

De Krijt-Tertiair-grens in Europa

Vijf ontsluitingen nader bekeken

door Jan Smit, Vrije Universiteit Amsterdam
e-mail: jan.smit@falw.vu.nl

Tijdens de overgang van Krijt naar Tertiair, rond 66 miljoen jaar geleden, stierf een groot aantal dier- en plantensoorten uit. Deze massa-extinctie is zeer waarschijnlijk het gevolg van de inslag van een enorme meteoriet in Mexico, waarvan de gevolgen over de hele aarde terug te vinden zijn. Dit artikel gaat over deze meteorietinslag en vijf Europese locaties waar de KT-grens goed ontsloten is. Drie van de vijf geselecteerde gebieden liggen in Zuid-Europa: in Zuid-Spanje (Agost-Caravaca), Noord-Spanje (Zumaia, aan de Golf van Biskaje) en Italië (Gubbio); één ligt dichterbij, in Denemarken (Stevns Klint) en de laatste ligt in ons eigen Zuid-Limburg (Geulhemmerberg).

Er zijn veel meer interessante Europese locaties; ook daar bevindt de KT-grens zich in mariene afzettingen. Ontsluitingen van de KT-grens in continentale afzettingen – op Spaans en Frans grondgebied, waar de dinosauriërs destijds rondgelopen moeten hebben – zijn nooit gevonden.

Van de dieren die uitstierven, zijn de dinosauriërs het meest bekend, maar ook Noord-Amerikaanse buideldieren en zeedieren zoals ammonieten, belemnieten en planktonsoorten met een kalkskelet verdwenen. Talloze kleinere diersoorten zoals bryozoën (mosdiertjes), koralen en vele soorten bivalven (tweeklep-pigen) gingen in aantal plotseling sterk achteruit. Uit de fossiele record is gebleken dat veel andere groepen moeite hadden om te overleven, maar zich na de KT-overgang weer herstelden.

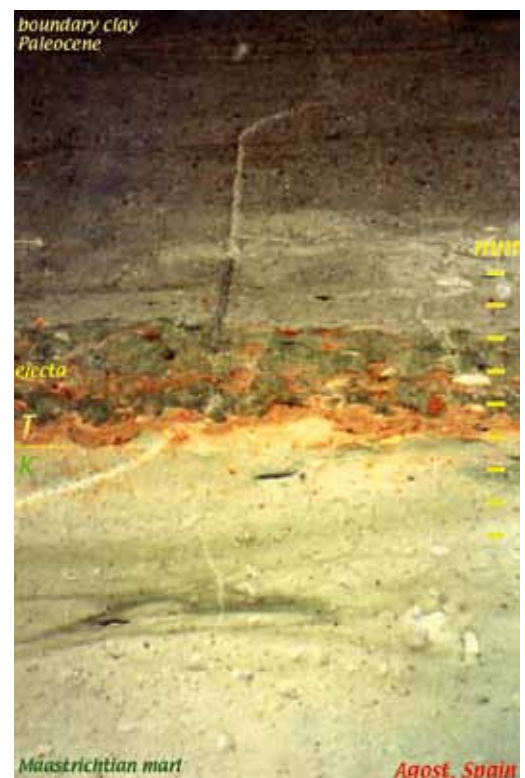
Al sinds de achttiende eeuw is gezocht naar de oorzaken van deze enorme extinctie. Vrijwel iedere mogelijkheid is wel geopperd; oorzaken als ompoling van het aardmagnetisch veld, zeespiegelveranderingen, competitie tussen soorten en ziektes zijn in meer of mindere mate serieus onderzocht. Vanaf de jaren zeventig kwamen er steeds meer technische mogelijkheden om de grens tussen Krijt en Tertiair te bestuderen (tegenwoordig wordt de KT-grens ook wel de Krijt-Paleocean-, of KPg-grens genoemd; in dit artikel wordt de term KPg-grens gebruikt). Dit was vooral te danken aan de beschikbaarheid van steeds verfijndere (chemische) analysetechnieken. Deze technologische vooruitgang was niet in de laatste plaats te danken aan de ontwikkelingen in de astronomie en de ruimtevaart, die voor een enorme toevloed aan analysefaciliteiten hebben gezorgd.

Kleilaag

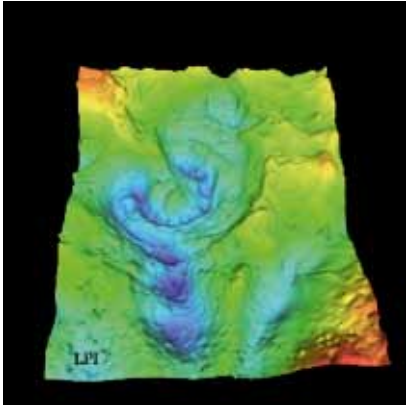
De KPg-grens wordt meestal gemarkeerd door een dunne kleilaag. De beroemdste is wel de 'Fiskeler', ofwel de visklei, in Denemarken zo genoemd vanwege de vele visfossielen. Aan de basis van die visklei-afzetting bevindt zich vrijwel zonder uitzondering een 2 à 3 mm dun laagje dat bestaat uit ejecta (materiaal dat door een

vulkaanuitbarsting of een meteorietinslag de atmosfeer is ingeslingerd). Dat laagje wordt gekenmerkt door een verhoogde concentratie iridium (iridium-anomalie). Behalve iridium worden ook andere platina-metalen gevonden, maar die zijn veel moeilijker te meten. Wetenschappers zijn ervan overtuigd dat het iridium afkomstig is van de grote meteorietinslag, 65,9 miljoen jaar geleden, op het schiereiland Yucatán bij het dorp Chicxulub in Mexico.

De gevolgen van de inslag voor het leven op aarde zijn op het eerste gezicht heel duidelijk. Het leidde tot het uitsterven van vele dieren- en plantensoorten, waarbij vooral de soorten met een kalkskelet uit de oceanen verdwijnen. Op honderden plaatsen op aarde is uit de fossiele record gebleken dat precies op het moment van de inslag – die wordt gekenmerkt door het impact-ejectalaagje – alle plankton met kalkskelet verdwijnt (afb. 1). Het kleilaagje boven de ejecta-laag is kalkarm, wat erop duidt dat er geen kalk meer werd geproduceerd in de oceanen. Het idee is



Afb. 1. KPg-grens met haarscherpe overgang tussen het Maastrichtien en Paleoceen. Van onder naar boven: Lichtgroen: Maastrichtien vol planktonische foraminiferen (pijl). Oranje-groen: 3 mm dik ejectalaagje van de Chicxulub-inslag. Donkergrijs: onderste Paleoceen vrijwel zonder foraminiferen.



Afb. 2. De Chicxulub-krater zoals een computeranimatie van de afwijkingen van de zwaartekracht die laat zien. Aan de oppervlakte is niets te zien omdat de krater helemaal met sediment is opgevuld. Rood/gele kleuren: wat hogere zwaartekracht omdat er zwaar gesteente onder zit (het smeltbad van opgesmolten gesteente); blauwe kleuren: minder zwaartekracht omdat er licht, poreus gesteente (impactpuin) onder de oppervlakte zit.

dat het de eerste halve eeuw na de inslag heel koud werd en dat er daarna een periode was van enkele duizenden jaren waarin de temperatuur sterk is opgelopen.

De Chicxulub-krater en zijn impact-ejecta

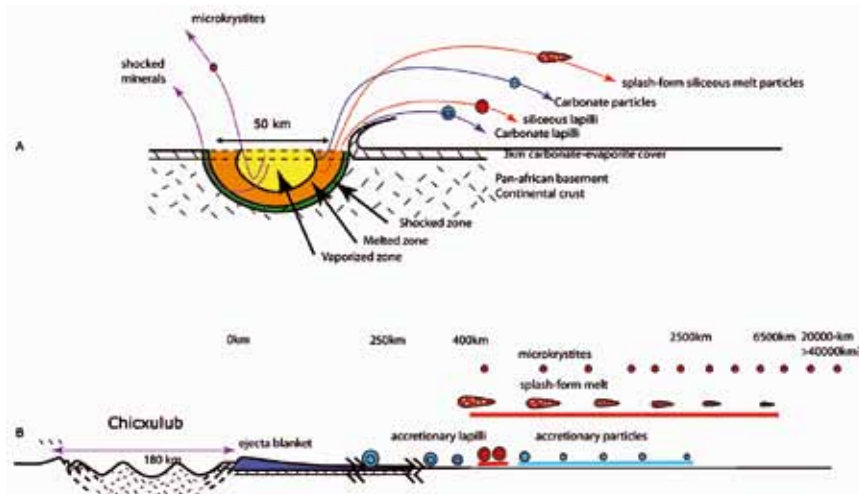
De inslag bij Chicxulub moet een explosie veroorzaakt hebben met een kracht van ongeveer 100 miljoen megaton, vergelijkbaar

met 7 miljard keer de Hiroshima-bom. Uit reconstructies blijkt dat de explosie in twee seconden een half-bolvormig gat in de bodem maakte, een 'tijdelijke krater' ('transient crater') van 35 km diep en 80 km in doorsnee, waarbij allerlei soorten materiaal (waaronder iridium) in de atmosfeer terecht kwamen en over het gehele aardoppervlak werden uitgestort. De aardkorst op de plek van de inslag moet zich in enkele minuten direct na de inslag enigszins hersteld hebben. Nu is er een krater van 180 km doorsnee en enkele kilometers diepte (afb. 2). Door de enorme hoeveelheid energie die tijdens de inslag vrijkwam, werden zowel de meteoriet als het omliggende gesteente zo sterk verhit dat de materialen op de plaats van inslag in een gas of een vloeistof zijn omgezet. Vanaf het centrum naar buiten nam de temperatuur af zodat er 'schillen' zijn ontstaan met verschillende soorten omzettingen (afb. 3A).

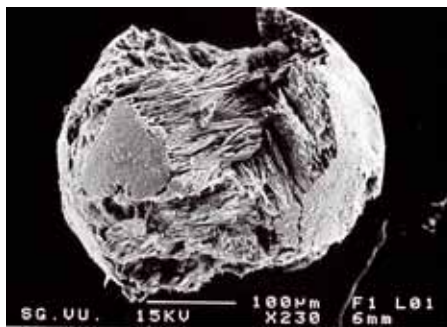
We kunnen de inslag als volgt reconstrueren: In de binnenste schil wordt de temperatuur zo hoog dat er een hete gasmassa gevormd wordt die bestaat uit de verdampte meteoriet plus ongeveer tien maal zoveel massa afkomstig van het getroffen aardoppervlak. Die hete gasmassa vormt een vuurbal ('fireball') die zo'n enorme druk en temperatuur (van wel 80.000° Kelvin) bereikt dat hij explodeert. De kracht van de explosie is zo groot dat de atmosfeer weggedrukt wordt en ieder molecuul in die vuurbal in een 'vrije' val op de aarde terecht komt (een zogenaamd ballistisch traject).

De schil rondom de vuurbal wordt niet zo heet; de gesteenten bereiken temperaturen van enkele duizenden graden en smelten en de vluchtige bestanddelen uit de smelt verdampen. De smelt bestaat uit materiaal dat afkomstig is van verschillende diepten op de plaats van inslag. De buitenste schil smelt slechts ten dele.

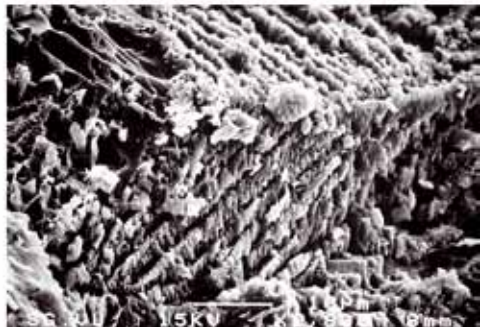
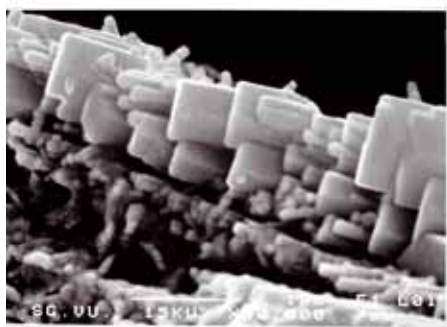
Door de schok van de inslag ontstaat er lokaal vervorming van het vaste gesteente op de plaats van de inslag. Een deel van dat materiaal wordt meegesleurd door de ontplofende fireball. Al deze ejecta-materialen vallen weer op aarde terug. Naarmate de deeltjes meer energie hebben, komen zij verder van de krater terecht (afb. 3B). De producten van de fireball zijn wereldwijd terug te vinden; de gesmolten en weer gestolde producten – zogenaamde tektieten – die zich in het centrum van de inslag vormden, blijven dicht bij de krater.



Afb. 3. Cartoon van de doorsnee van de Chicxulub-krater. A) De situatie enkele seconden na de inslag, met de verschillende "schillen". Geel: gedeelte dat is verdampt. Oranje: gedeelte dat grotendeels is gesmolten. Groen: schil die een beetje is gesmolten, maar vooral is 'geschokt'. De paden die de verschillende typen ejecta afleggen laten het brongebied van de ejecta zien. B) De uiteindelijke doorsnee (180 km) van de krater met schetsmatig de afstand van de verschillende typen ejecta van de krater. Splash-form melt: tektieten.



Afb. 4. Rasterelektronenmicroscop (SEM) opnamen van microkrystieten met dendritische kristalletjes. Het glas waar deze kristallen waren ingebed is in het zeewater opgelost. Met de klok mee van linksboven: hele microkrystiet van de Stille Oceaan (boorlocatie ODP 577). Detail van een andere microkrystiet met de oorspronkelijke augietkristalletjes. Dendritische kristalletjes met de vorm van augiet, maar helemaal omgezet naar sanidien. Detail van naar sanidien omgezette augietkristalletjes. (ODP 577), Caravaca, Spanje.



In Europa komen (vooral) fireball-producten en meegesleurde kwartskristalletjes voor. De kwarts moet een enorme klap gekregen hebben; we zitten immers meer dan 7000 km van de krater af. Het fireball-laagje is slechts 3 mm dik. Dat lijkt weinig, maar dat is – reken maar uit – $3 \text{ mm} \times 8 \pi r^2$ ofwel: $0.000003 \text{ km} \times 8 \times 3.14 \times 6370 \times 6370 =$ in totaal 3057 kubieke kilometer! Dit materiaal bevat veel van de oorspronkelijke meteoriet, wat we afleiden uit het iridiumgehalte. In Europa is het verdampte en weer gecondenseerde materiaal het beste te herkennen. Dit zijn kleine bolletjes (0.05 – 0.4 mm) van oorspronkelijk glas met heel veel dendritische kristalletjes (afb. 4). Een ejectalaagje bestaat soms voor wel 60% uit deze bolletjes (afb. 5).



Afb. 5. Het ejectalaagje van Caravaca, Spanje. Duidelijk zijn de witte bolletjes van (nu) sandien te zien, die met anders gekleurde bolletjes vrijwel het hele ejectalaagje opvullen. Zelfde uitleg als afb. 1.

Europese locaties

Het complete verhaal van de inslag en het massale uitsterven als gevolg daarvan is op veel plekken in Europa goed te zien. Een vijftal secties springen eruit. Ze zijn landschappelijk heel mooi en het verhaal van de inslag is daar goed en compleet te volgen. Deze vijf locaties (afb. 6) zal ik hieronder verder beschrijven.



Afb. 6. Google Earth kaartje van Europa met de beschreven KPg-ontsluitingen.

Betische Cordillera, Zuid-Spanje (Caravaca en Agost)

In Spanje liggen diverse mooie sedimentaire opeenvolgingen die de KPg-grens bevatten. Een daarvan ligt in Zuid-Spanje, in het Betische gebergte. Het zuidelijke gedeelte van dit gebergte hoort geologisch gezien niet bij Spanje, maar bij het aparte continentje Alboran. Dit continentje is pas later, tijdens het Oligo-Mioceen, aan Spanje toegevoegd. Aan de Spaanse zuidrand lag ten tijde van de meteorietinslag de bodem van een diepe shelfzee (Prebeticum en noordelijk Subbeticum), die door de botsing tussen de continenten is geplooid en opgeheven. (De afstand tot Chicxulub bedroeg toen ca 6500 km; door plaattektonische spreiding van de Atlantische Oceaan is dat tegenwoordig ca 8000 km.)

De KPg-grens vinden we hier midden in een dikke serie diepwatersedimenten van Jura tot Eocene ouderdom, die vóór de botsing op de Spaanse shelf continu afgezet zijn en nu toegankelijk zijn in onder meer de Barranco del Gredero bij Caravaca en bij Agost, even ten noorden van Alicante. De Gredero-ontsluiting is nu nog tamelijk ongerept, maar deze mooie plek dreigt onder de oprukkende industrie en uitbreiding van het snelwegennet bedolven te raken. De ontsluitingen zijn te bereiken door een klein weggetje tussen de fabrieken te volgen en te parkeren op de rand van de barranco. De lagen hellen ongeveer 30° naar het NW, maar de opeenvolging zelf is nagenoeg ongestoord (afb. 7).



Afb. 7. Google Earth kaartje van de Barranco del Gredero (blauwe stippellijn). Groen: ontsluiting van de KPg-grens. Rood: dwarsbreukjes.

Zoeken naar de KPg-grens

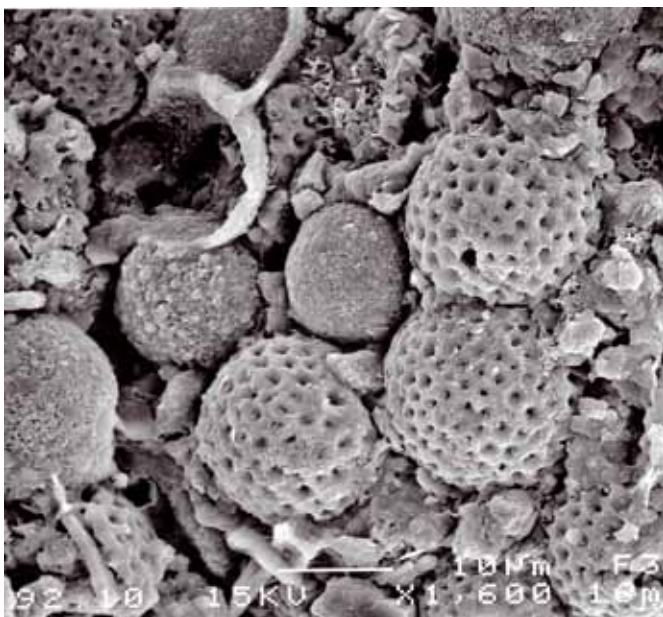
Ieder jaar gaan we met bachelorstudenten van de Vrije Universiteit op excursie naar de Gredero-ontsluiting. De studenten krijgen de opdracht om de KPg-grens te vinden in de monotone diepwater-mergelserie. Zij krijgen de tip een 10 cm dikke, donkere kleilaag te zoeken waarin Krijt-foraminiferen met de loep makkelijk te vinden zijn; dat geldt niet voor de Paleocene foraminiferen. Zelfs na het uitloven van glazen bier blijkt het vinden van de KPg-grens niet eenvoudig. Wat zegt dat? Dat studenten dom zijn? Helemaal niet. Het is gewoon lastig om de KPg-grens te vinden! (Afb. 8)

Qua afzettingomgeving kan er door de KPg-catastrofe niet veel veranderd zijn want de sedimenten aan beide zijden van de grens lijken heel veel op elkaar: het zijn dezelfde zachte groen-gele mergels met een identiek kleigehalte van ongeveer 20%; de rest bestaat uit kalkskeletjes van coccolieten (kalkalgjes) en foraminiferen (10%). Het geochemisch gedrag van 30 gemeten elementen en isotopeenonderzoek bevestigen dat beeld. Er lijkt op langere tijdschaal dus niet veel te zijn gebeurd, maar schijn bedriegt.



Afb. 8. De auteur naast de KPg-kleilaag in de Barranco del Gredero, nabij Caravaca in Spanje. De donkere KPg-grensklei is goed te zien.

Als we de KPg-grens nauwkeuriger onder de loep nemen, zien we dat er op korte tijdschaal juist heel veel verandert. Met enig zoeken is de 10 cm dikke, grijze kleilaag, die de overgang van Krijt naar Paleogeen markeert, wél overal te vinden in de Barranco del Gredero, zelfs over een lengte van 400 m. Om de kleilaag te kunnen zien moet je de overkorsting en de verweerde bodem goed wegkrabben. Dan blijkt die kleilaag met een haarscherpe grens op de mergels van het Maastrichtien te liggen. Precies op het contactvlak zit het ejecta-laagje, een dun rood laagje met veel iridium. Het is rood omdat het vrij veel ijzer (ijzeroxide) bevat. De foraminiferen (vooral Globotruncana) en andere planktonische vormen die we met de loep kunnen waarnemen, verdwijnen op het roestlaagje. De donkere kleilaag bevat nog maar heel weinig fossielen. In de top van de kleilaag komen geleidelijk de groen-gelige mergels weer tevoorschijn, met steeds grotere aantallen heel kleine foraminiferen die met de loep niet te zien zijn. De soorten zijn bijna allemaal 'nieuw' en moeten na de Chicxulub-inslag ontstaan zijn. Een halve meter hogerop is een merkwaardige, 0.5 m dikke, harde kalksteen ingeschakeld waar leuke kleine zee-egeltjes in zitten met de stekels er nog op!



Afb. 9. Bolletjes van *Thoracosphaera operculata* en andere kalkige dinoflagellaten boven de KPg-grens in Caravaca.

Diezelfde kalksteen komt overal in het noordelijk Subbetiche gebied voor, dus ook bij (het hieronder uitgebreid beschreven) Agost en nog verder naar het oosten bij Rellou en Finestrat (afb. 6 - Google Earth). Agost mogen we gerust de tweelingsectie van de Gredero-sectie noemen, al ligt hij hemelsbreed wel 120 km verder naar het noordoosten. De locaties liggen allemaal op dezelfde zuidrand van het Spaanse continent en delen dezelfde lotgevallen, zoals de zeespiegel- en klimaatveranderingen die daar in het verleden hebben plaatsgevonden. De kalksteenlaag valt vooral op door de hoge concentratie kalkige dinoflagellaten, vermoedelijk slechts enkele soorten zoals *Thoracosphaera operculata* (afb. 9). Dit is een van de vreemde bloeiperioden van organismen direct na de KPg-grens die we nog steeds niet goed begrijpen.

Microkrystieten

De 2 tot 3 mm dikke ejectalaagjes van Agost en Caravaca bevatten grote hoeveelheden kleine (~0.25 mm doorsnee) bolletjes die je met de loep goed kan zien. Ik had ze oorspronkelijk in 1975 al gevonden in het rode laagje, want ze zijn spierwit. Een vluchtige analyse van de brekingsindex deed vermoeden dat het gipsbolletjes waren, op het eerste gezicht niets bijzonders. Onder de elektronenmicroscopie leken ze op aardappeltjes zonder opvallende kenmerken. Mis! Jaren later, bij heranalyse van deze bolletjes, bleek dat ze uitsluitend in het iridiumrijke laagje voorkwamen en kwamen minuscule dendritische kristalletjes aan het licht die niet uit gips maar uit sanidien bleken te bestaan. Sanidien is niet het originele mineraal, maar is omgezet uit een Ca-rijke augiet, een clinopyroxeen, met behoud van de dendritische textuur van clinopyroxeen. Je zou het proces kunnen vergelijken met het bewaard blijven van houtcelstructuren in verkiezeld hout. Slechts op één plaats in de Pacificische Oceaan (ODP 577, afb. 4) is de originele augiet bewaard gebleven. Deze bolletjes, zogenaamde microkrystieten, ontstaan als condensatieproduct in de expanderende fireball zoals regendruppeltjes in een wolk, maar dan een wolk van verdampt gesteente in plaats van waterdamp. Bij het expanderen koelt de wolk af en condenseert het verdampte gesteente eerst tot kleine druppeltjes zeer vloeibaar glas. Bij verder afkoelen schieten de kristaldendrietjes als ijsbloemen in het druppeltje tevoorschijn, meestal vanaf de rand die het eerste afkoelt, maar ook wel vanaf de gasbolletjes in het druppeltje. Als de microkrystieten zijn geland en in het sediment zijn opgesloten, zullen de kristalletjes bijna overal weer overgaan in een ander mineraal.



Afb. 10. KPg-grens in de Barranco del Gredero, Spanje. Goed zichtbaar is de donkere KPg-kleilaag, met aan de basis het rode ejectalaagje. Vlak boven het rode laagje zit een 1 cm dik, heel donker laagje, dat vol met roet zit.

Op het ejectalaagje is tevens een 1 cm dikke, donkere kleilaag te zien die veel roet bevat (afb. 10). De herkomst van de roetdeeltjes wordt wel in verband gebracht met wereldwijde bosbranden als gevolg van de hitteontwikkeling door de inslag.



Afb. 11. Google Earth kaartje van de KPg-ontsluitingen even ten noorden van Agost. Placemarks: de beste ontsluitingen van de KPg-grens.

Agost

Een half uurtje rijden van het vliegveld van Alicante ligt de KPg-ontsluiting van Agost langs de weg naar Castalla (afb. 11). Zoals bij Caravaca wordt ook deze bedreigd, ditmaal door oprukkende industrie en een uitbreiding van de wijn- en boomgaarden. Zoals gezegd lijkt de KPg-overgang hier als twee druppels water op die van Caravaca (afb. 12). De hele opeenvolging is wat minder dik, maar ook hier zijn er overwegend grijs-groene mergels met hier een iets hardere kalksteen, onderbroken door een 6 cm dikke donkere kleilaag op de KPg-grens. Dezelfde 50 cm dikke kalksteen zit er ook weer en is rijk aan kalkige dinoflagellaten en zee-egeltjes.

De ejectalaag bevat dezelfde concentratie microkrystieten, maar ze zien er hier anders uit. Naast de witte sanidienbolletjes komen nu ook groene bolletjes van smectiet en zwarte bolletjes die chroomspinel bevatten tevoorschijn (afb. 13). Deze verschillen wijzen op een verschil in samenstelling tussen de bolletjes. De Cr-spinel (magnesioferriet) is sinds de Chicxulub-inslag niet meer veranderd; het zijn de enige originele componenten in de ejecta die niet zijn omgezet.

Hier en daar vind je ook naar goethiet (ijzerroest) omgezette bolletjes en een enkele druppelvorm. Dat laatste is verrassend omdat druppels, haltertjes en andere vormen van uiteengetrokken glas wijzen op het snel ronddraaien van het glas. De bekende tektieten van Indo-China – die veel op mineralenbeurzen worden aangeboden – laten deze (splash-)vormen goed zien (afb. 14). Dat betekent dat die druppeltjes niet uit damp gecondenseerd



Afb. 12. De KPg-kleilaag langs de weg van Agost naar Castalla in 1985. Toen was hij mooi ontsloten, maar inmiddels overstort. Auteur als schaal (1,95 m).

kunnen zijn, zoals de microkrystieten, omdat die altijd rond zijn. Voor zover bekend zijn de druppeltjes die we in Agost vinden de tektieten van de Chicxulub-inslag die het verst zijn weggeslingerd.

Net als bij Caravaca maakt de KPg-grens in de Agost-sectie deel uit van een serie vrijwel ongestoorde sedimenten. Wat opvalt is dat er nauwelijks grotere macrofossielen inzitten. Terwijl je toch ammonieten en belemnieten zou verwachten, vind je slechts hier en daar een klein zee-egeltje. Dat is toch wel typisch voor een echte diepwaterafzetting. Het moet te diep zijn geweest voor ammonieten omdat hun met lucht gevulde schaal dieper dan



Afb. 13. Dicht opeen gepakte microkrystieten op de oppervlakte van het ejectalaagje van Agost. De lichte zijn van sanidien, de groene bestaan uit smectiet, de zwarte bevatten veel magnetietjes met bijmenging van nikkel en kobalt. De grootste zijn een halve mm in doorsnee.



Afb. 14. Tektieten uit Indochina. Duidelijk zijn de uiteengetrokken vormen (splashforms) te zien die wijzen op ronddraaien tijdens de vlucht, toen ze nog gesmolten waren.

400 m implodeert. Analyse van honderden vissentanden uit deze twee secties geven een aanwijzing voor een afzettingsdiepte van minimaal 500 m bij Agost en 1000 m bij Caravaca. Bovendien bleek uit die vissentanden dat deze diepwatervissoorten voor het grootste deel verdwenen op de KPg-grens, een vrijwel onbekende massa-extinctie.



Afb. 15. KPg-grens in de Barranco del Charquer. Op 20 cm zit de (verstoorde) KPg-grens. Boven de 50 cm de harde kalksteen met *Thoracosphaera*.

Verder naar het oosten is de KPg-grens in de diepe shelfzee van de Spaanse zuidrand via een serie ontsluitingen goed te volgen; bij Benidorm verdwijnt de diepe shelf in de Middellandse Zee. Hier en daar komt de donkere kleilaag tevoorschijn. We hebben vermoedelijk lang niet alle plekken gevonden waar hij moet voorkomen, maar de (Thoracosphaera-)kalksteenlaag komt steevast 30–40 cm boven de KPg-grens voor, met een dun ejectalaagje eronder. De plek in de Charquer-barranco (die ook wel bekend staat als de Finestrat-sectie) is erg mooi. Al een paar kilometer buiten Alicante begeef je je in ongerept berggebied en ben je weg van alle drukte aan de kust. Een kleine B&B in een oude cortijo (boerderij) bleek zelfs bovenop de KPg-grens te staan, tot verrassing van de Engelse eigenaar. De KPg-grens lijkt weer veel op Agost, maar de tektoniek heeft er weinig van heel gelaten (afb. 15).

Zumaia en de Baai van Biskaje

Aan de Golf van Biskaje in Frans en Spaans Baskenland (Euskadi) is de KPg-grens op vele plekken in het abrasievlak en in de rotskust zelf ontsloten, telkens als een van de flanken van de vele plooiën die de kust doorsnijden. Die plooiën zijn ontstaan tijdens de vorming van de Pyreneeën en vanaf het Krijt vanuit het oosten, in de buurt van Barcelona, als een soort ritssluiting gesloten, opgeheven en geërodeerd. De gebergtevorming was al aan de gang tijdens de afzetting van de KPg-grens, wat te zien is aan de vele flysch-afzettingen. De KPg-grens is onderdeel van een lange, ononderbroken serie gesteenten die zijn afgezet in een voorloper van de huidige Golf van Biskaje, het 'Baskische bekken' (cuenca Vasca). In de flysch komen veel resten voor van



Afb. 16. Klifkust bij Zumaia. Het hele Boven-Maastrichtien (rechts) tot de top van het Danien (links) is hier in het klif en abrasievlak ontsloten. Duidelijk zijn de ritmische lagen te zien. Elk van deze lagen vertegenwoordigt de precessiecyclus van gemiddeld 21.000 jaar.

turbidieten (onderzeese lawines) die de erosieproducten (zand en silt) van de nieuw gevormde Pyreneeën bevatten. De Zumaia-sectie is wel de mooiste en meest ongestoorde van de ontsluitingen van de KPg-grens die in dit artikel beschreven worden. Het Krijt zit er vol ammonieten, zee-egels en graafsporen van schelpdieren, zoals Zoophycos en Inoceramus.

Het meest opvallend in de Zumaia-sectie zijn de zeer regelmatige afwisselingen van harde kalkrijke lagen en zachte mergellagen, zowel in het Maastrichtien (het jongste tijdvak van het Krijt) als in het Danien (het oudste tijdvak van het Paleogeen) (afb. 16). Het is de weerslag op de sedimentatie in de diepzee van subtiele klimaatveranderingen die veroorzaakt worden door variaties in de stand van de aardas en de baan van de aarde om



Afb. 17. Microkrystieten van Zumaia. De donkere bolletjes zijn dit keer niet naar sanidien omgezet maar naar arsenopyriet (8% As). Wederom is de ejectalaag de scherpe scheiding tussen licht, foraminiferenrijk Maastrichtien en donkere klei van het Danien. Millimeterpapier geeft de schaal.

de zon, de zogenaamde Milankovitch-cycli. Door die ritmische afwisselingen, vooral de 21.000-jaarlijkse precessiecyclus (precessie is de roterende beweging van de aardas, red.), kunnen we de aardgeschiedenis hier aflezen als bladzijden in een boek, waarbij iedere pagina ongeveer 20.000 jaar duurt. Door het hele bekken kunnen we bovendien alle secties hierdoor laag voor laag vergelijken. In het Krijt zijn de lagen bijna 90 cm dik, in het Danien nog maar 15 cm. 50 cm onder de KPg-grens zit de laatste harde kalkbank; op weg naar de volgende zachte mergellaag kwam de meteoriet neer in Yucatán, want hier vinden we het 2 mm dikke ejectalaagje. Dit keer zijn de bolletjes omgezet in arsenopyriet, maar de kristalstructuur van clinopyroxeen is toch weer goed te herkennen (afb. 17).

Ammonieten

Zumaia is ook belangrijk voor de reconstructie van de lotgevallen van de ammonieten. Alleen afdrukken komen veel voor, de schalen zijn nergens



Afb. 18. Ammoniet (*Anpachydiscus* aff. *terminius*) ongeveer 30 m onder de KPg-grens. Dit soort afdrukken komt in Zumaia veel voor.

bewaard gebleven (afb. 18). Zo'n 15 meter onder de KPg-grens worden de afdrukken zeldzaam. Sommige paleontologen leiden hieruit af dat de ammonieten er ruwweg 300.000 jaar voor de KPg-grens mee ophouden en hierdoor geen last van de Chicxulub-inslag gehad kunnen hebben. Peter Ward vond echter ammonieten bij Hendaye en Bidart (in Frans Baskenland) tot dichtbij de KPg-grens. Dat verhaal gaat dus niet op, want die lagen kunnen we met behulp van de Milankovitch-cycli met Zumaia correleren, waar ze onlangs ook gevonden zijn.

Opvallend in Biskaje is dat het Tertiair (Paleoceen) na 50 cm begint met harde roze kalkstenen die duidelijk op veel grotere diepte zijn afgezet, terwijl uit de dunne precessiecycli af te leiden is dat de sedimentatiesnelheid met ca een factor 5 is afgenomen. Dat valt vrijwel samen met de Chicxulub-inslag, dus die moet toch wel voor een langdurig effect gezorgd hebben; de afname van sedimentatie in oceanbekkens vindt bijna overal plaats. De afname van de sedimentatiesnelheid is niet alleen te danken aan het ineensstorten van de voedselketen (die leidde tot een afname van het aantal kalkskeletjes, wat goed te begrijpen



Afb. 19. De beroemde ontsluitingen van de KPg-grens bij Gubbio. C: Contessa-kloof. B: Bottaccione-kloof.

pen is door de extinctie), maar werd ook veroorzaakt door het niet-biogene, van land afkomstige zand en stof (klei). Tom Roep van de UvA suggereerde destijds dat het uitsterven van de dinosauriërs, de 'grote grazers' van dat moment, de 'woestijnvorming' door overbegrazing deed afnemen, waardoor er een bloeiende vegetatie ontstond die het bodemmateriaal vasthield. Een andere verklaring zou kunnen zijn dat het veel vochtiger werd, waardoor de plantengroei toenam. Deze verklaring wordt

ondersteund door het verschijnsel in het noorden van de VS en Canada, waar de koollagen altijd op de grens van Krijt en Paleoceen beginnen. Ook kan de wereldwijd gedocumenteerde stijging van de zeespiegel (transgressie), zo'n 40.000 jaar na de Chicxulub-inslag, een rol spelen. Bij een transgressie blijft het meeste slijk bij de monding van rivieren liggen, die allemaal meer landinwaarts gaan liggen.



Afb. 20. De KPg-ontsluiting van Gubbio. De KPg-grens ligt op de witte laag die de top van het Maastrichtien vertegenwoordigt.

Gubbio en de Apennijnen

De mooie, continue ontsluiting in de Bottaccione-kloof in de Monte Subbasio boven Gubbio (afb. 19), in de Italiaanse regio Umbrië, wordt wel als de 'moeder van alle KPg-ontsluitingen' beschouwd. Vanaf het restaurant Bottaccione halverwege de kloof (zeker gaan lunchen en het gastenboek tekenen!) loopt een pad bergop. (Pas op voor de roekeloze motorrijders. Voor hen geen maximumsnelheid, maar wel veel lekkere bochten.) Aan de zuidzijde van de weg ligt de 'oer-KPg' ontsluiting. Er staat een bordje bij met uitleg en de KPg-grens is makkelijk te vinden omdat inmiddels zoveel materiaal is weggehaald dat er een kleine kloof is ontstaan. Iridium maakt hebberig!

De toplaag van het Krijt is wit, de rest van de splinterige (Scaglia) kalkstenen zijn rood-roze. Het duidelijke magnetische signaal suggereert dat de oorspronkelijke kleur rood was, wat erop duidt dat het al tijdens de afzetting is ontstaan. IJzerroest met Fe^{3+} , geoxideerd ijzer, is het rode penseel van de natuur! (Afb. 20) Die witte kleur blijkt niet aan een gebrek aan ijzer te liggen, maar aan de reductie van Fe^{3+} naar Fe^{2+} ; die zorgt voor het verdwijnen van rode kleuren. Waar komt die reductie vandaan? Je kan je goed voorstellen dat na de extinctie veel organisch materiaal op de bodem van de zee terechtkwam (hier in Gubbio geschat op 2000 m diepte). Dat organische materiaal wordt geoxideerd, o.a. door reductie van Fe, en ontkleurt dan de zeebodem, hier tot een diepte van 20 cm onder de KPg-grens. Ook elders in de Apennijnen is dat effect te zien. De fermenterende bacterieresten die hier direct op het ejectalaagje zijn gevonden, geven aan dat er inderdaad heel veel organisch materiaal op de bodem terecht gekomen moet zijn.

De betere ontsluitingen zijn echter te vinden in de Contessa-kloof, even ten noorden van Bottaccione. Vanaf de weg is in de



Afb. 21. Boorgang in het bovenste Krijt, gevuld met donkere klei van het ejectalaagje, en gevuld met vele zwarte (magnetiet), groene (smectiet) en witte microkrystieten. Furlo-ontsluiting.

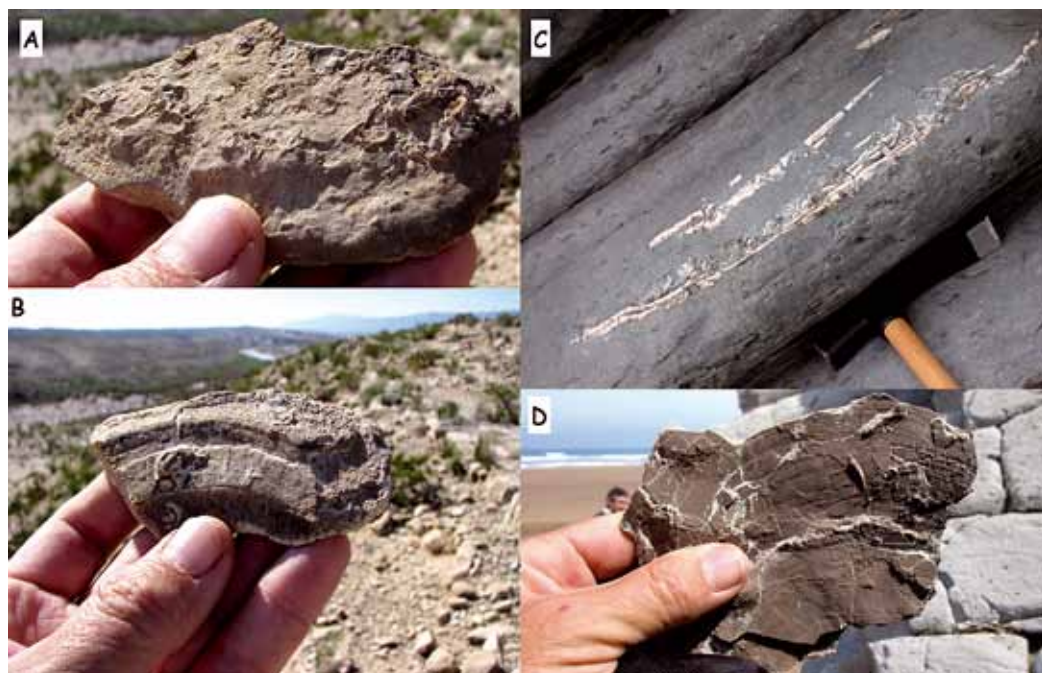
grote steengroeves in één oogopslag de hele aardgeschiedenis te zien, van Boven-Jura tot Mioceen. 120 miljoen jaar aardgeschiedenis zonder enige onderbreking. Uniek! Alhoewel iedereen naar deze ontsluitingen gaat, zijn het lang niet de beste voor

de KPg-grens. Tektonische krachten hebben vooral het KPg-kleilaagje beschadigd.

Het diepe bekken met de vele ontsluitingen strekt zich van Gubbio verder naar het oosten uit. Daar worden de overschuivingen milder en is de kleilaag vooral in de top van de anticlines ongestoord, zoals bij Furlo en Petriccio. Verschillende types microkrystieten liggen hier ongeschonden in het dunne kleilaagje.

Doordat de sedimentatiesnelheid zo laag was, komt nog een ander aspect van de KPg-grens naar voren. Het valt op dat in alle KPg-ontsluitingen de 10-15 cm dikke toplaag van het Krijt doorboord is met mooie graafgangen van allerlei bodembewoners, die weer opgevuld zijn met de donkere klei van de kleilaag. Geen van die boor- of graafgangen bevat materiaal van de ejectalaag zelf. Ook in Furlo of Pietralata komen die donkere graafgangen voor, maar deze zijn wél gevuld met de ejecta. Vaak zijn de hele boorgangen gevuld met microkrystieten (afb. 21). De verklaring is dat de gravers en grazers van de zeebodem (zoals zoophycos en chondrites) er op de KPg-grens even – enkele honderden jaren – mee opgehouden zijn. Ze sterven niet uit maar verdwijnen tijdelijk, vermoedelijk omdat de oceaانبodem door alle rottende organismen te zuurstofarm werd. Hierdoor zouden wormen en zee-egels de zeebodem niet hebben doorgraven en is het 2 mm dikke ejectalaagje intact gebleven. Maar hier in Furlo beginnen

Afb. 22. Bekende fossielen uit het bovenste Krijt: Rudisten en *Inoceramus*. A, B) Twee aanzichten van een rudistfragment dat in Caravaca in Boven-Krijt, diepwatersediment gevonden is. Tijdens het dobberen van het fragment in de oceaan zijn er kleine oestertjes opgegroeid. C) Doorsneden van twee dubbelkleppige exemplaren van *Inoceramus* sp. Hamerkop is 15 cm. Het grootste exemplaar is overgroeid met vele oestertjes. D) Fragment van *Inoceramus* van Sopelana, Baskenland, met vele groeiringen.



de organismen alweer te graven als de ejectalaag nog niet door de kleilaag bedekt is. Oppervlakte-eters zoals zoophycos hebben al grazend een deel van de ejectalaag opgepeuzeld, op zoek naar organisch materiaal. De onverteerbare resten zoals geschokte kwarts en microkrystieten werden in de boorgangen uitgepoept.

Vreemde snuiters

In Gubbio, en trouwens wereldwijd, bevatten diepzeesedimenten uit het Boven-Krijt grote dubbelkleppige schelpen van het geslacht *Inoceramus*. Ze komen veel voor tot op de grens van het Onder- en Boven-Maastrichtien, zo'n 3 miljoen jaar voor de KPg-grens, en dan verdwijnen ze plotseling. Ze hebben de Chicxulub-inslag dus niet meer meegemaakt. Het zijn vreemde snuiters want de hele groep bewoonde een niche die er tegenwoordig niet meer is. Ze leefden uitsluitend in de diepzee, in het donker, zowel in zuurstofarm als zuurstofrijk bodemwater, van Antarctica tot in de tropen. Met hun punt zaten ze in de blubber van de bodem, de rest van de schelp stak boven de bodem uit en daar groeiden dan weer kleinere oesters op. *Inoceramus* groeide uiterst langzaam en kon zeer oud worden. We hebben ooit wel 800 jaarringen geteld op een schelp met een doorsnee van 80 cm. Volgens Ken MacLeod gebruikt dit weekdier symbionten zoals bacteriën voor zijn energiebehoefte, wat hem onafhankelijk maakt van zuurstof in de directe omgeving en licht. Waarom ze verdwenen zijn, weten we niet. Een verband met het uitstromen van de Deccan traps in India is er niet, want in die periode waren ze al uitgestorven.

Bijna net zo'n vreemde eend in de bijt is de rifvormende rudist, waarvan stukken in diepzeeaafzettingen worden gevonden. De gevonden fossielen zijn altijd van een radiolite, een soort met poreuze schelp die kan gaan drijven als het dier dood gegaan is en van het rif wordt afgeslagen. Na een tijdje dobberen raakt de poreuze schelp verzadigd met water en zinkt hij naar de bodem, tot wel meer dan 50 km verwijderd van het rudistenrif waar het dier is opgegroeid. Sandro Montanari heeft een paar decimeter onder de KPg-grens een fragment gevonden toen hij als student het Maastrichtien in de Apennijnen bestudeerde. Ook elders zijn deze weekdieren gevonden, tot vlak voor de KPg-grens, waarna ze echt verdwijnen. Ruim voor de Chicxulub-inslag blijken de rudistenriffen al sterk achteruit te zijn gegaan. Volgens velen zijn ze toen definitief uitgestorven, maar dat is dus niet waar. Of er een relatie is tussen hun teruggang en de Deccan trap-erupties

is leuk om te onderzoeken, want daar is nog maar weinig over bekend. Er zijn aanwijzingen dat de riffen verdwijnen met de eerste erupties in India, een half miljoen jaar voor overgang van Krijt naar Paleogeen (afb. 22).

Stevns Klint en het Boreale gebied

In Noord-Europa zijn een aantal ontsluitingen in de zogenaamde chalk-krijt-faciës, die een wat koeler gebied in een overigens warme wereld vertegenwoordigen. Denemarken valt geheel in deze chalk-faciës. Er waren tot voor kort veel meer ontsluitingen, maar tegenwoordig is alleen Stevns Klint nog goed toegankelijk. Even ten zuiden van Kopenhagen ligt een lange klifkust (Klint) op het zuiden, dus bij mooi weer kan het er behoorlijk warm zijn! In Stevns Klint is de KPg-grens ongeveer halverwege het klif ontsloten bij Hojerup.

De situatie is geologisch gecompliceerd omdat er in dit gebied zowel tijdens het Maastrichtien als het Danien langgerekte bryozoënriffen – zogeheten *mounds* – gevormd werden, met een hoogte van enkele meters in het Maastrichtien, tot meer dan 10 m in het Danien. De *mounds* zijn asymmetrisch, vermoedelijk door de sterke stroming in de zeestraat tussen Scandinavië en Europa.



Afb. 23. Het KPg-interval in de Geulhemmergrot. In de depressies zijn de verschillende kleilagen (A-E) goed ontwikkeld. Ze wisselen hier af met grove schelpgruislagen, die als tsunami- of stormlagen geïnterpreteerd kunnen worden. De KPg-grens is erg onregelmatig, en voorzien van veel boorgangen.

Voor het overgrote deel bestaan de *mounds* uit ingevangen algjes (coccolieten), die op de KPg-grens verdwijnen. Ook hier zijn zowel het ejectalaagje als de aansluitende kleilaag (die lokaal Fiskeler wordt genoemd) te zien. De dikte van beide wordt bepaald door de vorm van en de stroming over de *mounds*. De kleilaag en de ejecta zijn het dikst in de diepste delen van de depressies tussen de *mounds*. Kennelijk blijft door de stroming de Fiskeler niet op de top van de *mounds* liggen, maar wordt hij naar de diepere delen verplaatst. Het gevolg is dat de hoeveelheid iridium in zo'n dal erg hoog is, evenals het aantal microkrystieten. De dalen tussen de *mounds* zijn verder opgevuld met een krijtlaag (Cerithiumkalk). Die is vermoedelijk te correleren met de dinoflagellatenkalk in de Betische Cordillera, want hij bevat een enigszins afwijkende, verarmde fauna met een overheersend Krijt-karakter en veel kalkige dinoflagellaten. De *mounds* en de Cerithiumkalk worden afgevlakt door een

horizon van regressie en transgressie, die een typische hardground achterlaten met een tijdshiaat. Deze horizon is vrijwel overal op de wereld terug te vinden in ondiepwaterafzettingen. In Limburg staat deze bekend als de Vroenhoven-horizon, die vroeger gelijkgesteld werd met de KPg-grens omdat de laag eronder vooral Krijtfossielen bevat. In het zuiden van de VS is dezelfde horizon te vinden. In diep water, zoals in Zumaia, valt deze samen met de overgang van een hoge naar een lage sedimentatiesnelheid. Het is aannemelijk dat deze zeespiegelverandering samenhangt met de milieuveranderingen als gevolg van de Chicxulub-inslag en het hierop volgende uitsterven van biota. De eerder vermelde overgang van een droog naar een nat klimaat met veel koollagen in Canada en de VS heeft vermoedelijk dezelfde oorzaak.

Geulhemmerberg, Limburg

Sinds de Curfsgroeve is gesloten, is de KPg-grens in Limburg alleen nog maar te zien in de Geulhemmerberg (grot en groeve). Deze ontsluiting is uniek in de wereld! De groeve is uitsluitend toegankelijk indien men zich vooraf aanmeldt bij het Natuurhistorisch Museum Maastricht, dit in verband met het risico te verdwalen in de door mensenhanden gemaakte galerijen.

Vanaf de ingang naar de ontsluiting van de KPg-grens is een half uurtje lopen. Bijzonder is dat het dak van de hele grot door de KPg-grens wordt gevormd. De blokbrekers uit de 19e eeuw hebben de KPg-grens gemeden omdat deze veel kleilagen bevat die als bouw materiaal ongeschikt zijn. Op plaatsen waar de kleilagen duidelijk dikker zijn, is het dak van de galerij ingestort. Op het ingestorte puin kunnen we dichtbij de KPg-grens komen en de laag bestuderen.

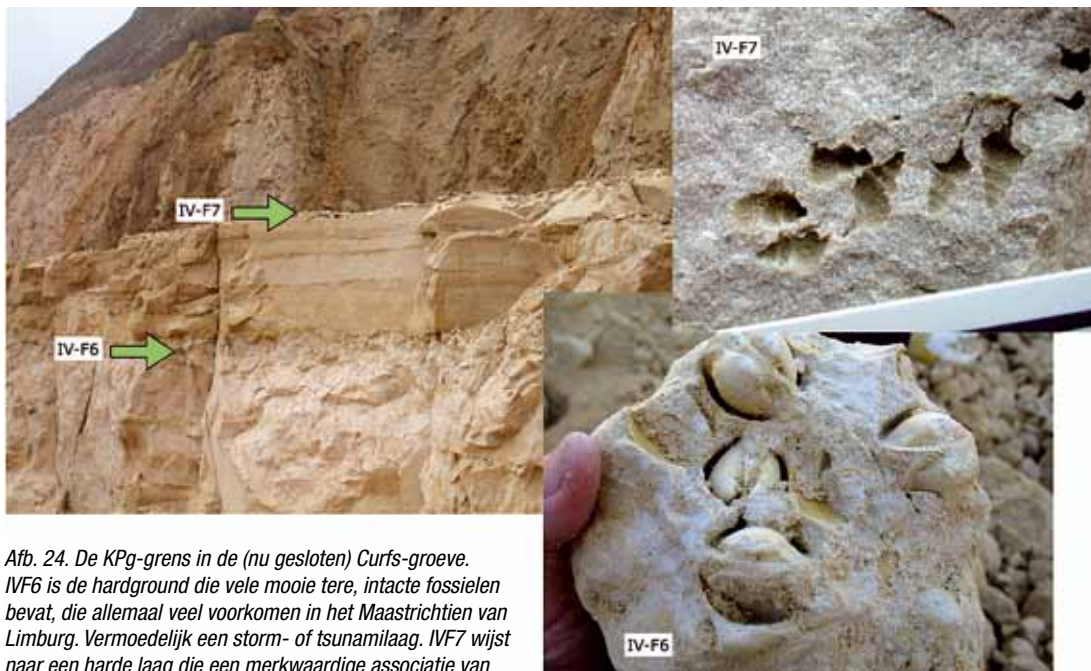
Net als bij het Deense Stevns Klint zijn in de grot een soort heuvels en dalen zichtbaar. In de Geulhemmerberg zijn dit geen 'primaire *mounds*' zoals in Denemarken, maar onregelmatige resten van de verharde zeebodem die talloze boor- en graafgangen bevatten. In de Curfsgroeve, direct naast de grot, is die verharde zeebodem ook te zien, maar die is daar tamelijk vlak. (IVF6 hardground van Berg en Terblijt). Een vergelijkbare onregelmatige zeebodem zie je als je in de Middellandse Zee over de rotskusten snorkelt (afb. 23).

De onregelmatige bodem in de grot was kennelijk net ontstaan voor de inslag in Chicxulub. De uitspoelingsresten zijn terecht gekomen in 1,5 m diepe en 5 tot 10 m brede depressies; deze zijn opgevuld met een afwisseling van grove stormlagen en dunne en dikke kleilagen. De dikste, 10 cm dikke kleilaag (de 'E-klei') drapeert zich over de gehele oppervlakte: wat dunner over de heuvels en dikker in de dalen. Soms vult de klei de bestaande boorgaten. De andere kleilagen (A tot D-serie) bevinden zich alleen in de depressies, waarschijnlijk omdat zij door hun beschermde ligging niet geërodeerd zijn door de vele stormen.

Geen iridium

Tot onze teleurstelling hebben we geen iridium gevonden aan de basis van de klei, wat ons een publicatie in het wetenschappelijk tijdschrift Nature heeft gekost! Waar is het iridium dan wel gebleven? De stormlagen geven de sleutel tot de oplossing. Je kunt je voorstellen dat het bodemwater van de onregelmatige – en zeer ondiepe – rotskustbodem voortdurend door golven in beweging werd gehouden. Het dunne ejectalaagje heeft dan ook geen kans gehad om rustig te blijven liggen en al het fijne materiaal, met het iridium en de microkrystieten, moet weggespoeld zijn. Waarheen? We weten het (nog) niet. Het zou kunnen dat het bijeengespoeld is in enkele van de vele openstaande boorgangen, maar onze opsporingen hebben helaas nog niets opgeleverd.

De opvulling van de depressies is erg snel gegaan, wat we aflei-



Afb. 24. De KPg-grens in de (nu gesloten) Curfs-groeve. IVF6 is de hardground die vele mooie tere, intacte fossielen bevat, die allemaal veel voorkomen in het Maastrichtien van Limburg. Vermoedelijk een storm- of tsunamilaag. IVF7 wijst naar een harde laag die een merkwaardige associatie van fossielen bevat die in het Maastrichtien heel zeldzaam zijn, o.a. de warmwatersoort *Eubaculites carinatus*. Het is een restassociatie die overblijft in de eerste turbulente periode na de Chicxulub-inslag. Deze laag zit vlak onder de Vroenhoven-hardground, die vroeger werd aangezien voor de KPg-grens.

den uit de samenstelling van de kleilagen. Deze zitten propvol dinoflagellaten en verder vrijwel niets. Ja, enkele zeewierbladeren met opgegroeide bryozoën en heel zelden wat foraminiferen. De preservatie van de kleilaag zelf is ook weer uniek. Er zitten talloze zogenaamde 'moleculaire fossielen' in die zelden bewaard blijven. In de C-klei zijn tientallen nieuwe soorten kalkige dinoflagellaten gevonden, evenals hele coccosferen (eencellige alg met kalkskelet, red.), die meestal direct na de dood van de alg in losse kalkplaatjes uiteenvallen.

Tsunami

De afwisseling van stormlagen en fijne kleilagen is lastig te verklaren. De 'stormlaag' met de grootste schelpfragmenten ligt onderin en bevat voornamelijk hele schelpen, korallen, brachiopoden, belemnieten en soms zelfs hele boomstammen. In de Curfsgroeve zijn alle fossielen in deze laag (IVF6 in afb. 24) perfect geconserveerd. Zelfs de breekbaarste details van korallen, ammonieten, schelpen zijn bewaard gebleven. Dit wijst op een eenmalige storm of misschien zelfs een tsunami, zoals wel eens geopperd is.



Die vloedgolf zou vanaf de plaats van inslag over de Atlantische Oceaan naar Limburg zijn gereisd en daar al die organismen hebben losgespoeld en ook weer hebben begraven. Als je de eerste dag na een storm op het strand komt, valt op dat bijna alle schelpen nog mooi heel zijn. Een paar dagen later zijn ze al afgeslepen en gebroken. Dat moet ook hier gebeurd zijn. Een unieke storm of tsunami heeft de fossielen mogelijk bijeengespoeld en begraven. De daaropvolgende grove stormlagen bevatten eigenlijk alleen nog maar gebroken fossielresten.

Maar als die stormen de Limburgse kust hebben getroffen, hoe is het dan mogelijk dat al die fijne kleilagen bewaard zijn gebleven? Probleem, probleem. Tussen de stormen door moeten ook rustige perioden geweest zijn waarin de fijne klei bezonken is. Nieuwe kalk wordt niet meer afgezet omdat de kalkproducenten uitgestorven zijn. Wat overblijft is de uitgespoelde (of weggeblazen) bodem van het vasteland dat bij Aken en de Hoge Venen heeft gelegen. Er zitten ook nogal wat stuifmeelkorrels in. Tom Roep veronderstelde dat zich al gauw na de inslag een kustbarrière gevormd moet hebben die alle golven, de allergrootste stormen uitgezonderd, heeft tegengehouden. Aan de Oostzeekust zie je daar nu veel voorbeelden van, zoals bij de 'haffen' van Polen. De dinoflagellaten in de kleilagen vertegenwoordigen nog de eerste, 50 jaar durende koudeperiode vlak na de inslag. Dus hier in de Geulhemmergrot zien we (nog) niet de inslag zelf (dat is een kwestie van tijd en veel zoeken), maar wel de eerste 50 jaar ná de inslag. Wat deze periode betreft bevat de grot een uniek archief van de wereldgeschiedenis.

Paleogene ammonieten!

Ten slotte wil ik nog wijzen op de curieuze vondsten van ammonieten, 3 tot 4 meter boven de KPg-grens. Hoe is dit mogelijk? Ze waren toch uitgestorven? Nou, deze soorten dus mooi niet, al zijn ze een korte tijd later wel verdwenen, mogelijk door de opkomst van de Nautilus en gewone inktvissen. Die 'overlevende' ammonietensoorten komen in Zuid-Limburg in de periode daarvoor niet of nauwelijks voor. Ze komen wel veel voor in het Maastrichtien in de warmere streken in Zuid-Europa. Kennelijk zijn deze overlevers, zoals *Eubaculites carinatus* (afb. 25), vlak na de inslag naar Limburg verhuisd. Niet tijdens de eerste koudeperiode waarin de kleilagen gevormd zijn, maar daarna, toen de omslag van een koud naar een warm klimaat plaatsvond. Een kleine voetnoot in het verhaal van de KPg-grens.

Afb. 25. *Eubaculites carinatus*. Deze ammoniet komt in het bovenste Krijt vrijwel alleen voor in het zuiden van Europa. In IVF7 (Paleogeen!) komt hij frequent voor in een rare associatie van fossielen, maar de exemplaren zijn altijd intact bewaard, al is de schaal opgelost. Bij dit exemplaar is de fragiele voorkant van de schelp te zien, die bij transport bijna altijd kapot gaat, wat een argument is tegen reworking vanuit het Krijt. Het lijkt er dus op dat deze ammoniet even de Chicxulub-inslag overleefd heeft!