



Tijdreizen op het strand

Langs de Baskische kust liggen indrukwekkende rotspartijen die je tientallen miljoenen jaren terug in de tijd voeren. De analyse ervan kan de discussie beslechten over het uitsterven van de dinosaurussen en de meteorietinslag.

Door Annemieke VAN ROEKEL

In een ver verleden lag het Iberische schiereiland nog vrij van het Europese continent: het 'dreef' rond in de Atlantische Oceaan. De kustkliffen van nu vormden tussen grofweg 100 en 50 miljoen jaar geleden de bodem van de oceaan. Doordat Spanje en Frankrijk met elkaar in botsing kwamen, werden de diepzeesedimenten opgedrukt en kwamen ze in hun huidige scheve positie terecht. Op vele plekken langs de tientallen kilometers lange kustlijn staan ze in vrijwel loodrechte positie, zodat een prachtig lijnenspel zichtbaar wordt.

De diepzeesedimenten uit het krijt (145-66 miljoen jaar geleden) en het paleoceen (66 miljoen - 300.000 jaar geleden) werden afgezet in de huidige Golf van Biskaje, aan de voet van een diep bekken dat Spanje en Frankrijk van elkaar scheidde. Alleen in de oostelijke Pyreneeën was het Iberisch schiereiland al met het Europese continent in botsing gekomen. Ten oosten daarvan lag de enorme Tethyszee (waarvan de Middellandse Zee een restant is). De Atlantische Oceaan, in het westen, was nog jong. De erosieproducten uit de Pyreneeën stroomden met de rivieren het zeebekken in, waar ze zich mengden met de bezonken kalkskeletjes zodat zich in de loop van miljoenen jaren een bijna tien kilometer dik sedimentpakket vormde.

'Waar nu de Baskische kustplaats Zumaia ligt, was de zee op z'n diepst', vertelt geoloog Jan Smit van de Vrije Universiteit Amsterdam. Ten oosten en westen ervan liggen de sedimenten haarscherp, ongestoord en licht hellend op elkaar. 'Hier ontbreekt in het gesteentepakket nog geen miljoen jaar, zelfs minder dan tienduizend jaar aan geologische

tijd.' Geen (in geologenjargon) discontinuïteit dus; evenmin zijn er overschuivingen, waarbij een periode zich in de afzettingen herhaalt.

HOGES RESOLUTIE

Tussen Bilbao en San Sebastian is dit een van de spectaculairste stukjes kustlijn in de provincie Gipuzkoa. De rotspartijen - die lokaal bekendstaan als 'flysch' - zijn een paradijs voor geologen. Alle grenzen op de geologische tijdschaal verwijzen op de een of andere manier naar een belangrijke gebeurtenis in de aardgeschiedenis. De lagen bij Zumaia zijn niet alleen gaaf, maar omvatten tevens belangrijke tijdvakken en -grenzen binnen het mesozoïcum en tertiair (tegenwoordig officieel cenozoïcum): van 245 miljoen jaar geleden tot vandaag. Zowel de beroemde grens tussen krijt en tertiair (de KT-grens) als tussen paleoceen en eoceen zijn op het Spaanse strand vertegenwoordigd, terwijl de miljoenen jaren vlak voor en direct na deze belangrijke tijdgrenzen in 'hoge resolutie' in het gesteente zijn vastgelegd.

'Het 200 meter lange strand vertegenwoordigt het hele paleoceen: tien miljoen jaar in de tijd,' vertelt de lokale geoloog Asier Hilarrio, directeur van de Deba-Zumaia Coastal Biotope. 'Het moet hier toen in tektonisch opzicht heel rustig geweest zijn. De aard-schollen bewogen niet schoksgewijs, maar heel gelijkmatig. Dat weten we omdat gelaagde afzettingen, die het resultaat zijn van onderzeese lawines en aardverschuivingen van zand en kalkmodder, hier ontbreken.' Verder naar het oosten en westen zijn deze lawines - 'turbidieten' - wel ruimschoots aanwezig.

De oostelijk gelegen (jongere) lagen uit het eoceen bereiken zelfs bij het schiereilandje in het stadje Getaria - bekend van de Baskische wijnsort txakolina - diktes tot enkele tientallen meters.

EXTREME OPWARMING

Het leverde Zumaia zelfs twee *golden spikes* op (zie 'Golden spikes'), internationaal erkende merktekens voor de basis van een tijdvak. Ze duiden de grens aan tussen danien, thanetien en selandien, tijdvakken binnen het paleoceen.

Op een steenworp afstand van de *spikes* is op het donkergekleurde en van een fikse branding verzekerde zandstrand van Zumaia de grens tussen paleoceen en eoceen zichtbaar. Hordes toeristen lopen er op zonnige dagen langs. Sinds kort kan de onwetende Spaanse toerist zien dat hij op een bijzondere plek het badlaken uitrolt. Bij de entree van het strand is een levensgroot informatiepaneel geplaatst waarop de lokale kustlijn en de corresponderende geologische gebeurtenis zijn weergegeven, met uitleg in het Baskisch en Spaans. De overgang tussen paleoceen en eoceen, die 55,8 miljoen jaar geleden plaatsvond en in geologenjargon wel wordt aangeduid als het Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM), markeert een van de extreemste op-

warmingen in de geschiedenis van de aarde. Waarschijnlijk warmde het zeewater toen zo sterk op dat methaanhydraten uit de zeebodem uiteenvielen en, eenmaal als broeikasgas aanwezig in de atmosfeer, een extra impuls aan de opwarming gaven. Smit: 'Grote extincties, behalve in de diepzee, zijn er op de PE-grens niet geweest, maar door de extreme klimaatverandering konden dieren die aanvankelijk alleen in tropische gebieden leefden zich over alle breedtegraden verspreiden.' In geen enkel tijdvak daarna heeft er zich zo'n snelle evolutie van zoogdieren - inclusief primaten - voorgedaan als tijdens het eoceen.

STREEPJESCODE

Vanaf de PE-grens lopen we in westelijke richting en gaan we drie miljoen jaar terug in de tijd naar de golden spike die de basis van het thanetien markeert (58,7 miljoen jaar geleden). Hilario: 'Op de grens van selandien met thanetien vindt er een plotse omkering van de magnetische aardpool plaats. De periode waarin de magnetische pool stabiel is, wisselt sterk, met als resultaat een soort 'streepjescode' van ompolingen in de aardgeschiedenis. De recentste omkering vond 700.000 jaar geleden plaats.' De magnetische streepjescode dient als referentie bij ouderdomsbepalingen en heeft als

voordeel dat ze wereldwijd geldig is. De methode komt goed van pas als het gesteente geen radioactieve isotopen bevat en datering met isotopen dus niet mogelijk is.

Overal in de paleocene sedimenten herinneren ronde boorgaten aan het nemen van monsters in de afgelopen decennia. De ijzerhoudende mineralen in het gesteente bevatten het bewijs van de ompolingen: de 'kompasnaaldjes' in de ijzerdeeltjes wijzen afwisselend in noordelijke of zuidelijke richting. De boorgaten in de dikke kalkstenen balken lopen door tot ver na de volgende *spike*, 30 meter verderop, die de grens tussen het danien en selandien markeert op 61,1 miljoen jaar geleden. De corresponderende geologische gebeurtenis was een wereldwijde, plotselinge daling van het zeeniveau.

ASTRONOMISCH FENOMEEN

Wat verderop is nog een spectaculair geologisch fenomeen te zien, onderaan de kliffen met het kerkje van San Telmo - gewijd aan de beschermheilige van de vissers en liggend aan de steeds populairder wordende kustroute naar Santiago de Compostela. Hier zijn, zelfs voor een leek, astronomisch veroorzaakte patronen in het gesteente duidelijk zichtbaar: na vijf banden van kalksteen en mergel volgt telkens een dikkere mergelband,

Fanerozoïcum																																																				
Mesozoïcum	Cenozoïcum																																																			
Krijt	Paleogeen	Neogeen	Kwartair																																																	
Onder	Boven	Paleoceen	Holoceen	Tarantiaan	0,0117																																															
			Pliocceen	Ioniaan	0,126																																															
				Calabrian	0,781																																															
				Gelasiaan	1,806																																															
				Piacenziaan	2,588																																															
				Zancleaan	3,600																																															
			Mioceen	Messiniaan	5,332																																															
				Tortoniaan	7,246																																															
				Serravalliaan	11,608																																															
				Langhiaan	13,82																																															
Burdigaliaan	15,97																																																			
Oligoceen	Aquitanaan	20,43																																																		
	Chatthiaan	23,03																																																		
	Rupelliaan	28,4 ± 0,1																																																		
	Priaboniaan	33,9 ± 0,1																																																		
	Bartoniaan	37,2 ± 0,1																																																		
Eoceen	Lutetiaan	40,4 ± 0,2																																																		
	Ypresiaan	48,6 ± 0,2																																																		
	Thanetiaan	55,8 ± 0,2																																																		
	Selandiaan	58,7 ± 0,2																																																		
	Daniaan	- 61,1																																																		
Maastrichtiaan	Paleoceen	Eoceen	Mioceen	Pliocceen	Kwartair	Holoceen	Tarantiaan	Ioniaan	Calabrian	Gelasiaan	Piacenziaan	Zancleaan	Messiniaan	Tortoniaan	Serravalliaan	Langhiaan	Burdigaliaan	Aquitanaan	Chatthiaan	Rupelliaan	Priaboniaan	Bartoniaan	Lutetiaan	Ypresiaan	Thanetiaan	Selandiaan	Daniaan	Maastrichtiaan	Campaniaan	Santoniaan	Coniaciaan	Turoniaan	Cenomanaan	Albiaan	Aptiaan	Barremiaan	Hauteriviaan	Valanginiaan	Berriasiaan	65,5 ± 0,3	70,6 ± 0,6	83,5 ± 0,7	85,8 ± 0,7	- 88,6	93,6 ± 0,8	99,6 ± 0,9	112,0 ± 1,0	125,0 ± 1,0	130,0 ± 1,5	- 133,9	140,2 ± 3,0	145,5 ± 4,0



De beroemde grens tussen de tijdvakken krijt en tertiair – de KT-grens – is in Zumaia goed te zien. Het iridiumrijke kleilaagje is gemarkeerd op de foto.

die een nieuwe astronomische cyclus van 100.000 jaar aankondigt. De dunnere kalk/mergelbanden vertegenwoordigen de 'tolbeweging' van de aarde, met een gemiddelde cyclus van 21.000 jaar (precessie), terwijl de sedimentatiecyclus van 100.000 jaar is terug te voeren op de aardbaan die varieert tussen een elliptische en een bijna cirkelvormige baan (excentriciteit). Smit legt uit: 'De gemiddelde afstand tot de zon is altijd even groot,

of de aardbaan nu een ellips of cirkel is. Wat verschilt, is de kortste en langste afstand tot de zon. Bij een cirkel is de variatie minimaal; bij een sterke ellipsbaan is de variatie maximaal, wat een groter contrast tussen de seizoenen tot gevolg heeft, en dus zijn weerslag heeft op het klimaat. Als de ellips het grootst is, dan is de precessiewerking maximaal. In het gesteente zie je dat terug in het grootste contrast tussen een kalklaag en een kleibank.

Een brede mergelband betekent dat de ellips het kleinst is'.

'Dankzij moderne technieken hebben geologen alle lagen uit het paleoceen nauwkeurig kunnen dateren', vervolgt Smit. 'Dat is nog niet gelukt voor het jongste, en dus bovenste, krijt. Het magnetisch signaal van de mineralen is grotendeels verdwenen doordat de sedimenten kilometers diep in de aardkorst begraven zijn geweest. Hoe dieper je in de

Gouden spikes

Sinds 6 mei 2010 heeft het strand van Zumaia een bijzondere geologische status, die is toegekend door de International Commission for Stratigraphy (ICS), onderdeel van de International Union of Geoscientists (IUGS). Twee dikke spijkers van goudkleurig metaal in de kalkstenen sedimenten markeren de grenzen binnen het paleoceen tussen de etages (van oud naar jong) danien, thanetien en selandien. Een 'golden spike' is de internationale referentie voor aardwetenschappers en markeert de basis van een tijdvak. In Zumaia is zowel de basis van het thanetien als van het selandien vastgelegd.

Maar ook de grens tussen krijt en tertiair is op het iets westelijker gelegen strandje Algorri prachtig ontsloten. De *golden spike* voor de krijt-tertiair-grens werd in 1991 echter toegewezen aan Tunesië, waar hij te vinden is aan de basis van een 50 cm dikke kleilaag in Oued Dejerfane, ten westen van El Kef in het noorden van het land.

'Dat had deels een politieke reden,' weet Jan Smit, die als paleontoloog deel uitmaakte van verschillende ICS-commissies. 'Het moest bij voorkeur een locatie zijn buiten Europa. Ook de veel betere conservatie van de fossielen in de aardlagen

speelde bij die toewijzing een belangrijke rol.' Die goed bewaarde fossielen zijn dinoflagellaten (eencellige diertjes of plantjes), bentische foraminiferen (op de bodem levende kalkdiertjes die voor paleontologen als signaal voor ecologische omstandigheden dienen), ammonieten (een soort weekdieren), pollen en sporen. 'De fossielen in El Kef zijn zo goed bewaard gebleven omdat de aardlagen waarin ze zijn begraven nooit erg diep in de aardkorst hebben gelegen en dus niet chemisch zijn omgezet', aldus Smit.

De locatie bij El Kef wordt door een uitdijende bebouwing en bevolkingsaanwas bedreigd, zodat de kans bestaat dat Tunesië zijn spike voor de KT-grens ooit weer kwijtraakt. Asier Hilario van de Deba-Zumaia Coastal Biotope hoopt dat dan Zumaia weer in beeld komt. 'In de jaren 1980 was Zumaia, mede door de goede toegankelijkheid, al een serieuze kandidaat voor de golden spike voor de KT-grens. Ook voor de overgang van paleoceen naar eoceen, die in 2003 aan Egypte werd toegewezen, gold Zumaia als belangrijke kandidaat. Die grens ligt nu in de woestijn bij Luxor, maar vanwege logistieke en veiligheidsproblemen kunnen geologen er niet ongestoord hun werk doen.'



aarde komt, hoe warmer het wordt. Daardoor is niet alleen het magnetische signaal verdwenen, maar ook de kwaliteit van de fossielen aangetast.'

DINOSAURIËRS

Smit heeft al heel wat KT-locaties bestudeerd. In Europa komen er veel aan het aardoppervlak, alleen al in Baskenland enkele tientallen dankzij plooiingen die vanuit de Pyreneeën in westelijke richting doorlopen. Ook in de noordelijke Europese landen is de KT-grens ontsloten, zoals in Denemarken, Frankrijk en zelfs in (Nederlands) Limburg, waar de bijzondere kleilaag in een grot verscholen ligt. Anders dan bij andere KT-overgangen is in

den, maar ondanks het vele onderzoekswerk heeft de KT-grens in dit deel van Baskenland zijn geheimen nog niet allemaal prijsgegeven. De verdere analyse van de sedimenten in Zumaia, vlak voor de KT-grens, is belangrijk om eindelijk een einde te maken aan het splendeende conflict tussen wetenschappers over de oorzaak van de grote extinctie aan het einde van het krijt. Zumaia biedt de mogelijkheid om met stapjes van 20.000 jaar tot wel zeven miljoen jaar terug te gaan in de tijd, vlak voor de KT-grens. Smit: 'Dat is waanzinnig nauwkeurig'.

De gegevens zijn een 'wapen' in de strijd tussen paleontologen. De ene partij is ervan overtuigd dat het er aan het einde van het krijt al

dat de meteoriet op aarde te pletter sloeg. Aan het einde van het krijt verdwijnen behalve de dinosauriërs ook de ammonieten (een soort weekdieren), belemnieten (een inktvissoort), rudisten (een koraal soort), planktonische foraminiferen en coccolieten (kalkalgen, bekend van de kliffen van Dover). Smit: 'De soortenrijkdom van foraminiferen en coccolieten is tot aan de KT-grens onveranderd hoog; daarna is meer dan de helft van de soorten in één klap verdwenen. Dat pleit voor een plotselinge ecologische crisis'.

GEOPARK

Inmiddels hebben niet alleen internationale wetenschappers, maar ook toeristen de geologische fenomenen van Zumaia ontdekt. De KT-grens op het strand van Algorri is goed vanuit de hoogte te zien, als een dun kleilaagje middenin een prachtige rotsformatie. Als je er met je neus op wil staan, moet je bij extreem laag water om een uitstekende rotspartij heenlopen en kun je zo in het stuk rots wandelen, dat door de golven en grote keien diep is geërodeerd.

En er worden nog meer toeristen verwacht, want dit stukje Baskische kust maakt sinds vorig najaar deel uit van de Europese en internationale netwerkorganisatie van Geoparken EGN/GGN. 'Als Geopark kunnen we meer publiciteit genereren zodat het gebied op lange termijn meer bekendheid krijgt in Europa', licht projectcoördinator Cristina Iturriagaitia toe. 'Dit moet bijdragen aan de lokale ontwikkeling van het gebied.' ■

Hier kan je met stapjes van twintigduizend jaar tot zeven miljoen jaar teruggaan in de tijd

Limburg nog geen iridium aangetoond. Dit metaal, afkomstig uit een meteoriet, dient als belangrijk bewijs voor een inslag.

Landschappelijk gezien is de KT-grens in Zumaia wereldwijd het mooist, vindt Smit, die een van de grondleggers is van de theorie over de meteorietinslag die 65 miljoen jaar geleden een einde zou hebben gemaakt aan het tijdperk van de dinosauriërs. In Zumaia is hij al meer dan dertig jaar met enige regelmaat te vin-

beroerd voorstond met de biodiversiteit op aarde. Ze schrijven de ecologische crisis in die periode grotendeels toe aan grootschalig en langdurig vulkanisme in India. De meteorietinslag zou de laatste mokerslag zijn geweest in een wereld die al was vergiftigd door vulkanische gassen.

Aan de andere kant staat Smit met vele collega's die ervan uitgaan dat er nog geen sprake was van een ecologische crisis tot het moment

Spectaculaire kliffen

Het kersverse Basque Coast Geopark strekt zich uit vanaf Zumaia tot aan het dorpje Mutriku tien kilometer verder naar het westen, en omvat 90 vierkante kilometer. Geotoerisme, educatie en wetenschappelijke onderzoek staan hoog op de agenda. Behalve de indrukwekkende kustlijn omvat het Geopark een karstgebied met grotten en de oorspronkelijke Ekain Cave, waarvan een replica (Ekainberri) enkele honderden meters verderop te bezoeken is. De grot bevat tussen tien- en veertienduizend jaar oude muurschilderingen van onder meer paarden en is sinds 2008 Werelderfgoed.

Zes jaar geleden trok Baskenland nog nauwelijks toeristen met een bovengemiddelde geologische belangstelling; nu ligt het bezoekersaantal al op 20.000 toeristen per jaar. De beste manier om het gebied te bezoeken is het maken van een kustwandeling. Maar je kunt ook inschepen op een educatieve boottocht langs de kust, of een kijkje nemen in het informatiecentrum over geologie.

Omdat grote delen van de kust van zowel Spaans als Frans Baskenland spectaculaire kliffen hebben, bestaat het idee om langs de hele Baskische kust, van het Franse Biarritz tot aan Bilbao, een 150 kilometer lang thematisch 'geopad' te bewegwijzeren. Voor Baskenland zou de bijzondere geologie een uitbreiding kunnen vormen op de gastronomie, een van de belangrijkste trekpleisters voor vakantiegangers. Met zo'n 'geopad' zou Baskenland een goede tegenhanger zijn van de overburen aan de andere kant van de Atlantische Oceaan. Daar ligt de Britse 'Jurassic Coast', die het hele mesozoïcum omspant en op de Werelderfgoedlijst staat.

