

erosiemateriaal uit een brok calciet. Ik kon de prachtige calciet-kristalletjes zo opscheppen.

Aan alles komt een eind, dus ook aan deze geologische verkenning van Hongarije, maar niet voor we op de terugweg de Donauknie bewonderd hadden. Tot mijn grote verrassing vond ik tussen de stenen, hoog op het strand aan de Donau bij Vise-grad, zand met een hoge concentratie van natuurlijk aangerijkte zware mineralen. Het bevatte erg veel magnetiet, verder wat ilmeniet, en ik zag ook de nodige fijne korrels granaat en het vulkanische mineraal hyperstheen. Met een klein taartvormpje op de platte verpakte magneet haalde ik de magnetiet eruit. Er zat zo veel in, dat de bodem van het vormpje geheel was bedekt. Eenmaal thuis maakte ik nog een complete magneetscheiding van de fractie: 122-263 μm en van de fijnste fractie: 63-122 μm . Dan is het monster geschikt om er polarisatiepreparaten van te maken. Ik besepte toen pas goed wat een geluk ik heb gehad om dit zware zand te kunnen verzamelen. Een paar weken later zou immers, door de hoge waterstand van de Donau, alles verdwenen zijn onder een laag slib en troep.

De Donauknie en misschien zelfs eerst het gebied stroomopwaarts, waar de Donau Hongarije binnenkomt, vormt een prima uitgangspunt voor een volgende vakantie. Hongarije is beslist de moeite waard voor de liefhebber van de schatten van moeder aarde. Wie naar Hongarije wil voor de geologie vergeet niet, dat de flora en fauna minstens zo aantrekkelijk zijn. Vogelaars kunnen hun hart ophalen, alleen al aan de ontelbare ooievaars die nestelen op hoge palen in bijna elk dorp. De uitgestrektheid van met name de puszta, met zijn kilometerslange zonnebloemvelden, maakt het noodzakelijk vooraf goed geïnformeerd te zijn aan de hand van o.a. informatie van het Hongaars Verkeersbureau en de ANWB.

Literatuur

Reisgids Hongarije ANWB;
The Kálmás in the Balaton Uplands;
Diverse brochures Hongaars Verkeersbureau;
Nelles Guide Hongarije.

VRAGEN STAAT VRIJ

Discussie over ^{18}O en ^{16}O in zeewater

Van onze GEA-donateur G.J.H. Oude Groote Beverborg te Borculo ontvingen we per e-mail de volgende vraag:

"Naar aanleiding van het artikel: "De dynamische aarde", door Dick van der Wateren in *Gea* december 2001, zou ik graag als opmerking plaatsen dat de Heer van der Wateren zijn in betoog betreffende de verdeling ^{16}O en ^{18}O in het oceanwater stelt dat "Hoe warmer het zeewater is, hoe rijker het zal zijn aan de zware zuurstofisotoop ^{18}O ".

Echter H.J.A. Berendsen schrijft in zijn beroemde reeks *Fysische Geografie van Nederland*, Fysisch-geografisch onderzoek, thema's en methoden, tweede herziene druk 1997 (ISBN 90 232 3103 1) precies het tegenovergestelde. Op pag. 26 stelt Berendsen: "Bij hoge temperaturen kunnen zware isotopen de voor verdamping benodigde snelheden bereiken, bij lage temperaturen lukt dit niet. Bij lage temperaturen ontstaat daarom waterdamp waarin relatief meer lichte isotopen ^{16}O voorkomen. Het water dat achterblijft wordt daardoor relatief rijker aan ^{18}O ".

Overigens stelt van der Wateren in de rest van zijn artikel net als Berendsen dat in koude perioden het landijs rijk zal zijn aan het lichte ^{16}O . Ik vermoed dan ook slechts een "verspreking" van van der Wateren.

Ik hoop op een reactie in *Gea*."

Antwoord op het commentaar van G.J.H. Oude Groote Beverborg

Mijn uitleg van het gebruik van $\delta^{18}\text{O}$ ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$; verhouding van de stabiele zuurstof-isotopen O-18 en O-16) voor de reconstructie van klimaatverandering was misschien wat te versimpeld. Waarden van $\delta^{18}\text{O}$ in de kalkskeletten van foraminiferen zijn afhankelijk van zowel de (1) temperatuur van het zeewater als (2) het volume van de oceanen.

1. **Zeewater-temperatuur.** Wanneer calciumcarbonaat in zee-water langzaam kristalliseert (bijvoorbeeld in de vorm van kalkskeletjes), wordt daarin iets meer van het zware isotoop ^{18}O dan van het lichte ^{16}O ingebouwd. Die fractionering is afhankelijk van

de temperatuur van het zeewater: dit proces is bij hogere temperaturen minder effectief dan bij lagere.

De waarde van $\delta^{18}\text{O}$ in foraminiferen neemt toe bij afnemende zeewater-temperaturen.

2. **Oceaan-volume.** Het relatief lichte H_2^{16}O verdampt makkelijker dan het zwaardere H_2^{18}O . Wanneer zeewater verdampt, wordt het oceanwater dus relatief zwaarder. Wanneer het lichte water, in de vorm van neerslag, weer in de oceaan terugkeert, verandert er niets. Dat is anders in perioden van wereldwijde afkoeling, waarbij een deel van de waterdamp in de vorm van ijskappen op het land achterblijft. De waarde van $\delta^{18}\text{O}$ in foraminiferen neemt dan ook toe bij afnemend volume van de oceanen (en toenemend volume van landijs).

Die twee effecten, zeewater-temperatuur en oceaan-volume, zijn niet eenvoudig van elkaar te scheiden. Vandaar dat $\delta^{18}\text{O}$ -waarden apart bepaald worden voor organismen, die op de diepe oceaanbodem leven (benthos) en voor organismen, die nabij het oppervlak leven (plankton). Omdat aangenomen kan worden dat de temperatuur van het diepe oceanwater weinig verandert, geven $\delta^{18}\text{O}$ -waarden van benthische forams een goede indicatie van het volume van de oceanen in glaciële en interglaciële tijden. De $\delta^{18}\text{O}$ -waarden van planktonische forams zijn meer afhankelijk van de temperatuur van het water, waarin ze geleefd hebben. Waarschijnlijk is ongeveer 30 % van de verandering van de isotopen-samenstelling van het calciumcarbonaat het gevolg van variaties van de temperatuur.

Op deze manier kunnen zowel temperatuur-curven als landijsvolume-curven gemaakt worden, die klimaatverandering documenteren. Er zijn nog wat effecten, die het verhaal ingewikkelder maken, o.a. de invloed van het zoutgehalte van het zeewater, maar in grote trekken is dit het principe van het interpreteren van stabiele zuurstof-isotopen.

Dick van der Wateren
Landforms Research, Amstel AB to 256, 1011 PX Amsterdam,
wateren@landforms.org