

ZUIDELIJK LIMBURG 65 MILJOEN JAAR GELEDEN

DE HERNIEUWDE BELANGSTELLING VOOR DE KRIJT-TERTIAIR (K/T) GRENS VERKLAARD

John W.M. Jagt, *Natuurhistorisch Museum Maastricht, Postbus 882, 6200 AW Maastricht*

Tijdens een speciale bijeenkomst op 20 december 1996 in het auditorium van het Natuurhistorisch Museum Maastricht werd het eerste exemplaar van een K/T grens-themanummer van het vaktijdschrift *Geologie en Mijnbouw* door Prof. Dr. S. Cloetingh (Vrije Universiteit Amsterdam) uitgereikt aan drs. G. Kirkels, directie-voorzitter van de firma Ankerpoort NV (Maastricht). Deze uitgave, onder eindredactie van Dr. H. Brinkhuis (Universiteit Utrecht) en Dr. J. Smit (Vrije Universiteit Amsterdam), omvat in totaal zeventien artikelen, geschreven door vertegenwoordigers van bijna alle Nederlandse aardwetenschappelijke instituten en universiteiten en door een aantal buitenlandse collega's. Diverse disciplines binnen de aardwetenschappen zijn op deze manier vertegenwoordigd: sedimentologie (inclusief microfacies analyse), paleontologie, paleomagnetisme en (organische/anorganische) geochemie. Om zowel de leden van het Natuurhistorisch Genootschap in Limburg als de grote groep amateur-paleontologen in het Limburgse kennis te laten maken met dit K/T onderzoek, volgt hieronder een samenvatting van de resultaten, met verwijzingen naar de originele, engels-talige bijdragen. In een aantal krantenartikelen (CROUZEN, 1995, 1996) is al een tipje van de sluier opgelicht.

INLEIDING

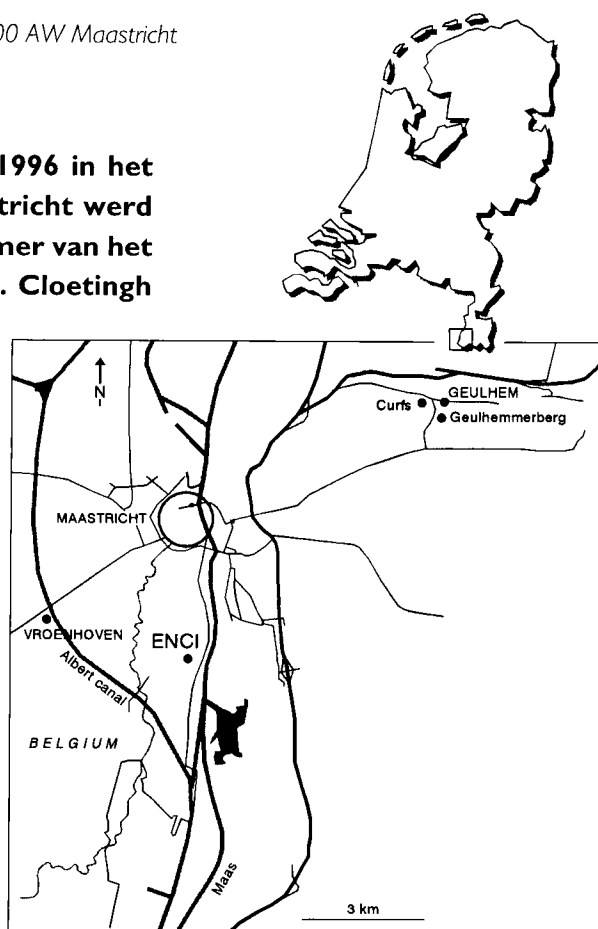
Er gaat geen maand, soms zelfs geen week, voorbij zonder dat om het even welk fenomeen van de Krijt-Tertiair (K/T) grens de pagina's van wetenschappelijke tijdschriften, en met name van *Nature* en *Science*, vult. Wat is er dan zo speciaal aan deze grens?

Geologen zijn in het recente verleden overeengekomen dat het grensvlak tussen het late Krijt en het daaropliggende vroege Paleo-

ceen in een profiel, de El Haria sectie bij El Kef in Tunisië, is gedefinieerd. Alle volgende interpretaties van de K/T grens wereldwijd moeten nu aan dit zogenaamde GSSP (= Global Stratotype Section and Point) worden getoetst: de grens bevindt zich aan de basis van de 'grensklei' (= boundary clay). Of andere secties ter wereld nu in mariene (= in zee afgezette) of continentale afzettingen liggen doet niet ter zake.

Ook werd besloten om zo dicht mogelijk te blijven bij de originele definitie van het vroeg-

ste Paleoceen, het Danien, dat (van oud naar jong) de Fiskeler (letterlijk: visklei), *Cerithium* Kalk en Faxekalk omvatte, zoals ontsloten in kustkliffen en groeves in Sjælland (Denemarken). Het onderste deel van de Fiskeler bleek later een laag te omvatten met een aanrijking van iridium (Ir) en andere platinum-groep elementen, geschokte mineralen, roetdeeltjes en veranderde microkrystieten. Een dergelijke laag met vergelijkbare lithologische, mineralogische en geochemische karakteristieken is nu van vele plaatsen over de



FIGUUR 1. De ligging van de groeves ENCI Nederland BV (Maastrichtien stratotype) en Ankerpoort-Curfs en de ontsluitingen langs het Albertkanaal bij Vroenhoven-Riemst en de nieuw ontdekte Geulhemmerberg secties.

hele wereld bekend.

In El Haria (El Kef) is de K/T grens nu vastgelegd (de 'Golden Spike' definitie) in een roodachtige laag van een paar millimeter dik aan de basis van een 23 cm dikke donkere 'grensklei', die een scherpe lithologische grens markeert.

In het type gebied van het **Maastrichtien**, de ruimere omgeving van Maastricht, werd traditioneel de Vroenhoven Horizon aan de basis van de Geulhem Kalksteen als de K/T-grens gezien. Nog niet zo lang geleden bleek in de Ankerpoort-Curfs groeve (Geulhem), dat in de onderliggende Meerssen Kalksteen, aan de basis van sectie IVf-7, ook een duidelijke grens optrad. Deze grens, de Berg en Terblijt Horizon (FELDER & BOSCH, 1997), valt soms samen met de Vroenhoven Horizon. Het spreekt voor zich dat dit correlaties erg bemoeilijkt. De sectie IVf-7 in Ankerpoort-Curfs omvat een aantal niet zijwaarts doorlopende kleirijke horizonten, meestal in de vorm van zogenaamde 'rip-up clasts' (letterlijk: stukgetrokken sedimentdeeltjes). In dit deel van het profiel werd onlangs het kalkschalige nannofossiel *Cruciplacolithus primus* Perch-Nielsen, 1977, een mariene alg uit de groep van de Chrysophyceae, gevonden. Deze soort wordt algemeen gezien als gidsfossiel voor het vroegste Danien.

Dat, zoals nu blijkt, het type Maastrichtien wat ouderdom betreft ook vroeg-paleoceen afzettingen omvat, is een praktisch probleem. In het typeprofiel van het Maastrichtien in de ENCI Nederland BV groeve (figuur 1) is de Meerssen Kalksteen niet compleet, maar erosief afgesneden. Het opnemen in de definitie van het Maastrichtien van de Meerssen Kalksteen uitgebreid met sectie IVf-7, buiten het typeprofiel in de ENCI, betekent dat het Maastrichtien voor een deel gaat samenvallen met het Danien. Een oude discussie wordt hiermee nieuw leven ingeblazen.

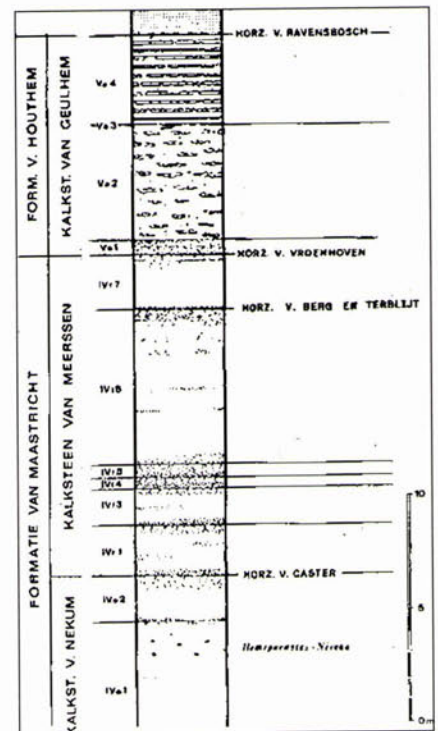
Sedimentpakketten die in ondiepe mariene milieus zijn ontstaan zijn wat sedimentologie betreft vaak veel complexer dan secties die diep(er) water representeren. Vaak zijn ze sterk door bioturbatie (= graafactiviteit van allerlei organismen) verstoord en door golven beïnvloed. Daarom ook is het zeer moeilijk in dit soort secties onderscheid te maken tussen wereldomvattende en regionale gebeurtenissen ('events') die tijdens de K/T overgang hebben plaatsgevonden. De nieuwe Geulhemmerberg sectie vormt

hierop geen uitzondering; er is dus nog ruimte voor alternatieve interpretaties.

De artikelen in genoemde thematische bundel vertegenwoordigen eigenlijk een soort momentopname, maar wel een belangrijke. Met name voor de zogenaamde herstelfase ('recovery phase') na het massale K/T uitsterfen (ARCHIBALD, 1996; BARDET & BUFFETAUT, 1996; DONOVAN, 1989; HART, 1996; MACLEOD & KELLER, 1996) kan de Geulhemmerberg sectie enorm veel informatie opleveren.

HOE DENKEN WE ER NU OVER ?

In hun inleidende memorieren de gastredacteurs (BRINKHUIS & SMIT, 1996) dat secties in kalk-platform of klastische sedimenten, afgezet boven golfbasis, zonder uitzondering incompleet zijn. Op de K/T grens is er dan een hiaat, dat een variabele tijdsduur omvat. Tot voor kort werd dit ook voor deze grens in het typegebied van het Maastrichtien aangenomen (figuur 1): de Vroenhoven Horizon scheidt de (liggende) Maastricht Formatie (Meerssen Kalksteen) van de (hangende) Houthem Formatie (Geulhem Kalksteen), en vertegenwoordigt de K/T-grens (FELDER, 1975). In november 1992 werd, als 'toegevoegde waarde' van een verzamel sessie in het typeprofiel voor GOA project 750.610.01 [dinoflagellaten en kalkschalig nannoplankton en de K/T grens] om het in de literatuur gemelde voorkomen van typische Danien nannofossielen in de Meerssen Kalksteen te testen, de Geulhemmerberg sectie voor het eerst eens goed bekeken. De eerste monsters leverden al direct vroegste Paleoceen dinoflagellaten en nannofossiel associaties op (BRINKHUIS, 1993). Dit smaakte naar meer ! De veruit spectaculairste localiteit in het Geulhemmerberg gangenstelsel (zie ook DIDDEN, 1996) wordt als 'main site' aangeduid. Het 'Deep Dark Hole' project dat daarna werd gestart werd gedragen door bijna 25 aardwetenschappers, uit binnen- en buitenland (BRINKHUIS et al., 1995). Een afwisselend pakket van kalkarenieten (vaak grofkorrelige bioclastische kalkstenen) en kleien met een totale dikte tussen 125 en 150 cm is in de Geulhemmerberg ontsloten. De top van sectie IVf-6 van de Meerssen Kalksteen (figuur 2-5), de Berg en Terblijt Horizon, vormt hiervan de basis. Sectie IVf-7 telt tot zeven sets van kleilagen (figuur 5-7), die voorzien werden van letters: A tot en met G.



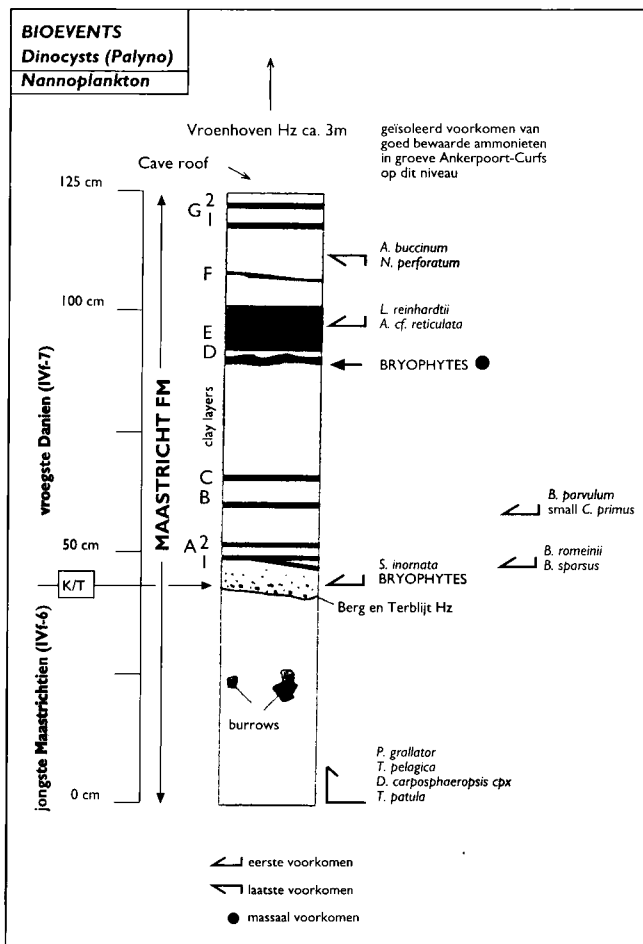
FIGUUR 2. Het profiel ontsloten in de Ankerpoort-Curfs groeve (Geulhem), met aanduiding van de Berg en Terblijt (= K/T-grens in de huidige interpretatie) en Vroenhoven horizons.

In deze sets waren weer onderverdelingen mogelijk, aangeduid met een letter/cijfercombinatie, bv. A1, A2 etc. In december 1992 werden twee complete sets monsters genomen, die te boek staan als de 'Amsterdam set' en 'Utrecht set'.

Hieronder zullen de resultaten, zoals gepresenteerd in de diverse hoofdstukken, kort de revue passeren. Voor diegenen die meer wil weten wordt verwezen naar de afzonderlijke hoofdstukken, die ook vele literatuurverwijzingen bevatten.

EEN HISTORISCH OVERZICHT

JAGT et al. (1996) schetsen een historisch beeld: de litho- en biostratigrafie van het type Maastrichtien en de daaropliggende vroegtertiaire kalkstenen wordt in een historisch kader geplaatst. Illustere (amateur) geologen en paleontologen, zoals Binkhorst van den Binkhorst en Ubaghs, hielden zich al bezig met dit thema, en kwamen vrijwel meteen in conflict met een zekere Triger, een Fransman die blijkbaar de eer toekomt als eerste de bovenste lagen gelijkgesteld te hebben met de 'Tuffeau de Ciply' in zuidelijk België (Bekken



FIGUUR 3.
Het 'standaardprofiel'
voor de Geulhemmer-
berg secties met
aanduiding van diverse
kleilagen en
biologische fenomenen
(veranderd naar SMIT
& BRINKHUIS, 1996);
burrows = graafgan-
gen.

ven-Riemst werden de bovenste 3 m van de sectie in 1982 door Moorkens aangeduid als 'Bunde Kalk' en gelijkgesteld met de 'Calcaire de Mons' op basis van gesteentekennmerken en foraminiferenfauna's.

Niet veel later, in 1986, toonde Verbeek aan dat de onderste meters van de Albertkanaal sectie van vroeg Danien ouderdom waren en dat zich een groot hiaat in de Geulhem Kalksteen bevond, en het bovenste deel een laat Danien of vroeg Thanetien ouderdom had. Ook Voigt, op basis van bryozoenfauna's, viel in 1987 de overeenkomst op tussen fauna's uit de Tuffeau de Ciply en het hoogste deel van de Geulhem Kalksteen bij Vroenhoven-Riemst. Op basis van zee-egelfauna's kwam ook Van der Ham in 1988 tot deze conclusie.

DE SEDIMENTEN: WAT LIGT ER EN HOE KOMT HET DAAR ?

Sedimentologische aspecten van de Geulhemmerberg sectie worden door ROEP & SMIT (1996) uitgebreid besproken. Ze presenteren een gedetailleerd beeld van de sedimentatie-fenomenen in secties IVf-6 en IVf-7 van de Meeressen Kalksteen en in het onderste deel van de Geulhem Kalksteen in de groeve Ankerpoort-Curfs, en noteren de invloed van periodieke stormactiviteit. Hun 'unit b' (= IVf-7) bereikt een maximale dikte van ca. 4 m, en vertoont een duidelijke gelaagdheid als gevolg van afgenomen graafactiviteit (bioturbatie). Ongeveer 1.5 m boven de basis van deze eenheid komen kleine, dunne klei 'flakes' voor, direct gevolgd door parallel-gelaagde, iets grovere kalkarenieten, met enkele graafgangen. Zij veronderstellen een paleoreliëf (= eertijds hoogteverschil) van 7.5 m hoogte. Oostelijk en westelijk van dit topografische hoog treden depressies op, die momenteel in de Ankerpoort-Curfs en Geulhemmerberg secties zijn ontsloten. Het oppervlak van dit paleoreliëf werd oorspronkelijk gevormd door de Berg en Terblijt Horizon met de meest intensieve bioturbatie op de hoogste plaatsen, wat een onderwater (subaqueous) reliëf veronderstelt. De depressies aan weerszijden werden later opgevuld door een 0-4 m (soms zelfs 5 m) dik sedimentpakket van 'unit b' en Geulhem Kalksteen. In de hoogste delen vallen de Berg en Terblijt en Vroenhoven horizonten samen. Samenvattend merken Roep & Smit het volgende op: De Berg en Terblijt Horizon vertegenwoordigt een onderzees hiaat in het

van Mons). Uhlenbroek (in 1912) was de eerste die een werkbare onderverdeling van het kalkpakket voorstelde, maar hij vermeed (bewust of onbewust?) de discussie over de K/T-grens.

Tot het midden van de vijftiger jaren bleef het rustig: Jan Hofker, die zich met name toelegde op foraminiferen (mariene kalkschalige ééncelligen), was van mening dat het type Maastrichtien gelijk te trekken was met het type Danien (zie boven). Hofker werd door een aantal auteurs stevig aangepakt, onder wie Berggren en Meijer, die opmerkten dat Hofker een aantal soorten planktonische foraminiferen verkeerd had gedetermineerd. Hofker's conclusies stoelden dus op niets. In dezelfde periode bestudeerde Wienberg Rasmussen macrofaunas, en met name stekelhuidigen (zeesterren, zee-egels e.d.), en zag, in navolging van Triger (zie boven) de grote overeenkomst tussen de 'Tuffeau de Ciply', het 'Post-Maastrichtien' van Maastricht en omgeving, en het type Danien.

In 1971 bevestigde Moorkens Berggren's en Meijer's determinaties van Hofker's planktonische foraminiferen; hij kwam tot de conclusie dat de hardground tussen de Maastricht

en Houthem formaties een hiaat omvatte.

Pas in 1975 werd een lithostratigrafische indeling in formaties en 'members' (of: afzettingen) voorgesteld (FELDER, 1975), die aan alle internationale regels voldeed. In dit schema is de Vroenhoven Horizon de basis van de Geulhem Kalksteen, die samen met de Bunde en Geleen Kalkstenen de Houthem Formatie vormt. Het stratotype van de Geulhem Kalksteen werd gedefinieerd in de groeve Curfs (Geulhem, ontsluiting 62A-13). Veel latere auteurs houden deze indeling aan. Het hiaat op de Vroenhoven Horizon werd door Čepk en Moorkens in 1979 als volgt gekenschetst: in het Limburgse startte de Danien-sedimentatie pas in de *Globigerina daubjergensis* Zone (een planktonische foraminifeer), hetgeen inhield dat de *Globoconusa eugubina* Zone (eveneens een planktonische foraminifeer) niet vertegenwoordigd was. De top van de Maastricht Formatie, die zij aanduiden als het 'post *Nephrolithus frequens* interval' (kalkschalig nannoplankton), beschouwden zij als jonger dan de Maastrichtien afzettingen in Stevns Klint (Sjælland, Denemarken).

In de helaas grotendeels ter ziele gegane ont-sluitingen langs het Albertkanaal bij Vroenho-

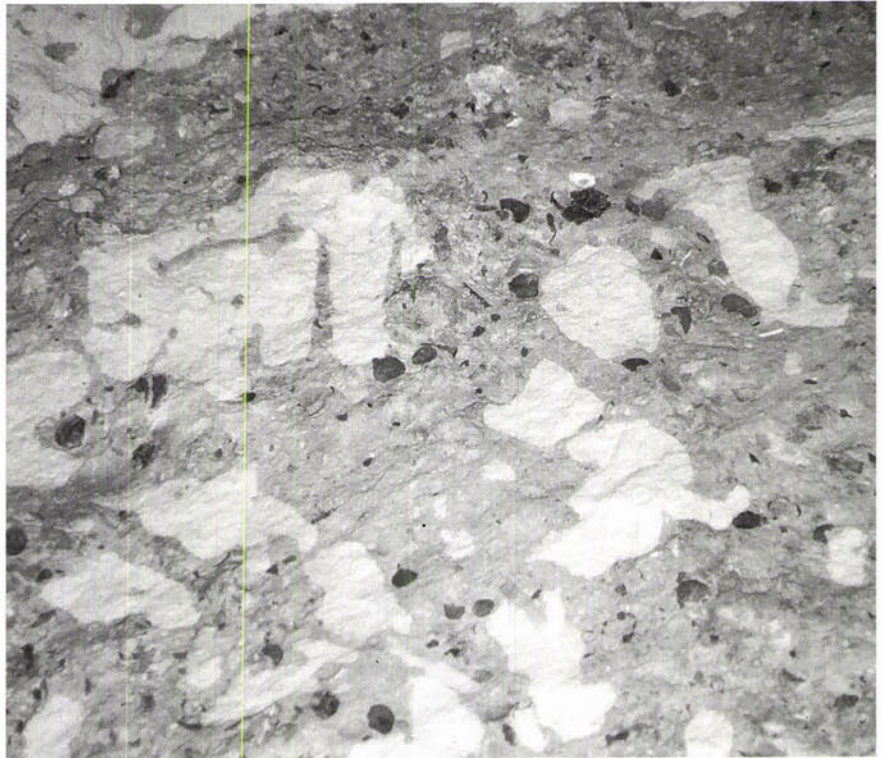
jongste Maastrichtien, en het onregelmatige oppervlak en paleoreliëf met hoogtes en dieptes wordt geacht het resultaat te zijn van bioerosie in relatief ondiep water. De hardground markeert een periode zonder afzetting. De sedimentatie start opnieuw bij de opvulling van de depressies van het paleoreliëf met grof materiaal. Dit veronderstelt een ondieper milieu boven de hardground, minder beschermd tegen stormgolven, of een tijdelijke toename in stormenergie. De opvulling van de hardground depressies vond plaats in episodes, wat kan worden afgeleid uit het voorkomen van dunne klei-inschakelingen. Het dunner en fijner worden van de opvullingen naar de E-klei toe doet vermoeden dat het afzettingsmilieu dieper werd of een meer beschermde plaats innam.

Als het overheersende proces rond de K/T grens wordt episodische stormgolf-activiteit in dieper water met een geschatte diepte van 20 tot 40 m gezien.

Roep & Smit wijzen op de zeldzaamheid van bioturbatie, het bewaard blijven van sedimentatiestructuren en het voorkomen van relatief dikke kleilagen; dit alles suggereert uitzonderlijke omstandigheden tijdens de afzetting van sectie IVf-7. Deze kunnen moeilijk worden verklaard, maar zijn niet geheel onverenigbaar met sedimentatie direct na de Chicxulub meteoriet inslag (Yucatán, Mexico). De Vroenhoven Horizon, die in de Geulhemmerberg sectie c. 3 m hoger boven de E-klei zit, wordt als een zogenaamde 'derde orde sequentie grens' (Da-I) gezien. De secties IVf-6 en IVf-7 worden beschouwd als jongste Maastrichtien-oudste Danien 'derde orde highstand' afzettingen. Op die manier kunnen ze vervolgens aan een wereldwijd beeld van zeespiegel-stijgingen en dalingen gekoppeld worden. Op basis van micropaleontologische (met name foraminiferen) en palynologische (dinoflagellaten) gegevens wordt aangenomen dat de Vroenhoven Horizon een behoorlijk hiaat representeert.

SEDIMENTEN ONDER DE MICROSCOOP

ZIJLSTRA *et al.* (1996) hebben dungezaagde plakjes sediment aan een uitgebreide 'microfacies analyse' onderworpen. De verschillen in tijd en ruimte die optraden tijdens de sedimentatie en de omstandigheden tijdens de vroegste fases van 'steenworden' (diagenese) hopen ze hiermee te kunnen vangen. Periodes van afzetting (cycli) in de Meerssen



FIGUUR 4. De Berg en Terblijt Horizon ontsloten in het plafond in één van de gangen in de Geulhemmerberg: grofkorrelig fossielgruis met veel oesterschelpen (donkere schijfjes) en verspreide belemnieten.

Kalksteen zijn beïnvloed door precessie (= periodieke tolbeweging van de aarde; zie LANGEREIS & HILGEN, 1996), resulterend in variaties in hydrodynamische energie en in sedimentatiesnelheid.

De microfacies-verdeling voor de Geulhemmerberg sectie toont volgens de auteurs aan dat sedimentatie hier plaatsvond onder hogere hydrodynamische energie en in dieper water dan in de Ankerpoort-Curfs sectie. Hier en daar komen oplossingsverschijnselen voor in de microfacies die mogelijk het gevolg zijn van doorsijpelend regenwater tijdens (korte periodes van) droogvallen. De ingeschakelde kleilagen, ondanks het feit dat ze volle-zee-microfossielen bevatten, sedimenteerden onder zeer lage golfenergie, in zeer ondiepe mariene depressies die alleen tijdens stormen werden beïnvloed.

De gebrekkige kennis van zijwaartse (laterale) facies-variatie bemoeilijkt de interpretatie van sedimentologische aspecten van K/T secties in het Maastrichtien type gebied. Dat blijkt ook voor het gebied rond Geulhem. Kleine of lichtgewicht fossielen representeren waarschijnlijk niet zo zeer de oorspronkelijke fauna's die ter plekke leefden, maar eerder het transportproces en hydrodynamische sortering.

Mogelijk is de golfenergie ook afgezwakt

door zeegras-begroeiing van de zeebodem. De grote dikte van het hoogste deel van de Meerssen Kalksteen komt overeen met wat in Denemarken, Noord-Spanje en Zuid-Frankrijk te zien is. Deze toename is mogelijk gekoppeld aan een wereldwijde toename in tectonisch veroorzaakte onderaardse bewegingen, zoals bijvoorbeeld de Deccan Traps vulkanische 'events'. Het kan hierbij echter ook gaan om een geleidelijke toename in daling, of een door klimaat beïnvloede snelle toename in afvoer van het land en sedimentproductie; dit zal nog nader bekeken moeten worden.

ZIJLSTRA *et al.* (1996) geven een interpretatie van de onderzochte sedimenten als zeer kustnabij de voorkeur, dit in tegenstelling tot ROEP & SMIT (1996), die een diepte van 20-40 m aannemelijk achten.

'GROTE' FOSSIELEN EN HUN STRATIGRAFISCHE WAARDE

Op basis van met name ammonieten en belemnieten stelt JAGT (1996) voor het hoogste deel van de Meerssen Kalksteen gelijk te stellen met de terminus Zone (naar *Menuites terminus*, een ammoniet) uit Spaans en Frans

Baskenland (Baai van Biscaye secties), en de *casimirovensis* Zone uit Denemarken en Polen. Een speciale groep van tweekleppigen, de inoceramiden, levert daarbij extra informatie. Sektie IVf-7 van de Meeressen Kalksteen zou kunnen corresponderen met de 'Cerithium Kalk' in de Deense profielen (met name de Stevns Klint kliffen), omdat typische vroeg Danien soorten onder de zeesterren en zee-eegels pas boven de Vroenhoven Horizon voorkomen.

De vondst van goed bewaarde ammonieten (met perfecte mondranden) direct onder de Vroenhoven Horizon, en dubbelkleppig bewaard gebleven inoceramiden halverwege sectie IVf-7 (JAGT & FRAAYE, 1995) is opmerkelijk. Zijn dit beesten die de ramp overleefden? Ook hier is nog meer veldwerk nodig in de nabije toekomst.

BODEMBEWONENDE EENCCELLIGEN: BENTHISCHE FORAMINIFEREN

Benthische foraminiferen van de Geulhemmerberg, verzameld uit acht kleilagen, worden door KUHNT (1996) onder de loep genomen, om te zien welke veranderingen er optreden in het getalsmatig voorkomen van de verschillende soorten en de algehele soortensamenstelling. Kleilagen A tot en met D worden gekenmerkt door opmerkelijke associaties met grote aantallen kleine spiraalgewonden vormen die lijken op moderne epifaunale fyto-detritus-etende gemeenschappen. Deze zijn goed aangepast aan een omgeving met een verminderd voedselaanbod, dat seizoensgebonden of onregelmatig is. Dergelijke opportunistische soorten konden hier goed gedijen.

Een andere, typische associatie met grote aantallen kleine, in de bodem levende types zoals *Tappanina selmensis*, *Reussella* ex gr. *europaea*, *Buliminidae* en *Bolivinitidae* kenmerken het hoogste deel van de Geulhemmerberg sectie (kleilagen E en F). Deze associatie heeft veel weg van moderne gemeenschappen met een verhoogd voedselaanbod voor benthische organismen en licht zuurstofarme omstandigheden op de zeebodem. Het voorkomen van dergelijke 'hoge-productiviteit' benthische foraminiferen valt samen met een duidelijke toename in *Thoracosphaera* cysten (kalkschalige dinoflagellaten) en zou een belangrijke fase in het herstel van het mariene ecosysteem na de K/T-

grens kunnen representeren. Dergelijke foraminiferen kwamen het eerst voor in ondiepe milieu's en pas later in dieper water.

NOGMAALS BENTHISCHE FORAMINIFEREN

WITTE & SCHUURMAN (1996) nemen de kalkschalige benthische foraminiferen van de Geulhemmerberg voor hun rekening en zien geen drastische fauna-veranderingen over de K/T-grens heen. Een aantal paleocene soorten, die echter zeer zeldzaam zijn in hun monsters, maken het mogelijk de grens te leggen tussen monsters G2A en G2B (± Berg en Terblijt Horizon). Iets hoger in de sectie bevindt zich het eerste voorkomen van *Tappanina selmensis*, die een dieper worden van het milieu aangeeft.

De auteurs onderscheiden een aantal duidelijke 'events', die duiden op het eerste voorkomen van een aantal typische paleocene soorten. Desondanks is er ook veel omwerking van Krijt-soorten te constateren: als deze uit de gegevens wordt gefilterd, ligt op basis van benthische foraminiferen de K/T-grens in de Geulhemmerberg aan de basis van monster G2B.

PLANKTONISCHE FORAMINIFEREN

De drijvende neefjes van de voorgaande groep worden door SMIT & ZACHARIASSE (1996) opgesomd; ze komen alleen voor in de basale paleocene kleilagen. Deze worden gecorreleerd met de wereldwijd gebezigde zone PO, omdat kenmerkende paleocene planktonische soorten nog ontbreken, terwijl paleocene nannofossielen en dinoflagellaten associaties wel al vertegenwoordigd zijn in deze lagen. Dit komt overeen met de situatie in de K/T-grens kleien in El Kef (Tunisië) en in Agost en Caravaca (Spanje). De planktonische associaties zijn niet erg divers, maar wel vergelijkbaar met PO associaties in Nye Kløv (Jylland, Denemarken), met als overheersende soort *Heterohelix globulosa* (Ehrenberg).

De uitzonderlijk goede preservatie van deze foraminiferen en de 'abnormaal' hoge percentages suggereren dat ten minste vijf soorten van generalisten onder de kretaceïsche soorten overleefden tot in zone PO, zoals ook al is aangetoond in Caravaca, El Kef en Nye Kløv. Omdat planktonische foraminiferen in

onder- en bovenliggende lagen echter ontbreken kan niet worden beoordeeld of deze faunas in de PO kleilagen zijn verarmd in vergelijking met laat-kretaceïsche faunas.

Hun conclusies zijn als volgt:

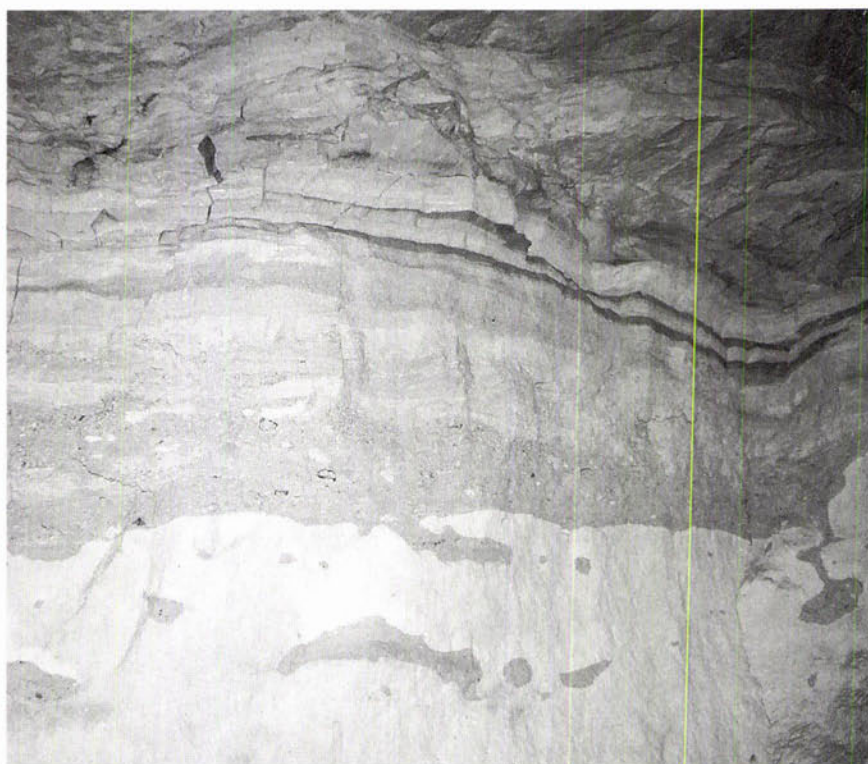
- planktonische foraminiferen kunnen niet eenduidig de K/T-grens in de Geulhemmerberg aangeven;
- kenmerkende paleocene planktonische soorten komen niet voor in de kleilagen, hoewel een paleocene ouderdom wordt gesuggereerd door benthische foraminiferen, kalkschalige en organische dinocysten en nannofossielen, en door de algemene lithologische opeenvolging. Dit is een indirect bewijs dat de Geulhemmerberg-kleilagen tot zone PO kunnen worden gerekend;
- ten minste 5 soorten hebben waarschijnlijk de K/T meteoriet inslag 'event' overleefd, maar het kan niet vastgesteld worden of deze slechts een deel van de laat-kretaceïsche faunas representeren of niet;
- de hoge P/(P+B) ratio [aandeel planktonbenthos] in de E-klei veronderstelt een relatief hoge mortaliteit onder benthische foraminiferen als gevolg van de K/T-event;
- de E-klei is mogelijk in 'echte tijd' (chronostratigrafisch) zo goed als identiek aan de K/T-klei elders.

DINOFLAGELLATEN & CO.

BRINKHUIS & SCHIÖLER (1996) bespreken de palynologie van de Geulhemmerberg sectie, waarvan rijke en goed bewaarde associaties bekend zijn. Stratigrafisch belangrijke dinoflagellaten cysten tonen aan dat het onderste deel (= IVf-6) van deze sectie het jongste Maastrichtien vertegenwoordigt, en dat een vroeg Danien ouderdom kan worden toegeschreven aan sedimenten boven de Berg en Terblijt Horizon, vooral op basis van het voorkomen van de soort *Senoniasphaera inornata* (figuur 3).

Op basis van kwantitatieve palynologische analyse worden de sedimenten gezien als relatief marginaal marien, 'inner neritic' (= epineritisch, 0-40 m water diepte), met dichtbijgelegen landmassa's die een belangrijk terrestrisch aandeel verzorgden in de associaties.

Bijna alle palynologische elementen van het land afkomstig zijn mogelijk van Bryophyta (mossen). Hun plotseling toename op de K/T-grens kan in verband worden gebracht met een toegenomen zeewaarts transport vanaf de kustvlakte, en/of kan het een grote veran-



FIGUUR 5. Het bovenste deel van de Meerssen Kalksteen, de Berg en Terblijt Horizon met grofkorrelig gruis erboven en een aantal kleilagen in de Geulhemmerberg.

dering in het ecosysteem op het land aanduiden. Veranderingen in de palynomorfen-verdeling zijn waarschijnlijk grotendeels veroorzaakt door veranderende hydrodynamische omstandigheden, mogelijk gecombineerd met iets wisselende waterdieptes en/of de introductie van beperktere mariene omstandigheden.

De auteurs beschouwen de dinoflagellaten-gedomineerde associaties uit de grofkorrelige eenheid direct boven de Berg en Terblijt Horizon als vertegenwoordigers van de hoogste graad aan hydrodynamische energie in de Geulhemmerberg sectie, gesitueerd direct boven een hiaat. Dit idee correspondeert goed met wat ROEP & SMIT (1996) en ZIJLSTRA *et al.* (1996) voorstellen: zij interpreteren de sedimentologie in termen van variabele hydrodynamische energie veroorzaakt door variabele stormactiviteit en -intensiteit. Het hogere relatieve aandeel van de *Spiniferites*-groep in monster G2A ondersteunt het idee dat deze hardground (= Berg en Terblijt) een relatieve transgressie kan voorstellen, volgend op een korte-duur zeespiegel-daling. Een zelfde *Spiniferites* piek boven de E- klei zou een relatief zeespiegel-hoog kunnen aantonen.

Deze pieken zijn mogelijk aanwijzingen voor intervallen met maximale invloed van de

open zee. De twee gesteentetypen in de Geulhemmerberg sectie, kalkarenieten en kleien, verklaren de duidelijk verschillende palynologische associaties.

KALKSCHALIGE DINOCYSTEN

Een totaal van 31 vormsoorten van kalkschalige dinocysten wordt door WILLEMS (1996) onderscheiden voor de Geulhemmerberg sectie, waarvan er 22 de K/T-grens lijken te overleven. Acht soorten komen voor het eerst voor boven deze grens.

De verspreiding van twee groepen, de Oblitophionelloideae en de Orthophionelloideae, is afhankelijk van de lithofacies (= gesteentetype). De diversiteit is het hoogst in de kleilagen, met name in de A-, B-, C- en E-kleien. Helaas is nog te weinig bekend over kretaceïsche en paleocene kalkschalige dinoflagellaten om zelfs maar de K/T-grens te kunnen herkennen.

Het meest opvallend is de spectaculaire toename in het aantal soorten direct boven de Berg en Terblijt Horizon, wat mogelijk samenhangt met K/T-grens event(s). De cyclische verspreiding in diversiteit zou mogelijk kunnen samenhangen met veranderingen in

de zeespiegel: maxima vallen dan samen met diversiteit maxima in de genoemde kleien. Heel aardig is verder de introductie door WILLEMS (*in prep.*) van een nieuw geslacht van kalkschalige dinoflagellaat: *Geulhemmerbergia*, uiteraard genoemd naar de nieuwe K/T-grens lokaliteit.

KALKSCHALIG NANNOPLANKTON

In lichtmicroscopische analyses hebben ROMÉIN *et al.* (1996) het kalkschalig nannoplankton van de Geulhemmerberg geanalyseerd en tonen de laat Maastrichtien *Nephrolithus frequens* Zone en vroeg Danien *Biantholithus sparsus* Zone aan, gescheiden door een hiaat dat het vroegste Danien omvat.

Analyse van de monsters met behulp van scanning electronen microscopie (SEM) toont echter aan dat de soorten *Neobiscutum romeinii*, *N. parvulum* en kleine vormen van *Cruciplacolithus primus*, soorten die tot dusver alleen uit het vroege Danien zijn gemeld, voorkomen door de gehele sectie! Als deze *in situ* (= niet verspoeld of omgewerkt) zijn dan kan een Danien ouderdom voor de hele sectie niet worden uitgesloten.

Een vergelijking met de bioevents die in de El Kef sectie zijn herkend, maakt volgens de auteurs duidelijk dat het vroegste Danien ontbreekt in de Geulhemmerberg. Daarnaast zijn de vroeg Danien subzones sterk gereduceerd in dikte, wat wordt toegeschreven aan het uitblijven van sedimentatie ('non deposition') en niet aan condensatie.

HET MAGNETISME GEMETEN

Monsters genomen uit zes kleilagen worden door LANGEREIS (1996) onderworpen aan paleomagnetische metingen. In tegenstelling tot wat verwacht mocht worden, op basis van alle andere K/T secties ter wereld (chron C29R, 65.6-64.7 miljoen jaar geleden), leveren alle monsters echter een normale (= niet-omgekeerde) polariteit op. Mogelijk is de normale polariteit veroorzaakt door een relatief korte periode van 'ontspanning' van de magnetische mineralen die de magnetische velden deed samenvallen met het hedendaagse veld. Vanwege de uitzonderlijke kwaliteit van de sedimenten (zie ook 'Moleculaire fossielen' hieronder) in de Geulhemmerberg sectie lijkt dit de meest plausibele verklaring.

STABIELE ISOTOPEN

Voor een analyse van stabiele isotopen (= natuurlijk voorkomende radioactieve deeltjes) gebruiken SCHMITZ & SPEIJER (1996) bulkmonsters (sedimentmonsters) en goed bewaarde benthische foraminiferen. Deze vertonen geen of zeer kleine variaties over de K/T-grens heen. Vergelijking met Deense secties waar duidelijke isotopen-veranderingen optreden (o.a. 2-3 °C afkoeling) in de onderste P0 zone, toont aan dat een klein hiaat optreedt aan de basis van de Geulhemmerberg sectie. Dit komt dus goed overeen met andere gegevens, zoals het ontbreken van een sterk afwijkend iridium gehalte (Ir anomalie) en van geschokte kwarts.

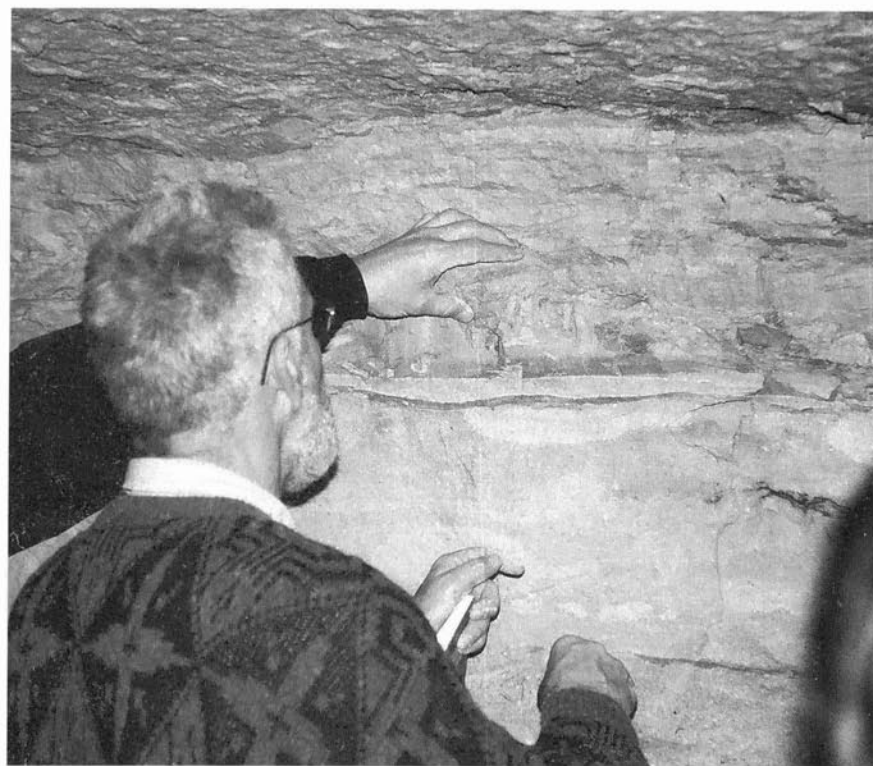
Zuurstof isotopen verkregen uit bulk monsters en benthische foraminiferen uit de Geulhemmerberg sectie tonen vol-mariene omstandigheden voor het hele profiel aan. Het ontbreken van een duidelijk isotopen-signaal aan de K/T-grens kan mogelijk toegeschreven worden aan opwerking van laat-kretaceische foraminiferen. De uitzonderlijke bewaringstoestand van planktonische foraminiferen en vroeg paleoceen dinoflagellaten in de kleilagen laat zien dat de zaken minder eenvoudig liggen.

MOLECULAIRE FOSSIELEN

De moleculaire paleontologie wordt besproken door YAMAMOTO *et al.* (1996), die opmerken dat moleculaire organische geochemie een waardevol instrument is in reconstructies van paleomilieus. Het voorkomen van ingewikkelde organische verbindingen illustreert de extreme 'onrijpheid' (immatu-riteit) en de perfecte bewaringstoestand van de unieke K/T sedimenten in de Geulhemmerberg sectie.

ANORGANISCHE CHEMIE: WEL OF GEEN IRIIDIUM-PIEK?

SMIT & ROCCHIA (1996) bekijken de Geulhemmerberg sectie op zoek naar (sporen) elementen met gebruikmaking van INAA (instrumental neutron activation analysis), steunend op 22 monsters. Hierin werden 27 elementen aangetroffen, maar er is geen afwijkend iridium aandeel (Ir anomalie) gevonden. Als de gevonden waarden tegen Th (thorium) worden genormaliseerd dan is een indicatie van iets verhoogde Ir (en Cr, chroom) con-



FIGUUR 6. Sedimentologisch onderzoek (Tom Roep, Vrije Universiteit Amsterdam, op de rug gezien) in de Geulhemmerberg.

centraties direct onder de K/T grens, mogelijk als gevolg van diffusie naar beneden, of transport, van een eertijds wel aanwezige laag van zogenaamde ejecta (= producten afkomstig van een meteorietinslag).

De relatief hoge Sr (strontium) waarden in de kleien tonen aan dat deze beschermd waren tegen diagenese. Tijdens de sedimentatie van de kleilagen was het zeewater zuurstofarmer.

STRONTIUM (Sr) ISOTOPEN STRATIGRAFIE

VONHOF & SMIT (1996) stellen een $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ profiel (verschillende strontium isotopen) op voor het Maastrichtien zoals ontsloten in de groeves ENCI Nederland BV en Ankerpoort-Curfs en in de Geulhemmerberg. Dit vergelijken ze met profielen van laat Maastrichtien-vroeg Danien zeewater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ curves voor Bidart (Zuid-Frankrijk) en El Kef; dit resulteert in een bruikbaar chronostratigrafisch beeld. De sedimentatiesnelheid ligt rond 10 cm per 1000 jaar voor de bovenste 30 m van het Maastrichtien in het gekombineerde ENCI-Curfs profiel. Het lijkt er op dat, ondanks de diagenese, de fossielen uit genoemde groeves voor een deel hun oor-

spronkelijke zeewater strontium isotopen ratios behielden.

Analyses van goed bewaarde planktonische foraminiferen uit de E-klei ondersteunen de vroeg Danien ouderdom van deze klei, en bevestigen het beeld dat de planktonische foraminifeer *Heterohelix globulosa* de K/T event zeker 5.000-50.000 jaar overleefde. Deze tijdsduur komt overeen met de tijd die nodig was voor de afzetting van de iridiumhoudende K/T grensklei elders (El Kef, Bidart).

HET EINDOORDEEL

SMIT & BRINKHUIS (1996) combineren alle sedimentologische, biostratigrafische, geochemische en paleomagnetische analyses, plaatsen deze in een wereldwijd K/T kader, en reconstrueren de volgende opeenvolging van gebeurtenissen:

- 1 sedimentatie van marginaal-mariene laat Maastrichtien kalkarenieten en vorming van een paleoreliëf (proto-hardground = Berg en Terblijt Horizon aan de top van IVf-6);
- 2 sedimentatie van de jongste Maastrichtien kalkarenieten;



FIGUUR 7. Graafgangen (met donker gekleurd sediment gevuld) in het bovenste deel van de Meerssen Kalksteen, de Berg en Terblijt Horizon en de tot ca. 15 cm dikke kleilagen in sectie IVf-7 in de Geulhemmerberg.

- 3 een K/T storm- of 'hypercane'-gebonden 'schoonwassen' van de paleoshelf en het daarmee gekoppelde wegvoeren van de jongste Maastrichtien en oudste Danien afzettingen, inclusief een iridium-houdende laag;
- 4 storm-gerelateerde opvulling van paleodepressies in het laat Maastrichtien paleoreliëf door kalkarenieten en kleien tijdens de P0 zone tijdens afnemende storm-intensiteit.

Alleen het kalkschalig nannoplankton en de ammonieten vallen uit de toon, en dit behoeft verdere studie.

De conclusie is dat de Geulhemmerbergsectie een nog niet eerder geziene, uitgebreide vroegste Tertiair opeenvolging in Limburg omvat, die een schat aan informatie bevat voor een reconstructie van omstandigheden tijdens de eerste honderden jaren na het massale uitsterven op de K/T-grens.

Als aanvulling op YAMAMOTO *et al.* (1996) vermelden SMIT & BRINKHUIS (1996) dat monsters van direct onder de Berg en Terblijt Horizon een ander 'moleculair fossiel' hebben opgeleverd, dat mogelijk werd gevormd door bacteriën tijdens een uitgebreid zuurstofloos gistingsproces (fermentatie). Deze

fermentatie vond mogelijk plaats in grote opeenhopingen van organisch materiaal op de zeebodem, als resultaat van het massale uitsterven in het mariene ecosysteem. Hetzelfde moleculaire fossiel is ook aangetroffen in El Kef, en is daar beperkt tot een aantal centimeters klei direct boven de K/T-grens. Dit wordt dus een goede 'biomarker'. Een vergelijkbare basale kleilaag met dit fossiel is niet aangetroffen in de Geulhemmerbergsectie; ze kan geërodeerd zijn vóór de afzetting van IVf-7 in de depressies van het paleoreliëf.

SMIT & BRINKHUIS (1996) stellen zich tot slot het volgende scenario voor om de K/T-gebeurtenissen in het Limburgse te vangen:

VOOR DE CHICXULUB METEORIETINSLAG

In een warme, (sub)tropische en ondiepe zee ontstaan de laat Maastrichtien fossielrijke, grofkorrelige kalkstenen, boven storm golfbasis. Hoge sedimentatiesnelheden (10 cm per 1000 jaar) zijn gerelateerd aan snelle daling van het gebied tijdens het late Krijt. De Berg en Terblijt Horizon ontstaat als mogelijk gevolg van een derde-orde zeespiegel

daling in het late Maastrichtien, of van Milan-kovitch-cycli gerelateerde processen, of van afgenomen sedimentatie ten gevolge van snelle daling, of een combinatie van al deze factoren. Het reliëf van deze hardground loopt plaatselijk op tot ten minste 2.5 m. Normaal gesproken zouden dergelijke door allerlei organismen aangeboorde en verharde structuren niet overleven in een door stormen gedomineerde omgeving. Het feit dat ze er wel nog zijn, toont aan dat de K/T-events ervoor gezorgd hebben dat ze bewaard zijn gebleven. Het is mogelijk dat jongste Maastrichtien sedimenten en fossielen zijn 'neergedruppeld' op deze horizon vlak vóór de K/T event.

TIJDENS DE INSLAG EN DIRECT DAARNA

Tijdens de inslag ligt de Berg en Terblijt Horizon open op de zeebodem, met zijn geassocieerde reliëf, wat kan worden afgeleid uit het feit dat de graafgangen onder deze horizon zijn gevuld met glauconiet en grove kwartskorrels: een sediment dat compleet verschilt van een sediment dat de depressies opvult. De zogenaamde 'fall-out' van de Chicxulub inslag (kleine microkristieten, geschokte mineralen en Ir-rijk stof) moet binnen een aantal weken op aarde zijn neergedruppeld. Niets hiervan is boven de Berg en Terblijt Horizon te vinden, met uitzondering van de licht gestegen Th-waardes in en direct onder deze horizon.

Alle modellen die recentelijk zijn voorgesteld om de situatie direct na impact te verklaren, onder meer met super-wervelstormen ('hypercanes'), voorspellen een grote daling in temperatuur, gevolgd door een periode van duidelijke opwarming door toename van CO₂ in de atmosfeer (het welbekende broeikaseffect). De koud-water dinoflagellaten die naar het zuiden migreerden direct na de inslag en warm-water neefjes in omgekeerde richting iets later bevestigen dit beeld. Profielen van zuurstof-18 isotopen doen hetzelfde.

De gastredacteurs nemen aan dat de sectie zoals die is aangetroffen in de omgeving van Geulhem het best verklaard kan worden door het gecombineerde effect van een plotselinge zeespiegel-daling en meerdere fasen (hypercane) van storm-sedimentatie van grof materiaal, gevolgd door een neergedruppelen van de fijne fractie. Het ontbreken van warm-

water (Tethys) dinocysten in de kleilagen en de piek van Bryophyta-sporen, die mogelijk een mosrijke, toendra-achtige vegetatie doen vermoeden, suggereert dat de meer dan 1.4 m dikke depressie-opvullingen van kalkarenieten en kleien, en mogelijk de gehele sectie IVf-7 tussen de Berg en Terblijt en Vroenhoven horizons, plaatsvond na de afzetting van iridium-rijk stof, maar vóór de periode van opwarming.

TOT SLOT

Exemplaren van het genoemde themanummer van *Geologie en Mijnbouw* zijn te verkrijgen voor f 45,00 (inclusief porto) bij:

- Universiteit Utrecht, Laboratory of Palaeobotany and Palynology, Budapestlaan 4, 3584 CD Utrecht, tel. 030-253 2629)
- het Natuurhistorisch Museum Maastricht, de Bosquetplein 6-7, 6211 KJ Maastricht (openingstijden: ma-vr 10-12.30, 13.30-17 u; za/zo 14-17 u; balieprijs f 40,00).

DANKWOORD

Voor toestemming tot het betreden van de diverse groeves, het nemen van monsterseries in de Geulhemmerberg, en ondersteuning in welke vorm dan ook zijn alle auteurs in genoemd themanummer de volgende instellingen en personen erkentelijk: Ankerpoort NV Maastricht, ENCI Nederland BV-Maastricht, NWO (Stichting Geologisch, Oceanografisch en Atmosferisch Onderzoek, Den Haag), Netherlands School of Sedimentary Geology (Amsterdam), M. Blom (Berg en Terblijt), W. Miséré (Staatstoezicht op de Mijnen, Heerlen/Rijswijk) en F. Bergsteyn (Stichting de Rotswoning, Geulhem).

SUMMARY

SOUTHERN LIMBURG 65 MILLION YEARS AGO: THE RENEWED INTEREST IN THE CRETACEOUS-TERTIARY (K/T) BOUNDARY EXPLAINED

A special issue of the Dutch journal *Geologie en Mijnbouw* (volume 75, nos. 2-3), entitled 'The Geulhemmerberg Cretaceous/

Tertiary boundary section (Maastrichtian type area, SE Netherlands)', guest-edited by Dr H. Brinkhuis (Utrecht University) and Dr J. Smit (Vrije Universiteit Amsterdam), was published in December 1996.

The results of the various research projects (outlined in seventeen chapters in the volume) are summarised for the benefit of members of the 'Natuurhistorisch Genootschap in Limburg' and that of numerous (amateur) geologists and palaeontologists who take an interest in the Maastrichtian type area.

LITERATUUR

- ARCHIBALD, J.D., 1996. Dinosaur Extinction and the End of an Era. What the fossils say. [Critical Moments in Paleobiology and Earth History Series], xviii + 1-237. New York (Columbia Univ. Press).
- BARDET, N. & E. BUFFETAUT, 1996 (org.). Séance spécialisée de la Société géologique de France. La limite Crétacé-Tertiaire: aspects biologiques et géologiques. Paris, Maison de la Géologie, 2 et 3 Décembre 1996. Résumés (ongepagineerd).
- BRINKHUIS, H., 1993. Herstel van een geteisterde planeet. De ineenstorting van het leven op Aarde. 100 miljoen jaar geleden, en het herstel daarna. Mens & Wetenschap, 20(6): 384-387.
- BRINKHUIS, H. & P. SCHIÖLER, 1996. Palynology of the Geulhemmerberg Cretaceous/Tertiary boundary section (Limburg, SE Netherlands). Geol. Mijnbouw, 75(2-3): 193-213, pls 1-4.
- BRINKHUIS, H., J. SMIT, K. FICKEN, J.W. DE LEEUW, T.B. ROEP, H. VONHOF, A.J.T. ROMÉIN, J.W.M. JAGT, W.M. FELDER, C. LANGEREIS, G. KLAVER, H. WILLEMS, E. ROBIN & R. ROCCHIA, 1995. The Geulhemmerberg K/T boundary section: a window on post K/T recovery in a shallow marine setting. In: Jagt, J.W.M., Leereveld, H. & Wilpshaar, M. (reds). Programme and Abstracts, Annual Assembly of IGCP Project No. 362, Tethyan and Boreal Cretaceous, 17-18 September 1995, Museum of Natural History Maastricht: 15. Maastricht (ENCI Nederland BV).
- BRINKHUIS, H. & J. SMIT (reds), 1996a. The Geulhemmerberg Cretaceous/Tertiary boundary section (Maastrichtian type area, SE Netherlands). Geol. Mijnbouw, 75(2-3): iv + 101-293.
- BRINKHUIS, H. & J. SMIT, 1996b. The Geulhemmerberg Cretaceous/Tertiary boundary section (Maastrichtian type area, SE Netherlands): an introduction. Geol. Mijnbouw, 75(2-3): 101-106.
- CROUZEN, L., 1995. Geen spoor van meteor-materiaal in groeves. Limburgse klei verbaast wetenschap. De Limburger, 20 september 1995.
- CROUZEN, L., 1996. Krijtze Zuid-Limburg eerst onder de gril en vervolgens weggeblazen. Dagblad de Limburger, 24 december 1996.
- DIDDEN, J.M., 1996. Tektoniek, karst en speleothemen in de kalksteen van het Laat-Maastrichtien van Zuid-Limburg. Natuurhist. Maandbl. 85(4): 72-82.
- DONOVAN, S.K., 1989 (red.). Mass extinctions: Processes and evidence. xiv + 1-266. New York (Columbia Univ. Press).
- FELDER, W.M., 1975. Lithostratigrafie van het Boven-Krijt en het Dano-Montien in Zuid-Limburg en het aangrenzend gebied. In: Zagwijn, W.H. & van Staalduinen, C.J. (reds). Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland: 63-72. Haarlem (Rijks Geologische Dienst).
- FELDER, W.M. & P.W. BOSCH, 1997. Afzettingen uit het Boven-Krijt en Danien in Zuid-Limburg en omgeving. In: Geologie van Nederland. Haarlem (Rijks Geologische Dienst) (in druk).
- HART, M.B., 1996 (red.). Biotic Recovery from Mass Extinction Events. Geol. Soc. London, Spec. Publ., 102: viii + 1-392.
- JAGT, J.W.M., 1996. Late Maastrichtian and Early Palaeocene index macrofossils in the Maastrichtian type area (SE Netherlands, NE Belgium). Geol. Mijnbouw, 75(2-3): 153-162.
- JAGT, J.W.M. & R.H.B. FRAAYE, 1995. Latest Maastrichtian macrofaunas: Ankerpoort-Curfs quarry (Geulhem, The Netherlands). In: Jagt, J.W.M., Leereveld, H. & Wilpshaar, M. (reds). Programme and Abstracts, Annual Assembly of IGCP Project No. 352, Tethyan and Boreal Cretaceous, 17-18 September 1995, Museum of Natural History Maastricht: 50-52. Maastricht (ENCI Nederland BV).
- KUHNT, W., 1996. Early Danian benthic foraminiferal community structures, Geulhemmerberg, SE Netherlands. Geol. Mijnbouw, 75(2-3): 163-172, pls 1-3.
- LANGEREIS, C.G., 1996. Paleomagnetism of the Geulhemmerberg K/T boundary section, the Netherlands. Geol. Mijnbouw, 75(2-3): 239-243.
- LANGEREIS, C.G. & F.J. HILGEN, 1996. Astronomisch dateren van de geologische tijdschaal. Grondboor en Hamer, 50(5): 116-122.
- MACLEOD, N. & G. KELLER, 1996 (reds). Cretaceous-Tertiary Mass Extinctions: Biotic and Environmental Changes, xiv + 1-575. New York/London (W.W. Norton & Co.).
- ROEP, T.B. & J. SMIT, 1996. Sedimentological aspects of the K/T boundary at Geulhemmerberg, Zuid Limburg, the Netherlands. Geol. Mijnbouw, 75(2-3): 119-131.
- ROMÉIN, A.J.T., H. WILLEMS & H. MAI, 1996. Calcareous nannoplankton of the Geulhemmerberg K/T boundary section, Maastrichtian type area, the Netherlands. Geol. Mijnbouw, 75(2-3): 231-238, pls 1, 2.
- SCHMITZ, B. & R.P. SPEIJER, 1996. Stable isotope ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$) records across the Cretaceous/Tertiary boundary at Geulhemmerberg, southern Netherlands. Geol. Mijnbouw, 75(2-3): 245-253.
- SMIT, J. & H. BRINKHUIS, 1996. The Geulhemmerberg Cretaceous/Tertiary boundary section (Maastrichtian type area, SE Netherlands): summary of results and a scenario of events. Geol. Mijnbouw, 75(2-3): 283-293.
- SMIT, J. & R. ROCCHIA, 1996. Neutron activation analysis of trace elements in the Geulhemmerberg Cretaceous/Tertiary boundary section, SE Netherlands. Geol. Mijnbouw, 75(2-3): 269-274.
- SMIT, J. & W.J. ZACHARIASSE, 1996. Planktic foraminifera in the Cretaceous/Tertiary boundary clays of the Geulhemmerberg (Netherlands). Geol. Mijnbouw, 75(2-3): 187-191.
- VONHOF, H.B. & J. SMIT, 1996. Strontium-isotope stratigraphy of the Maastrichtian and the Cretaceous/Tertiary boundary in the Maastricht area (SE Netherlands). Geol. Mijnbouw, 75(2-3): 275-282.
- WILLEMS, H., 1996. Calcareous dinocysts from the Geulhemmerberg K/T boundary section (Limburg, SE Netherlands). Geol. Mijnbouw, 75(2-3): 215-231, pls 1, 2.
- WITTE, L. & H. SCHUURMAN, 1996. Calcareous benthic foraminifera across the Cretaceous/Tertiary boundary in the Geulhemmerberg (SE Netherlands). Geol. Mijnbouw, 75(2-3): 173-186, pls 1, 2.
- YAMAMOTO, M., K. FICKEN, M. BAAS, H.-J. BOSCH & J.W. DE LEEUW, 1996. Molecular palaeontology of the earliest Danian at Geulhemmerberg (the Netherlands). Geol. Mijnbouw, 75(2-3): 255-267.
- ZIJLSTRA, J.J.P., M.H.M.P. BROUWERS, H. BRINKHUIS & P.L. DE BOER, 1996. Microfacies analysis of Cretaceous/Tertiary boundary sections in the quames Geulhemmerberg and Curfs, SE Netherlands. Geol. Mijnbouw, 75(2-3): 133-151.