Voorne. De bak is in de lengte verdeeld in twee compartimenten met twee korrelgroottes. Hij moet aan de landzijde met zee water vollopen en aan de zeezijde leeg. Metingen moeten de verwerkingsnelheid vastleggen.

**Olivijn, het algemeenste mineraal** in de aardmantel, kan  $\text{CO}_2$  uit de lucht wegvangen. Delf het op, vergruis en verspreid het en het klimaatprobleem is opgelost. Dat zegt de geochemicus Olaf Schuiling. **Rob Biersma**

OVERAL OP DE WERELD zoeken technici naar goedkope processen om CO<sub>2</sub> aan zand, klei of een goedkoop mineraal te binden. Een fabrikant die zonder CO<sub>2</sub>-uitstoot kan produceren, heeft een onschatbaar voordeel in een toekomstige wereld van emissieplafonds. Maar een belangrijke doorbraak is tot dusverre uitgebleven.

“Toch is er een voor de hand liggende oplossing”, zegt prof.dr. R.D. Schuiling, emeritus hoogleraar geochemie aan de Universiteit Utrecht, “maar technici zien die niet. De oplossing van het klimaatprobleem vind je niet in een reactor, maar in de natuur. Daar wordt op grote schaal CO<sub>2</sub> vastgelegd door basische gesteenten, zoals bijvoorbeeld olivijn, een mineraal dat vrijwel overal voorkomt. Dat gaat alleen heel langzaam. Maar je kunt dat proces door vergruizing versnellen. Het enige probleem is: je zult dat op immense schaal moeten doen – op dezelfde schaal waarmee nu olie en steenkool worden verbrand.”

Die verbranding van steenkool en aardolie veroorzaakt een gestage toename van het CO<sub>2</sub>-gehalte in de atmosfeer, van 260 ppm (parts pro million) rond het jaar 1750 naar 380 ppm tegenwoordig. Die toename is de oorzaak van het (versnelde) broeikas-effect met een klimaatsverandering als gevolg.

“Weinig mensen staan er bij stil”, zegt Schuiling, “dat er van nature al grote hoeveelheden koolstof permanent ‘weglekken’ uit de aarde. Er zijn natuurlijke steenkoolbranden die al eeuwen doorgaan. Olie komt in bronnen aan de oppervlakte, waar het ver-

dampt en wordt geoxideerd. Het meeste aardgas is al lang geleden ontsnapt naar de atmosfeer. Meer dan 99 procent van alle gevormde olie en gas is op die manier weer terug in de atmosfeer terechtgekomen. Er is dus sprake van een cyclus. CO<sub>2</sub> wordt door levende organismen uit de atmosfeer weggenomen en raakt gefossiliseerd. En koolstofvoorraden komen aan de oppervlakte en worden door oxidatie weer omgezet in CO<sub>2</sub> in de atmosfeer.”

**KOOLSTOF** Daarbij was sinds de laatste ijstijd een evenwicht ontstaan rond de 260 ppm CO<sub>2</sub> in de atmosfeer. Dat evenwicht werd af en toe verstoord door vulkanische activiteit, waarbij grote hoeveelheden CO<sub>2</sub> vrijkomen. En tegenwoordig dus door de mens.

“Maar”, zegt Schuiling, “er is nog een tweede koolstofcyclus. Veel koolstof in de atmosfeer – en daarbij moet je ook aan de oceaan denken waarin zich zo’n vijftig keer zoveel CO<sub>2</sub> bevindt als in de lucht – wordt rechtstreeks vastgelegd door gesteenten. Dat gebeurt hoofdzakelijk door basische gesteenten uit de aardmantel die aan de oppervlakte komen.” Zo bindt olivijn, dat hoofdzakelijk uit Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> bestaat, CO<sub>2</sub> uit de lucht onder vorming van SiO<sub>2</sub> (zand) en MgCO<sub>3</sub> (magnesiumcarbonaat).

Dit proces, chemische verwering genaamd, gaat heel langzaam. Maar de omvang ervan is groot: schattingen gaan uit van 1,5 gigaton per jaar, meer dan het dubbele van de hoeveelheid koolstof die door levende organismen wordt gefossiliseerd. Deze vastgeleg-

de, ‘versteende’ koolstof verdwijnt in de vorm van carbonaten in de diepte – het hoopt zich op in het sediment en het verdwijnt eventueel door de werking van de platen tektoniek in diepte van de aarde. Omgekeerd komt er ook weer CO<sub>2</sub> uit de aardkorst vrij door reacties van carbonaathoudende gesteenten als die aan de oppervlakte komen, en door vulkanisme.

Dit wegvangen van CO<sub>2</sub> door gesteenten en het weer vrijkomen ervan vormt een cyclus, een soortgelijke cyclus als bij planten die CO<sub>2</sub> uit de lucht vastleggen en weer vrijgeven bij verrotting en verbranding.

Schuiling: “Het direct wegnemen van CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer door gesteenten gaat traag. Maar er zijn geologische tijdperken geweest, zoals tijdens de vorming van de Himalaya in het Tertiair, dat er zeer veel reactief gesteente

beschikbaar was. Toen ging dit proces veel sneller. Er zijn aanwijzingen dat er in die periode zoveel CO<sub>2</sub> door gesteente uit de atmosfeer werd weggenomen, dat dit – samen met andere factoren – een sterke afkoeling van de aarde tot gevolg had. Er is dus van nature niet altijd sprake van een evenwicht in de cyclus.”

**VERTRAGEN** Sinds de industriële revolutie heeft de mens eenzijdig één deel van de cyclus kunstmatig versneld door op grote schaal vastgelegde, fossiele koolstof door verbranding in de atmosfeer te brengen. Met energiebesparing en aanplant van bossen probeert men nu de klimaatverandering die daarvan het gevolg is, te vertragen.

“Maar wat is er nu op tegen”, zegt Schuiling, “om ook het andere deel

van de geologische cyclus te versnellen? Je kunt heel eenvoudig CO<sub>2</sub>-bindende mineralen in dagbouw winnen en daarna vergruizen. Het meest geschikte mineraal is olivijn. Het oppervlak van het vergruisde mineraal neemt hierdoor duizenden tot miljoenen malen toe en daarmee de snelheid waarmee het CO<sub>2</sub> bindt. Doen we dit op dezelfde schaal waarmee de mensheid op dit moment koolstof in de atmosfeer brengt, dan zal het CO<sub>2</sub>-gehalte in de atmosfeer niet verder stijgen. Daarmee kunnen we dus de dreigende klimaatsverandering voorkomen.”

Het is niet nodig om de olivijn volledig tot fijn poeder te vermalen. Zelfs als het olivijn gemalen is tot de grofheid van zand, is de CO<sub>2</sub>-vastlegging compleet na enkele decennia – mits het zand voldoende wordt blootgesteld aan CO<sub>2</sub>. Volgens Schuiling gaat dit het beste door gemalen olivijn te verspreiden in de brandingszone van een zee, waar door de golfwerking vanzelf voldoende menging plaatsheeft. De verpulverde olivijnkorrels worden zo voldoende blootgesteld aan CO<sub>2</sub>.

Olivijn kan heel veel CO<sub>2</sub> binden: om de hoeveelheid CO<sub>2</sub> te binden die vrijkomt bij de verbranding van 1 liter olie, is slechts 2,5 kilo olivijn nodig. Met een soortelijke dichtheid van 3,5 kg/l is dat in volume zelfs minder dan een liter.

Schuiling: “Om een idee te geven wat de potentie van dit proces is heb ik in een artikel in *Climatic Change* (2006, 74, samen met P. Krijgsman) uitgerekend hoeveel olivijn je nodig hebt om alle CO<sub>2</sub> in de atmosfeer te binden. Dat

kan met een laagje olivijnpoeder van 1,2 millimeter dik, uitgespreid over de hele aarde. En er is olivijn genoeg. Olivijn is het hoofdbestanddeel van de aardmantel. Maar het komt ook in grote massieven voor aan de oppervlakte.”

Schuiling kan voorrekenen dat alleen in de brandingzone van de kusten van Turkije (7.200 km kustlijn) en Griekenland (15.000 km) in een jaar op zijn minst zo'n 30 miljoen ton CO<sub>2</sub> kan worden vastgelegd. Die kusten zijn zeer geschikt: er is veel olivijn aanwezig in de onmiddellijke omgeving. 30 miljoen ton is weliswaar niet veel in vergelijking met de jaarlijkse mondiale uitstoot van 8.000 miljoen ton CO<sub>2</sub>, maar op de wereld is veel meer kust. Alleen Indonesië heeft al een kustlijn van 100.000 kilometer. Daarnaast hoeft de verspreiding van olivijn zich niet te beperken tot de brandingzone, maar zijn ondiepe zeeën ook geschikt. Overigens zouden op toeristische plaatsen het verpulverde olivijn ook gebruikt kunnen worden om stranden aan te leggen. Het zullen dan wel lichtgroene stranden zijn, zoals op Hawaï, waar olivijn het zand kleur. Schuiling: “Dat soort stranden is dan groen, in de twee betekenissen van het woord.”

**BIJVAL** Het voorstel om de het klimaatprobleem op te lossen door CO<sub>2</sub> uit te atmosferen weg te nemen met vergruisd olivijn is tot dusverre alleen gepubliceerd in wetenschappelijke kring. Het idee ontmoet voorsnog geen tegenstand. Schuiling vindt al wel bijval van zijn collega P.L. (Poppe) de Boer, hoogleraar sedimentologie,

toch niet vrij van risico's. Het is niet bekend hoe die CO<sub>2</sub> in diepe aardlagen zich gedraagt. Vloeibaar CO<sub>2</sub> kan heel agressief zijn. Het vreet zich misschien wel een weg door gesteenten en komt naar boven. Ik kan me daarbij allerlei ongelukken voorstellen. Als het vrijkomt in de diepzee, krijg je op den duur oververzadiging van het bodemwater. En dan, op een kwaad moment, komt het opgeloste CO<sub>2</sub> plotseling vrij als het gasvormig wordt: er stijgen gasbellen naar het zeeoppervlak, waardoor schepen zinken en in het niets verdwijnen, zoals in de Bermuda-driehoek.”

**KNOOPPUNT** Ook zijn de risico's van grootschalig CO<sub>2</sub>-transport nauwelijks bekend. Voorstanders van het idee om Nederland tot een knooppunt van CO<sub>2</sub>-transport te maken, beseffen veelal niet dat CO<sub>2</sub> in grote hoeveelheden een zeer gevaarlijk gas is. Een CO<sub>2</sub>-wolk is reukloos, onzichtbaar en kruipt langs de grond, waar het mens en dier doet verstikken. Op 26 augustus 1986 werd Kameroen getroffen door een ramp die aanvankelijk onverklaarbaar was. Zo'n 1.700 mensen in een afgelegen berggebied werden dood gevonden zonder dat er een oorzaak leek te zijn. Pas uit geologisch onderzoek bleek dat uit de diepte van het vulkaanmeer Nyos een enorme hoeveelheid CO<sub>2</sub> was vrijgekomen.

Schuiling: “Voorzover ik kan nagaan, kleven aan mijn voorstel nauwelijks risico's. Het winnen van olivijn kan in dagbouw, het liefst nabij een ondiepe zee waarin het als fijn zand wordt verspreid. Daar neemt het CO<sub>2</sub> weg met



*Professor Olaf Schuiling naast een groot blok olivijn op een excursie in Griekenland.*

FOTO BOUDEWIJN 'T HART

eveneens aan de Universiteit Utrecht. De Boer: "Op dit moment zijn er initiatieven om de vrijgekomen CO<sub>2</sub> te compenseran door nieuw bos aan te planten. Dat oogt sympathiek, maar de omvang van die aanplant is op dit moment nog beperkt. Bovendien is het geen echte oplossing: na zo'n dertig jaar komt de vastgelegde CO<sub>2</sub> weer vrij als het bos sterft of wordt gekapt. Daarnaast wordt onderzocht of CO<sub>2</sub> in oude gasvelden geïnjecteerd kan worden. Of CO<sub>2</sub> wordt geïnjecteerd in oude olievelden om de druk te verhogen, waardoor de winning verlengd kan worden. Maar dat zal vrij prijzig zijn."

Afgelopen maand werd bekend dat een experimenteel project van Shell en het Noorse Statoil om in twee Noorse offshore-olievelden CO<sub>2</sub> te injecteren werd gestaakt. Het Enhanced Oil Recovery-project (EOR), dat in maart 2006 met veel trompetgeschal werd gestart, heeft 50 miljoen euro gekost. Technisch werkt het wel. Maar de kosten om CO<sub>2</sub> terug te winnen uit verbrandingsinstallaties zijn te hoog in vergelijking met de toegenomen olieproductie. Aan de Amerikaanse oostkust bestaan EOR-projecten die wel commercieel interessant zijn.

De Boer: "Daarnaast is deze techniek

een snelheid van een jaar of tien, afhankelijk van de korrelgrootte van het vergruisde olivijn."

Wil je het broeikas effect werkelijk tegengaan, dan zal het om immense hoeveelheden gaan. Schuiling: "Maar toch ook niet om onvoorstelbare hoeveelheden. Rijkswaterstaat brengt nu jaarlijks tien miljoen kubieke meter zand naar de kust. Die zandsuppletie is nodig voor onze kustverdediging. Als dat tien miljoen kubieke meter vergruisd olivijn zou zijn, dan zou daarmee zo'n 25 procent van de hele Nederlandse CO<sub>2</sub>-uitstoot worden gecompenseerd. En olivijn is niet duur. Ik heb een telefoontje gepleegd met een groothandelaar in mineralen. Voor 23 dollar per ton kon hij het uit Groenland leveren, vergruisd en per schip in Rotterdam. Het zou dan om een partij van 10.000 ton gaan. Olivijn is nu een weinig gevraagde grondstof – er is wat vraag naar als vervanger van kwartszand voor zandstralen, nu dat niet meer mag in verband met silicose – maar als je olivijn werkelijk grootschalig gaat winnen, kan de prijs aanmerkelijk zakken, dat weet ik zeker."

Poppe de Boer heeft een aanvraag bij STW (Stichting Technische Wetenschappen) gedaan om een experiment te financieren waarmee in een bak



zeewater bij de Maasvlakte de verwerkingssnelheid van vergruisd olivijn wordt bepaald. Schuiling: "Experimenteel is er nog niet veel bekend. Wel weet ik dat de olivijn die uit de vulkanische gesteenten van de Duitse Eiffel in de Rijn terecht komt, Nederland niet haalt omdat hij dan al verweerd is. En er zijn aanwijzingen dat het proces in zout water sneller gaat."

Het meeste onderzoek naar CO<sub>2</sub>-opname door olivijn is technisch van aard: ingenieurs proberen in reactoren de goede condities te vinden om de CO<sub>2</sub> in de rookgassen van een productieproces te binden. Shell doet daaraan bijvoorbeeld onderzoek in Amsterdam. Schuiling: "Maar dan wil men de reactiesnelheid tussen olivijn en CO<sub>2</sub> sterk vergroten. De CO<sub>2</sub> moet nog binnen de hekken van de fa-

## *Krap een liter olivijn bindt alle CO<sub>2</sub> uit een liter olie*

briek gebonden worden. In mijn voorstel mag het proces gerust traag blijven. Als het vergruisde olivijn zich maar in de loop van een jaar of dertig bindt. En waar dat gebeurt op aarde, doet er niet toe."

**KOSTEN** Maar al is Schuilings plan geen high tech, het zal toch heel wat kosten. Schuiling: "Ik heb er wat berekeningen aan gedaan. Het winnen, vergruizen en vervoeren van olivijn zou maximaal een vijfde gaan kosten van de olie waarvan je de CO<sub>2</sub> compenseert. Ter vergelijking: het afvangen van CO<sub>2</sub> in een elektriciteitscentrale alleen al kost 19 procent extra brandstof. Dan moet het nog vervoerd en in diepe aardlagen geïnjecteerd worden."

Het liefst zag Schuiling dat het vergruisde olivijn een dubbel doel dient. Schuiling: "Laat boeren het als aan-

vulling op mest of kunstmest op het land strooien. Het is een uitstekende magnesiumbron. Ook kan het door bosbouwers worden gebruikt om verzuurde gronden te herstellen. En ten slotte – misschien ben ik naïef – kunnen gewone mensen in een tuincentrum olivijnzand kopen om in hun eigen tuin te verspreiden. Kun je zelf wat doen om de klimaatverandering tegen te gaan?"

Volgens Schuiling zou je in principe zelfs energie kunnen winnen tijdens het vastleggen van CO<sub>2</sub>, omdat er bij de reactie van CO<sub>2</sub> en olivijn warmte vrijkomt. Schuiling: "Als het zou lukken om met deze warmte elektriciteit op te wekken, dan is deze elektriciteit *supergreen*, groener dan groen: knal-groen. Maar dit idee is natuurlijk maar een bijzaak. De hoofdzaak is het vastleggen van CO<sub>2</sub> om het broeikas effect tegen te gaan."