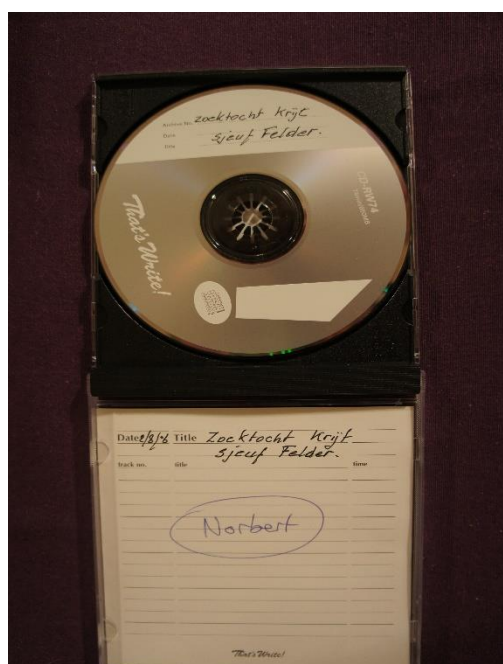


Peter Jozef (Sjeuf) Felder handed over to me the manuscript below as a personal copy.

„Zoektocht naar grenzen in het Krijt in de Ardennen, tussen Aken-Luik-Maastricht en in de Belgische Kempen.“



This manuscript has been of greatest value for me, enabling me to understand the depositional history of the late Cretaceous deposits in the type area of the Maastrichtian stage.

Unfortunately, this manuscript has not been officially published, because Sjeuf Felder died in his home town of Cadier en Keer, the Netherlands, aged 81 on 15th May 2009, nine months after finishing the manuscript at hand. For this reason, this manuscript may be regarded as a preliminary and at the same time as the conclusive version of his view and knowledge of the Maastrichtian Cretaceous. The interested reader may thus consider his legacy with due respect and overlook the small inaccuracies a reviewing process would surely have eliminated.

I am personally very happy that Felder's manuscript is now made available to a larger audience, as I personally consider it a milestone of Dutch and European geological sciences. Not necessary to mention, that without his intensive collection of data in addition to implementing the concept to use bioclasts for the identification of sea-level fluctuations and Milankovitch cyclicity, the article "A bioclast-based astronomical time scale for the Maastrichtian in the type area (southeast Netherlands, northeast Belgium) and stratigraphic implications – the legacy of P.J. Felder" would not have been possible.

In grateful memory

Norbert Keutgen

Bibliographic reference:

Felder, P.J., 2008. Zoektocht naar grenzen in het Krijt in de Ardennen, tussen Aken-Luik-Maastricht en in de Belgische Kempen. Unpublished manuscript, 113 pp. Available online at <https://doi.org/10.1017/njg2018.15>.

Zoektocht naar grenzen in het Krijt in de Ardennen, tussen Aken-Luik-Maastricht en in de Belgische Kempen.

P.J. Sjeuf Felder, Kapelweg 15, 6267 BT Cadier en Keer.

Inleiding

Na meer dan vijftig jaar onderzoek in het Krijt van Zuid Limburg en omgeving werd de behoefte om een overzicht te maken van het uitgevoerde onderzoek steeds groter. Het uiteindelijke resultaat is een overzicht geworden van lithologische en bioklastische (ecologische) grenzen. Deze veelheid aan grenzen blijkt achteraf even ingewikkeld te zijn als de ontstaanswijze van de sedimenten in de loop van zo'n slordige twintig miljoen jaar.

Het is bijzonder moeilijk om een beeld te krijgen van hetgeen in miljoenen jaren kan gebeuren. Bewegingen van de aardkorst en wijzigingen in het klimaat die tezamen gevolgen hadden op de hoogte van de zeespiegel en het leven op aarde, veranderden steeds weer het beeld. Het waren gebeurtenissen die in één mensenleven weinig betekenden, maar die in duizenden of honderdduizend mensenlevens veranderingen teweegbrachten die onvoorstelbaar groot zijn. Daar waar vroeger een dal was kan in de loop van enkele miljoenen jaren een berg ontstaan zijn of andersom. Door het ontstaan van een berg, of het verdwijnen ervan, kunnen rivieren anders gaan stromen of zeestromingen wijzigen en uiteraard kunnen andere sedimenten ontstaan of andere levensvormen aangevoerd worden of verdwijnen. De wijzigingen in twintig miljoen jaar kunnen zodoende legio zijn. Tengevolge daarvan zijn er veel grenzen ontstaan in de sedimenten die afgezet werden gedurende het laatste gedeelte van de geologische periode het Krijt.

Een van de meest spectaculaire veranderingen die gedurende het laatste gedeelte van het Krijt (het Boven Krijt) plaats vond was een tektonische inversie, die een omkering van het reliëf van de aardoppervlakte tot gevolg had. De hoger gelegen delen zoals de Ardennen en het Massief van Brabant zakten daardoor steeds dieper weg en tegelijkertijd kwam het lager gelegen gedeelte, de Roerdal slenk, geleidelijk aan omhoog. De zee verdween daardoor uit de Roerdal slenk maar veroverde met horten en stoten de Ardennen en het Massief van Brabant. Bij het einde van het Krijt kwam er een einde aan de inversie. De oorspronkelijke toestand, dat de Roerdal slenk een laagte was en de Ardennen en het Massief van Brabant een hoog waren, zou weer terugkeren. In feite waren de Krijt afzettingen die in Zuid Limburg ontstonden geologisch gezien een kort intermezzo (een inversie) van twintig miljoen jaar in de lange geologische geschiedenis van de aarde.

Het onderzoek, dat deels in mijn vrije tijd uitgevoerd werd, heeft in totaal meer dan vijftig jaar geduurd. Vergeleken met de lange geologische geschiedenis van twintig miljoen jaar is het echter een te verwaarlozen moment geweest.

De basis waar van uitgegaan werd

De basis waarop de zoektocht naar grenzen in het Krijt stoelde waren de onderzoeken van voorgangers uit voorbije tijden. De belangrijkste personen waren Staring (1860) en Ubahgs (1879) zij beschreven zeer uitgebreid de verschillende lagen en een veelheid aan fossielen die zij erin aangetroffen hadden. De belangrijkste indeling van het Krijt was voor ons (mijn broer Werner en ik) echter een vereenvoudigde indeling die opgesteld werd door Uhlenbroek (1912). Uhlenbroek vereenvoudigde de beschrijvingen van zijn voorgangers, die met behulp van de vele aangetroffen fossielen steeds uitgebreidere indelingen in de negentiende eeuw opgesteld hadden. Vooral de determinaties van de fossielen, in de fossiellijsten die gebruikt werden bij deze indelingen, zijn in het begin van de twintigste eeuw sterk in twijfel getrokken.

Uhlenbroek publiceerde daarom in 1912 tenslotte een eenvoudige indeling, waarbij hij soortgelijke symbolen gebruikte, zoals gebruikelijk was in België, om de afzonderlijke eenheden te kunnen aanduiden. De grenzen die hij aangaf in zijn beschrijving bestonden toentertijd uit afzonderlijke grenslaagjes zoals:

“Fijn grint” (Cr 2a) een laagje tussen de *“AKENSCH ZANDEN” (Cr1)* en het *“KRIJT VAN HERVE” (Cr 2)*.

Het *“Glaucónietkrijt” (Cr3a)* aan de basis van het *“Wit krijt zonder vuurstenen”*, was de grens tussen het *“KRIJT VAN HERVE” (Cr2)* en het *“GULPENSCH KRIJT” (Cr 3)*. Binnen het *“GULPENSCH KRIJT”* was het *“Grindkrijt” (Cr3y)* de top van het Cr3b en de basis van het *“Wit krijt met regelmatige lagen van zwarte vuurstenen” (Cr3c)*, en het daarop liggende *“Grof wit krijt, somtijds met veel glauconiet en bruine, grijze en zwarte vuurstenen” (Cr 4)*.

De grens tussen het *“GULPENSCH KRIJT”* en het *“MAASTRICHTS KRIJT (Mb, Mc, Md)”* werd aangegeven door het *Ma* (*“Harde kalksteenbanken”*, later Kumrader kalksteen genoemd) waarbij hij opmerkte dat bij Maastricht deze etage ontbrak, daar vormde het *“coprolithen-laagje”* de grens.

De eerste twijfels

Rond 1950 werd in het Vijlenerbosch een toeristenweg van Epen naar Vaals aangelegd. Dat gebeurde nog op een ouderwetse manier, zonder machines, dus met pikhouweel, schop en kruiwagens. Op diverse plaatsen werden daarbij insnijdingen in de bodem gemaakt. Bij de Zeven Wegen in het Vijlenerbosch werd toen een bijzondere laag ontdekt die rijk was aan fossielen, vooral aan belemnieten. Omdat Jongmans (1948) ook een laag met veel belemnieten ontdekt had in Camerig, die hij het *“Belemnietenkerkhof”* genoemd had, noemden wij de door ons gevonden laag ook het *“Belemnietenkerkhof”*. Pogingen om deze laag te plaatsen in de door Uhlenbroek gepubliceerde indeling mislukte echter, we veronderstelden toen dat wij onder het *“Belemnietenkerkhof”* een nog onbekende laag ontdekt hadden. Een bezoek aan het Geologisch Bureau, met diverse vragen omtrent het *“Belemnietenkerkhof”*, leverde echter geen bevredigend antwoord op. Een dergelijke glauconietlaag met belemnieten bevond zich volgens hen, aan de basis en de top van de Kalksteen zonder vuurstenen het Cr3a (Basis krijt) en het Cr3y (het laagje van Wahlwiller). Men ging ervan uit dat de bestaande indeling juist was en dat wij terug moesten gaan om het een en ander nauwkeuriger te onderzoeken. Men was zelfs niet bereid om met ons de plek aan de Zeven Wegen te gaan bezoeken.

In het midden van de jaren 1950 werd een nationale commissie benoemd die vooral de ouderdom van het Krijt van Limburg zou gaan onderzoeken. Van deze commissie was Bart Romein van het Geologisch Bureau te Heerlen lid evenals de heer Jan Hofker uit Den Haag. Hofker hield zich reeds lange tijd bezig met het bestuderen van foraminiferen uit het Krijt. Hij werd daarom gevraagd om de grens tussen het Campanien en het Maastrichtien te bepalen met behulp van de foraminiferen. In 1956 publiceerde hij deze grens in het zuidwesten van België en het zuiden van Nederland (Hofker 1956). Bij een nader onderzoek in Limburg bleek deze grens echter niet overal samen te vallen met het *“Belemnietenkerkhof”*. Ontdekt werd bijvoorbeeld dat de grens in Beutenaken lag bij een glauconietniveau ongeveer 10 meter onder het *“Belemnietenkerkhof”*, in een min of meer witte kalksteen met iets glauconiet. Deze kalksteen werd toen door ons Krijt van Beutenaken genoemd.

Samen met Bart Romein werd daarna een *“Werkgroep Krijtonderzoek”* opgericht binnen de geologische vereniging van Limburg. Wij zijn toen overal op zoek gegaan naar het *“Belemnietenkerkhof”* en het *“Laagje van Beutenaken”*. Er werden sleuven gegraven in het Onderste Bosch te Epen en boringen gemaakt. Via Bart Romein hadden we namelijk de

beschikking gekregen over een handboor. Er was ondertussen een goede samenwerking met het Geologisch Bureau tot stand gekomen.

Werner publiceerde in 1960 reeds 32 plaatsen waar het “Belemnietenkerkhof” was aangetroffen (Felder W.M. 1960,) en waarin hij de verscheidenheid van de lagen in het Cr3b tussen het Cr3a en het Cr3y aangegeven had (Fig. 1). Een boring in Wahlwiller (boring 62B-528) had toen al uitgewezen dat het “Laagje van Wahlwiller” (het Cr3y) niet overeenkwam met het door ons aangetroffen “Belemnietenkerkhof”. Eveneens was al eerder vastgesteld dat het “Belemnietenkerkhof” ook niet overeen kwam met het Cr3a (Basis krijt). We hadden toen al ontdekt dat meerdere glauconietlagen in het Cr3b aanwezig waren. We gingen er echter vanuit dat er maar één echt “Belemnietenkerkhof” aanwezig was. Ook was toen al vastgesteld dat het “Belemnietenkerkhof” een erosieniveau was dat de onderliggende lagen doorsneed, zodat de ondergrond in Overgeul (bij Mechelen) uit Vaalsergroenzand bestond. Nog voor het einde van de vijftiger jaren hadden we het “Belemnietenkerkhof” al ontdekt in Halembaye, België. In 1961 werd het graaf- en booronderzoek uitgebreid tot bij Gulpen. We poogden daar een profiel te vinden waarin zowel het Cr3y, het “Belemnietenkerkhof” en het Cr3a te ontsluiten was. In de holle weg naar Berghem werd naar het Cr3y gezocht. Maar een conglomeraat-achtige afzetting zoals het Cr3y, het Laagje van Wahlwiller is, konden we niet vinden. We vonden wel diverse glauconietlagen en wat volgens ons heel belangrijk was ook een glauconietlaag aan de top van de kalksteen zonder vuurstenen (plaatselijk waren er wel grijze onduidelijke vuurstenen in aanwezig). Boven deze laag lag echter de kalksteen met duidelijke zwarte vuurstenen (het Cr3c). We zijn er toen vanuit gegaan dat deze glauconietlaag, ondanks dat het geen conglomeraat was, toch overeenkwam met het Cr3y het “laagje van Wahlwiller” (Felder P.J. 1962). In totaal kon toen een profiel van het Cr3b gemeten worden in een holle weg van 50 m dikte. In de insnijding van de tramweg werden toen ook een aantal sleuven gegraven om de onderliggende lagen te onderzoeken. Daarbij kon vastgesteld worden dat alle kalksteenlagen onder het “Belemnietenkerkhof” uitwiggen. Op het diepste punt in de insnijding lag het “Belemnietenkerkhof” op het Vaalsergroenzand en was de dikte daarvan gereduceerd tot twee centimeter (Fig. 2). In de weg van Pesaken naar Crapoel werd een profiel opgenomen waar volgens interpretatie onder het “Krijt van Vijlen” het “Belemnietenkerkhof” het “Krijt van Beutenaken” en de “grenslaag Maastrichtien-Campanien” in een ruim vijf meter dikke glauconietlaag aanwezig waren (Felder P.J. 1962). Onder deze dikke glauconietlaag lag was het “witte krijt van de Zeven Wegen”, met de basis glauconietlaag” (het Cr3a) aanwezig. Overduidelijk bleek dus dat de kalksteenlagen onder het “Belemnietenkerkhof” uitwiggen.

Samen met Bart Romein en Hofker zijn we later ook op zoek gegaan naar de grens tussen het Gulpensch krijt en het Maastrichts krijt. (In 1957 hadden wij die grens overigens al op twee plaatsen ontdekt, namelijk in de Schone grub en in Cadier en Keer, omdat daar een bijzondere laag aan de top van de kalksteen met zwarte vuurstenen (het Cr4) lag). We gingen toen op zoek aan de weg tussen Stokkem en Berghem (bij Wylre). Begonnen werd boven op de berg met het graven van een putje tot de kalksteen bereikt werd. Hofker nam dan een monster en wij keken uit naar zwarte vuurstenen. Vele putjes werden gegraven en we belanden steeds dieper in de richting naar Stokkem. Daar was het overigens niet meer nodig putjes te graven maar kon volstaan worden met in de hoge wegberm de kalklagen vrij te leggen. Werner riep opeens “Ik heb de overgang, hier beginnen de zwarte vuurstenen”. Uiteraard werden ook daar monsters genomen door Hofker. Later kregen we het bericht van hem dat dit inderdaad de grens was tussen het Gulpens krijt en het Maastrichts krijt. Wij zijn daarna nog op meerdere plaatsen gaan zoeken naar deze grens.

Voorlopig een nieuwe zekerheid

Er was geleidelijk aan een ander beeld van de lithologie in het Krijt van Zuid Limburg ontstaan. In plaats van de schijnbaar eenvoudige indeling volgens Uhlenbroek hadden we te maken met duidelijk verschillende afzettingen die konden uitwijken en scharen, maar die wel doorsneden werden door enkele markante lagen of lijnen. De volgende grenslagen werden toen door ons onderscheiden :

Conglomeraatlaag van Raren (Cr2a). Deze laag vormde de grens tussen het Akens zand en het Vaalsergroenzand/Hervens krijt.

De glauconietlaag (Cr3a), aan de basis van het Cr3b. Deze laag vormde de grens tussen het Vaalsergroenzand/Hervens krijt en het Gulpens krijt.

Het Laagje van Beutenaken, een nieuwe scheidslijn tussen het “Campanien en Maastrichtien”. Voor het eerst vastgesteld door Hofker door middel van verschillende soorten foraminiferen, later door ons als een glauconietlaagje.

Het Belemnietenkerkhof, een conglomeraat die een nieuwe grenslaag vormde binnen het Cr3b en in de regel gemakkelijk te herkennen was aan de grote hoeveelheid belemnieten die erin aangetroffen werden. Waargenomen werd dat door deze laag de daaronder liggende lagen konden uitwijken tengevolge van erosie.

Het Laagje van Wahlwiller (Cr3y), een conglomeraat aan de top van het Cr3b. Ook deze grens was maar plaatselijk duidelijk te onderscheiden. Maar hier gold voor ons dat daar waar zwarte vuurstenen voor het eerst optreden dat dit niveau overeenkwam met het Laagje van Wahlwiller

Het Coprolithenlaagje bij Maastricht (Ma), een conglomeraatachtige afzettingslaagje dat de top van de witte kalkstenen met zwarte vuurstenen (het Cr4) vormde en de basis van de Maastrichts krijt. Ook al kon men dit laagje niet onderscheiden, de top van de witte kalksteen met zwarte vuurstenen kon toch vastgesteld worden aan de hand de overgang tussen zwarte en grijze vuurstenen. (Ook al was de kalksteen niet overal echt wit, dan hielp ons Hofker met de foraminiferen)

Vervuilde lagen aan de basis van het Maastricht krijt, bij Maastricht (het Ma). Met aan de basis het zogenaamde “Coprolithenlaagje”. Deze lagen werden toen door ons beschouwd als een gedeelte van de Kunrader kalken die uitwijken in de richting naar Maastricht toe. De bovenste lagen van de Kunrader kalken, die met bryozoenlagen, behoorden toen volgens ons tot het hogere gedeelte van de Maastrichtse kalken.

Maastrichts krijt, (Mb, Mc, en Md). De verschillende afzettingen uit het Maastrichts krijt werden verdeeld door fossielgruislagen zoals de “Dentaliumlaag”, de Bryozoa-lagen en “ de Koraalbank, een Bryozoa-laag met koralen”.

Met behulp van deze kenmerkende lagen werd jarenlang gewerkt. Werner die meer en meer ontsluitingen opnam tekende zeer nauwkeurige profielen daarvan. Hij begon ook de ontsluitingen te nummeren volgens de topografische kaart (Felder W.M. et al.1962). Mijn inbreng in het onderzoek werd in die tijd deels onderbroken omdat ik voor mijn werk moest verhuizen naar Herkenbosch en iets later naar Sittard. Ondertussen hadden wij een tweetal handboringen gemaakt in Vijlen op zoek naar het Vaalsergroenzand, een boring van 20 meter en een andere van 26 meter diepte. In de boring van 20 meter diepte meende ik op grond van de lithologie dat het Vaalsergroenzand bij 14.80 m diepte was aangetroffen (Felder P.J. 1963). Omdat er twijfel bestond werd besloten dat de genomen boormonsters onderzocht zouden worden op fossielen. Jan Meessen zou de foraminiferen onderzoeken en mijn manier van onderzoek was nog onbekend, maar het zou zich bezig houden met brokstukken van fossielen.

In Herkenbosch en daarna in Sittard kon ik daar verder over nadenken en alvast beginnen met het zeven van de monsters in diverse fracties. Later werd door Jan Meessen en/of Jan Hofker vastgesteld dat in de boringen te Vijlen geen , Vaalsergroenzand foraminiferen (Campanien) aangetroffen waren, maar jongere en wel uit het Maastrichtien. Dus het was geen Vaalsergroenzand!

In 1965 besloot men de mijnen in Limburg te sluiten. Werner en ik moesten toen uitzien naar een andere betrekking. Werner kwam terecht bij het Geologisch Bureau te Heerlen, bij de afdeling kartering. Zelf vond ik nieuw werk in het Natuurhistorisch Museum te Maastricht waar een nieuwe directeur benoemd was (Montagne) die besloten had om het onderzoek in het Krijt van Limburg te gaan bevorderen. Nog voor ik op het museum begon te werken was reeds een student uit Nijmegen begonnen met de fossielen uit “Kunrade”, die in het Museum aanwezig, waren, te vergelijken met fossielen uit Maastricht en omgeving. Het doel was de verschillen/overeenkomsten tussen de Kunrader kalken en het Maastrichtse krijt op deze wijze vast te leggen. We moesten echter constateren dat er te weinig fossielen uit de Kunrader kalken in het museum aanwezig waren. Het voorstel om monsters te nemen in de Kunrader kalken, om daaruit mesofossielen te verzamelen, werd grif aanvaard en goedgekeurd door de directie. De student H. Weys is toen begonnen om een nieuw hoofdstuk te schrijven binnen het verhaal van het Krijtonderzoek (Weys 1967).

In het Krijt van Zuid Limburg verdwaald, opnieuw twijfels

Het onderzoek naar fossielen in monsters was voor mij niet nieuw. Heel vaak had ik al monsters mee naar huis genomen om daaruit kleine zee-egels, bryozoa of grote foraminiferen te zoeken. Ook de monsters uit de boringen in Vijlen (Felder P.J.1963) waren al onderzocht op hun fossielinhoud. De gevonden fossielen uit de boringen waren geteld en in lijsten en diagrammen weergegeven. Het onderzoek in de Kunrader kalken en het Maastrichtse krijt zou op eenzelfde wijze plaats kunnen vinden, namelijk door het tellen van het aantal mesofossielen per kg sediment. Omdat het museum over geen enkel equipment beschikte heb ik indertijd alle gereedschap van thuis meegenomen. Om de Kunrader kalken te vergelijken met het Maastrichtse krijt zou echter een aantal groeven vanaf Kunrade tot in Maastricht bemonsterd en onderzocht moeten worden. Achtereenvolgens zijn toen diverse ontsluitingen in de Kunrader kalken, en in het Maastrichtse krijt de groeve NEKAMI (nu groeve 't Rooth) te Bemelen en de groeve ENCI door studenten onderzocht op wat toen nog, mesofossielen heette.

Werner was ondertussen op het Geologisch Bureau verder gegaan met zijn onderzoek, en had de indeling aangepast aan de normen die aldaar gangbaar waren (Felder W.M.1975). In deze publicatie publiceerde hij de nieuwe lithografische indeling van het Boven Krijt en het Danien-Montien. Hij deelde toen de afzettingen in Formaties, Afzettingen (Members) en Horizonten. Er werden twee Afzettingen onderscheiden in de Formatie van Aken, zes Afzettingen in de Formatie van Vaals, zeven Afzettingen in de Formatie van Gulpen, zes Afzettingen in de Formatie van Maastricht en drie Afzettingen in de Formatie van Houthem. Al deze Afzettingen werden van elkaar gescheiden door Horizonten (Fig. 3) Verder gaf hij in deze publicatie ook een correlatie tussen de afzettingen in west en oost Limburg (Fig. 4). In 1979 werd de lithologische indeling nogmaals maar nu uitvoeriger beschreven (Albers & Felder W.M. 1979).

Het was in het begin voor mij moeilijk de nieuwe lithologische indeling te volgen. Horizonten bleken lijnen zonder dikte te zijn. De grenslagen die wij voorheen hadden onderscheidden werden nu boven de Horizont ingepast in de daarop liggende Afzetting. Zo kwam het Belemnitenkerkhof terecht in de Kalksteen van Vijlen. Het Laagje van Wahlwiller in de Kalksteen van Lixhe en het Coprolithenlaagje, in de Kalksteen van Valkenburg, dat tevens de

onderkant vormde van de Formatie van Maastricht. Alle bekende namen waren verdwenen, men moest leren dat een Horizont iets anders was dan een grenslaag en dat de grenslaag nu behoorde tot een afzetting die er over het algemeen genomen lithologisch anders uitzag. De “zuivere” lithologische beschrijving werd losgelaten. Het “Belemnietenkerkhof” dat bestond uit glauconiet houdende lagen en Hardgrounds werd nu gevoegd bij de Kalksteen van Vijlen. Zuivere kalken konden zelfs binnen één en dezelfde Afzetting veranderen in glauconiet- en/of klei houdende kalken. Men kon toen in het Krijt opnieuw verdwalen. Dit was voor mij mede aanleiding om in het vervolg alle door Werner genoemde typelokaliteiten op mesofossielen te gaan onderzoeken om iets meer duidelijkheid te krijgen. Het leek een onmogelijke opgave, maar met hulp van studenten en eventueel van anderen moest het toch te doen zijn.

In 1978 werd in Maastricht een uitgebreide bijeenkomst van paleontologen gehouden. Ter gelegenheid van deze bijeenkomst werden een viertal excursiegidsen uitgegeven waarin zeer veel profielen van ontsluitingen opgenomen waren (Albers et al. 1978a, Albers et al. 1978b, Felder W.M et al. 1978a en Felder W.M. et al. 1978b). Deze excursiegidsen zijn een echt standaardwerk van de grote hoeveelheid ontsluitingen die minutieus nauwkeurig opgenomen zijn, vooral door Werner, met alle lithologische verschillen, zover als die waarneembaar waren in het veld. Door de variatie in de lithologie bleek het echter moeilijk de correlaties tussen de profielen duidelijk te maken aan de deelnemers van de excursies. Sommige deelnemers twijfelden vooral aan de correlaties van west- naar oost Limburg. De verschillen tussen de afzettingen leken hen te groot om ze nog lithologisch met elkaar te kunnen correleren. Omdat ik overtuigd was van de doorgevoerde correlaties heb ik toen beloofd ze eventueel te bevestigen met behulp van de mesofossielen.

Opnieuw een zoektocht.

Het onderzoek aan het Natuurhistorisch Museum naar de mesofossielen leidde er toe dat nieuwe inzichten opgedaan werden, maar het bleek moeilijk deze te aanvaarden. Andere onderzoekers droegen eveneens vele argumenten bij aan die twijfel over de betekenis van deze nieuwe inzichten. Verzamelaars van fossielen en paleontologen waren onder andere van mening dat mesofossielen maar plaatselijk bijeengespoelde fragmenten waren, er kon geen stratigrafisch waarde aan toegekend worden. Sedimentologen beschouwden de mesofossielen als één van de vele onderdelen van het sediment. Zo stelde de toenmalige directeur van het museum (Montagne) dat met de mesofossielen een te klein gedeelte van het sediment bekeken werd. Om de nieuwe inzichten in te bouwen in de bestaande lithologische indeling bleek eveneens heel moeilijk. Er was toen nog veel te weinig onderzoek gedaan. Achteraf bekeken blijkt dat het totale “mesofossielen-onderzoek” in drie perioden verdeeld kan worden.

Periode 1 van 1963 tot 1985, lithologie en mesofossielen

Deze periode begon met het onderzoek van de boormonsters uit een boring te Vijlen. Er werden diverse fracties gezeefd en mesofossielen uitgezocht. Later werden monsters genomen in diverse groeven en in diverse gesteenten, om een inzicht te krijgen welke fractie het meest geschikt was. Uiteindelijk bleek dat de fractie 1-2.5 mm de beste was. Met deze fractie werd in het vervolg verder gegaan. Het onderzoek en het bemonsteren van groeven en ontsluitingen in Zuid Limburg werd daarna vooral voortgezet door studenten van de Universiteit Nijmegen. De monsters in de groeven werden steeds genomen volgens de lithologie. De afstanden waarover monsters genomen werden waren dan ook geheel en al gebaseerd op de lithologie, met dien verstande dat alle monsters een maximale lengte van 50 cm hadden.

Er kwam een nieuwe directeur in het Museum (Martin Bless) en deze zag wel iets in het onderzoek van mesofossielen en hij stimuleerde mij om een publicatie te verzorgen over de mesofossielen (Felder P.J. 1981). Verder vroeg hij mij of ik ook monsters uit diepboringen in Maastricht en België wou onderzoeken. Het onderzoek van de eerste diepboringen uit de

Belgische Kempen, waarbij een totaal profiel van het Krijt doorboord en onderzocht werd op mesofossielen, veranderde mijn inzichten. De monsters afkomstig uit de diepboringen in België waren genomen door de boormeester over boorafstanden van vijf meter lengte. Mijn pogingen om nog iets van de lithologie te begrijpen, bleef bij dergelijke monsters uiteraard beperkt tot de allergrootste verschillen. Iets wat mij nog opviel in de monsters waren de korrelige afzettingen van de Formatie van Maastricht, het aanwezig zijn van vuurstenen, van glauconiet en de vettige afzettingen van kalk, mergel en klei. Tengevolge van een dergelijke ruwe lithologische indeling, terwijl ik gewend was alles netjes lithologisch in te delen in eenheden van vijftig centimeter, is het misschien te begrijpen dat ik moest leren met dergelijke monsters en gegevens om te gaan. Dit vooral ook omdat de boringen in België van grotere diepten afkomstig waren, dus minder geoxydeerd en anders van kleur. De totale lengte van de doorboorde Krijtlagen uit de vele onderzochte boringen bedroeg tussen 200-250 meter en bestond uit veertig tot vijftig monsters.

Men heeft enkele jaren nodig om over te stappen van een fijnmazig onderzoek naar een dergelijk grofmazig onderzoek, waarbij niet alleen de monsterafstanden in lengte veranderen maar ook de afstanden tussen de plaatsen waar gemonsterd werd. Na het onderzoek van een aantal diepboringen in Nederland en België werden pogingen ondernomen om de lithologie met elkaar in overeenstemming te brengen. Dit bleek niet mogelijk omdat de lithologie over enkele kilometers al zodanig veranderde dat een correlatie met behulp van monsters die bestonden uit een mengeling van materialen over vijf meter uitgesloten was. Hetgeen over bleef waren de aangetroffen mesofossielen in de monsters, waarin wel overeenkomsten in te zien waren. De term mesofossielen werd ondertussen overigens vervangen door de term bioklasten. Tot mijn verbazing bleek het tenslotte mogelijk een aantal lagen uit een diepboring in Nederland, die per meter boordiepte gemonsterd werd, te vergelijken en te correleren met boringen in België die per vijf meter bemonsterd waren, en meer dan vijftig kilometer uit elkaar lagen. In België werden echter meerdere belemnieten-niveaus aangetroffen zodat het moeilijk was *hét Belemnietenkerkhof* terug te vinden, de mij bekende lithologie was niet meer bruikbaar in België. Er werden zelfs lagen aangetroffen die in Nederlands Limburg niet of nauwelijks aanwezig waren. Het was echter mogelijk om met behulp van de bioklasten de afzettingen uit het Krijt en het Dano-Montien in België in bioklasten-ecozones te verdelen. Duidelijk was toen dat de bioklasten een bijdrage konden leveren aan het ontrafelen van de grenzen in het Krijt.

Hiermede werd de eerste periode, die van 1963 tot 1985 geduurd heeft, min of meer afgesloten. In deze periode lag het niet in de bedoeling om een aparte indeling volgens de bioklasten te maken. Alle beschrijvingen van de bioklasten gingen uit van de bestaande lithologische indeling. In deze periode werd hoofdzakelijk in lokale tijdschriften gepubliceerd en verschenen een aantal scripties van studenten uit Nijmegen die een stageperiode doorliepen in het museum.

Periode 2 van 1985 tot 1994, een bredere opzet

Bijzonder ingenomen was ik met een voorstel om de monsters van het bioklasten-onderzoek ook beschikbaar te stellen voor een ostracoden onderzoek (door Martin Bless) en foraminiferen onderzoek (door Jan Meessen). Andere personen zouden ook meewerken aan een groot opgezet onderzoek van de afzettingen uit het Santonien tot en met het Paleoceen in de Belgische Kempen en Zuid Limburg.

In totaal konden tijdens een eerste onderzoek zes bioklasten-ecozones onderscheiden worden in het Krijt, terwijl een zevende ecozone het Tertiaire kalkgesteente omvatte. De achtste ecozone omvatte de zandige of kleiige Tertiaire afzettingen boven de kalkige afzettingen (Felder P.J. et al. 1985a). Voor mij doemde toen een veelheid van mogelijkheden op om nauwkeurige onderzoeken te doen. Het leek erop dat we terecht gekomen waren in een

labyrint van brede straten. In elke straat moest echter veel werk verzet worden om het gewenste doel te bereiken. Terwijl ik in het vervolg de bioklasten (1-2.4 mm) onderzocht, onderzochten Martin Bless de ostracoden en Jan Meessen de foraminiferen in de fractie kleiner dan 1 mm. In 1985 konden wij gezamenlijk een achttal ontsluitingen vergelijken met de door Werner opgenomen lithologische profielen en verder een zevental boringen beschrijven (Felder P.J. et al. 1985b). Bij de onderzochte profielen met behulp van bioklasten, ostracoden en foraminiferen moesten we vraagtekens plaatsen bij de voorheen uitgevoerde correlaties op grond van alleen maar de lithologische kenmerken. We konden tot geen andere slotsom komen dan dat het interval Horizont van Nivelles tot aan de Horizont van Laumont op een kritische manier herzien moest worden. Via gegevens uit boringen en de onderzochte profielen werden verder redelijke argumenten gevonden dat de Formaties van Vaals en Gulpen en anderzijds de Formaties van Gulpen en Maastricht althans gedeeltelijk in dezelfde tijd afgezet waren. Er werden ook criteria gevonden die twijfel oproepen omtrent de grenzen tussen sommige foraminiferen zones (Hofker 1966 o.a. tussen de zones F en G (of F en H), I en K, J en K en A en A'). Indien door verder onderzoek zou blijken dat de gevonden ecostratigrafische correlatielijnen para-synchroon zouden zijn dan zijn de grenzen tussen de Formaties Vaals, Gulpen en Maastricht in hoge mate diachroon en worden in feite door lithofaciële grenzen begrensd. In hoeverre dit opgaat zou nog in veel nieuwe studies moeten worden onderzocht (Felder P.J. et al. 1985b).

In 1987 ging Werner Felder in op het artikel van Felder P.J. et al. 1985b maar niet op alle gemaakte opmerkingen (Felder W.M. 1987). Hij beperkte zich in dat artikel tot de profielcorrelaties van het interval Nivelles - Laumont en enkele algemene opmerkingen. Deze keuze werd door hem gemaakt omdat tussen deze ontsluitingen, volgens hem, meer dan vijftig ontsluitingen aanwezig waren en omdat in dit gebied diverse typelocaties door hem zijn aangewezen. Eerst beschreef hij uitgebreid op welke lithologische kenmerken de door hem gepresenteerde lithologische correlaties gebaseerd zijn. Daarna beschreef hij hoe de betreffende correlaties tussen de genoemde profielen tot stand zijn gekomen. Tot slot concludeerde hij dat door gebruik te maken van alle lithologische kenmerken en alle ontsluitingen in dat gebied een nauwkeurige lithostratigrafische correlatie tot stand te brengen is. Tenslotte concludeerde hij dat de door Felder P.J. et al. (1985b) opgestelde correlaties berusten op te weinig onderzochte ontsluitingen en op de aanname dat de toegepaste correlaties een stationaire constante bezitten. Uitgaande van de tot nu toe bereikte resultaten met behulp van ostracoden en foraminiferen blijken deze zich niet geleend te hebben voor het doorvoeren van zo gedetailleerde correlaties. Tot slot kan hij alle fossielverzamelaars gerust stellen: "Hoewel lang niet alle details bekend zijn mogen we verwachten dat voorlopig nog geen ingrijpende lithostratigrafische veranderingen noodzakelijk zijn". Na deze publicatie zal hij geen gewag meer maken over de veranderende inzichten die door het bioklasten-onderzoek tot stand kwamen. In de publicatie Felder W.M. & Bosch 2000 over het Krijt van Zuid Limburg worden maar zeer weinig publicaties over bioklasten vermeld en geen wijzigingen doorgevoerd naar aanleiding van het bioklastenonderzoek.

Vanaf 1987 zal daarom langs verschillende wegen verder gegaan worden met het zoeken naar grenzen in het Krijt. Werner zal van nu af aan zijn eigen weg vervolgen. Wij zouden dat ook doen, Martin Bless en ik, (Jan Meessen was ondertussen afgefallen, voor mij om onbekende redenen), maar van nu af aan in een groter gebied. Contacten met de Universiteit van Luik maakten het mogelijk onderzoek te doen in de Ardennen en via de Geologische Dienst van België ook in het gehele Vlaamse gebied. Op de Ardennen konden sleuven gegraven worden in de restanten van het Krijt die aldaar aangetroffen waren. In het Vlaamse gebied, waar boringen gemaakt werden ten behoeve van de drinkwatervoorziening, konden monsters onderzocht worden die afkomstig waren van Krijtafzettingen op het Massief van Brabant.

Tegelijkertijd werden ook onderzoeken gedaan in de Belgische Kempen en aan de rand van de Roerdalslenk. Ook het onderzoek van de afzettingen in Kunrade en omgeving en het onderzoek van de Kalksteen van Vijlen, alsmede de monsters uit boringen die min of meer in de Roerdalslenk gemaakt waren gaven een veel uitgebreider beeld van het Krijt in de Euregio.

De periode 2, die liep van 1985 tot 1994, begon toen twijfel uitgesproken werd over de gebruikte lithologische indeling (Felder & Bless 1985a en Felder et al. 1985b) en een eerste voorlopige indeling via de bioklasten gemaakt werd in acht bioklasten-ecozones waarmee voorlopig gewerkt werd. Nadat steeds meer boringen in de Belgische West Kempen en in Nederlands Zuid Limburg onderzocht waren werd deze bioklasten-ecozone-indeling geleidelijk gewijzigd zodat in 1994 een nieuwe indeling gepresenteerd werd van de bioklasten-ecozones I t/m VI (Felder P.J. 1994b), daarmee eindigde de periode 2. In Zuid Limburg werden in deze periode in diverse ontsluitingen metingen verricht van de gammastraling om een vergelijk te kunnen maken met dezelfde metingen in boorgaten (Felder P.J. & Boonen 1988). Het is tevens de periode waarin zeer veel gepubliceerd werd o.a. Bless et al. 1986a, Bless et al. 1986b, Jagt et al. 1987, Bless et al. 1987, Felder P.J. 1988a, Felder P.J. 1988b, Felder P.J. & Bless 1989, Bless & Felder P.J. 1989, Bless et al. 1990a, Bless et al. 1990b, Bless et al. 1993, Felder P.J. 1994a, Felder P.J. 1994b, Felder P.J. en Bless 1994.

Periode 3, van 1994 tot heden, alleen op zoek naar de grenzen

Aan de Universiteit in Luik werd in 1992 nog begonnen aan een gezamenlijk onderzoek van het Krijt maar dat kwam door allerlei oorzaken niet echt meer van de grond, vooral door het vertrek van Martin Bless uit Nederland en een auto ongeval van Eddy Keppens, die het isotopenonderzoek verrichtte. Ook het publiceren van dat laatste gemeenschappelijke onderzoek leverde moeilijkheden op, het zou zelfs tot 2003 duren eer een publicatie verscheen (Felder P.J. et al. 2003). Na het vertrek van Martin Bless was er niemand meer die de fijne fractie, kleiner dan 1 mm, van de monsters op ostracoden en foraminiferen onderzocht. Nu moest het onderzoek verder uitsluitend via bioklasten van 1-2,4 mm uitgevoerd worden. Als eerste groter werk werden zoveel mogelijk ontsluitingen en boringen onderzocht in de Kalksteen van Vijlen. Via Werner Felder konden monsters uit boringen verkregen worden die grote dikten Kalksteen van Vijlen doorboord hadden. Het uiteindelijke resultaat van dat onderzoek kwam klaar in 1997 (Felder P.J. 1997a).

Het aantal boringen dat in België gemaakt werden nam sterk af. Onderzoeken van een aantal boringen die nog gemaakt werden in Nederland door de Waterleiding Maatschappij Limburg en particulieren, werden gepubliceerd in *Sprekende Bodem*, het tijdschrift van de Nederlandse Geologische Vereniging Afd. Limburg (Felder P.J. 1999, 2000, 2001c, 2001d, 2001e en 2002). De tijd leek mij ondertussen rijp om overzichten samen te stellen. Mijn gezondheid begon achteruit te gaan en liet het ook niet meer toe grotere projecten te starten. Eerst werd een poging gewaagd om iets meer inzicht te krijgen in welk tempo de sedimenten ontstaan waren (Felder P.J. 1996). Voor het eerst werd in deze publicatie gepoogd overeenkomsten te vinden tussen de sedimenten in Limburg en de internationale sequentie stratigrafie (Fig. 7), alsmede de zeespiegelschommelingen vermeld in een bijlage gepubliceerd in Adrichem Boogaert van & Kouwe (1993). Een volgende stap werd gezet om een indeling te maken uitsluitend met behulp van de bioklasten zonder nog rekening te houden met de lithologie en de indeling volgens de foraminiferen (Felder P.J. 2001a). Dit bleek overigens heel moeilijk te zijn, het was en is nog steeds moeilijk de oude inzichten los te laten. Als laatste werd gepoogd een overzicht samen te stellen hoe de sedimentatie in een tweetal profielen beïnvloed was tengevolge van tektonische bewegingen (Felder P.J. 2003/2004). Al deze onderzoeken gaven een bredere kijk op de zeespiegelschommelingen en tektonische bewegingen die plaats vonden in het gebied Zuid Limburg alwaar het Krijt dagzoomt. De sedimenten die binnen het gebied Zuid Limburg afgezet zijn blijken door deze

invloeden lithologisch zeer gevarieerd van samenstelling te zijn. Op korte afstand verandert de lithologie van zuivere kalken in kleiige/lemige/zandige al of niet glauconiethoudende afzettingen en andersom van zandige in kleiige/mergelige en zelfs tot in kalkige afzettingen. Tenslotte werd de indruk verkregen dat er maar weinig mogelijkheden zijn om in deze grote verscheidenheid nog doorlopende grenzen te vinden. Met het bioklastenonderzoek was ondertussen echter een andere methode ontwikkeld om de sedimenten uit het Krijt te beschrijven. Dit is een methode die naast de lithologische beschrijvingen een ander beeld kan geven.

In de periode 3 die liep van 1994 tot heden werd geprobeerd de bioklasten-indeling steeds te verbeteren. Het is in deze periode dat steeds verder gegaan werd met de bioklasten-ecozones te verdelen in kleinere eenheden omdat monsters genomen werden over lengten van vijf, tien en vijftien centimeter (Felder P.J. 1997b). Om het beeld nog verder te vervolmaken werden boringen uit de Noordzee onderzocht op bioklasten (Felder P.J. 2001b). Er zouden ook onderzoeken gedaan worden naar de isotopen $O^{16} - O^{18}$ en $C^{13} - C^{14}$, aan monsters uit de groeven ENCI en CPL en drie boringen in de Belgische Kempen. Het is jammer genoeg niet gekomen tot een publicatie maar een voorlopig rapport werd uiteindelijk wel ingeleverd bij de Geologische Dienst van België.

Een nieuwe kijk op de grenzen in het Krijt

Alvorens de verschillende afzettingen uit het Boven-Krijt te beschrijven worden hier eerst enkele algemeenheden besproken. Het zal uit het voorgaande duidelijk zijn dat de tektoniek een belangrijke rol gespeeld heeft tijdens en na de afzettingen van het Boven-Krijt. Van oudsher zijn reeds verschillende pogingen ondernomen om daar een beeld van te krijgen. Uiteindelijk was het mogelijk om overzichtskaarten te vervaardigen waarop de belangrijkste tektonische gebieden aangegeven zijn (Fig. 5).

Het aantal breuken dat binnen een bepaald gebied bekend is, is sterk afhankelijk van het geologisch onderzoek dat er plaats vond. Vooral de steenkolenmijnbouw heeft ertoe bijgedragen dat veel breuken ontdekt werden (Fig. 6). In deze figuur is de grote hoeveelheid breuken die in Nederlands Zuid-Limburg aangetroffen werden te zien, maar ook enkele vervormingen (Anticlinalen) van de bodem. Dergelijke anticlinalen waren tijdens de afzetting van het Boven-Krijt in beweging. Reeds Muller (1945) heeft erop gewezen dat dergelijke structuren belangrijk waren om de Post-Carbonische tektoniek te begrijpen. De hier gepresenteerde breuken en anticlinalen in figuur 5 en 6 zijn door mij overgenomen van bestaande geologische kaarten. Er zijn door mij geen breuken toegevoegd of gewijzigd.

Verder was de stand van de zeespiegel een belangrijke factor tijdens de sedimentatie. Bij een lage stand kon de sedimentatie tot stilstand komen en zelfs erosie optreden terwijl bij een hoge waterstand sedimentatie kon plaats vinden op hoger gelegen gebieden. Vooral door de sequence stratigrafie te beschrijven van diverse afzettingen (Haq et al. 1988) is men ertoe gekomen om curven samen te stellen van de zeespiegelschommelingen (Adrichem Boogaert van & Kouwe 1993). Mijn poging om de Krijtafzettingen uit de Euregio in de sequence stratigraphy in te passen (Fig. 7) blijkt achteraf gezien nog voor verbeteringen vatbaar. In deze figuur is namelijk geen rekening gehouden met hiaten tengevolge van non sedimentatie, erosie en uitspoelingen.

Tenslotte blijkt dat de gevonden grenzen via de bioklastenonderzoek niet dezelfde zijn als die gevonden werden tijdens het lithologisch onderzoek. Een schoolvoorbeeld van een dergelijk verschil is bijvoorbeeld de lithologische grens tussen de Formatie van Aken en de Formatie van Vaals. Deze lithologische grens, de Horizont van Raren, ligt aan de basis van een

conglomeraat. Een dergelijke grens is echter moeilijk vast te stellen via de bioklasten omdat de grenzen via de bioklasten gebaseerd zijn op verschillen in de bioklastensamenstelling en niet op de grofheid van het sediment. De veranderingen in de lithologie vonden in de regel plaats tijdens een fase van non sedimentatie of erosie (lage stand van het zeewater, regressie). De veranderingen in de bioklastensamenstelling daarentegen vonden meestal plaats tijdens de daarop volgende transgressie (hoge stand van het zeewater). Omdat regressies en transgressies elkaar opvolgden, al of niet met een hiaat ertussen, kunnen we hier en daar toch de gevonden grenzen tussen bioklasten en de lithologie aanhouden, mits we blijven bedenken dat de lithologische grenzen vooral overeenkomen met regressies en de bioklastische grenzen overeenkomen met de daarop volgende transgressies. In het vervolg worden daarom hier zoveel mogelijk de bestaande lithologische benamingen van de Horizonten aangehouden ondanks het feit dat beide onderzoeksmethoden, (het lithologisch- en bioklastischonderzoek), tot verschillende uitkomsten kwamen.

Beschrijving van de bioklastenecozones

Om de bioklastenecozones te beschrijven zijn de belangrijkste profielen van onderzochte ontsluitingen en boringen bijgevoegd in de vorm van grafieken en zijn meerdere dwarsprofielen getekend. De beschrijving van de gesteenten is beperkt gehouden. Het is namelijk onmogelijk om alle verschillen die in de gesteenten te vinden zijn uit boormonsters vast te stellen. In de legenda voor de gebruikte symbolen van de gesteenten (Fig. 8) zijn de onderscheiden gesteenten weergegeven. Een overzicht van de bioklastenecozones en een enigszins aangepaste lithologische indeling is eveneens weergegeven in deze figuur. Voor meer nauwkeurige beschrijvingen wordt verwezen naar de hieronder beschreven bioklastenecozones en de daarbij gegeven profielen.

Bioklastenecozone Ia = de Formatie van Aken

De lithologische Formatie van Aken werd gedefinieerd in 1975 en verdeeld in twee laagpakketten (Felder W.M. 1975), maar bleek bij verder onderzoek lithologisch meer te variëren, Albers et al. (1978a) onderscheide daarom drie eenheden namelijk de Klei van Hergenrath, het Zand van Raren en het Zand van Hauset. De grens tussen de Formatie van Aken en de Paleozoïsche ondergrond was soms moeilijk vast te stellen. De top van het Paleozoïcum bestond plaatselijk uit zogenaamde “baggert”, een kleiachtige afzetting, die maar moeilijk te onderscheiden was van de klei uit de Klei van Hergenrath. Een volgende moeilijkheid bleek te bestaan uit het gegeven dat de Klei van Hergenrath, die uit een mengsel van kleiige- en zandige afzettingen bestaat, moeilijk te onderscheiden was buiten de typelocatie. Eveneens was het Zand van Raren en het Zand van Hauset maar moeilijk te onderscheiden buiten de typelocaties.

De Formatie van Aken die vooral in het noordelijk gedeelte van de provincie Luik en in Aken onderzocht werd op bioklasten bevatte zo weinig bioklasten dat een indeling volgens de bioklasten moeilijk te maken was. In het Luikse gedeelte werden plantenresten (Hergenrath) en verkiezelde plantenresten gevonden (La Calamine en Montzen) en in de top van de groeves enkele verkiezelde schelpresten. Bij Hombourg waar een boorprofiel (boring 123W-735, Fig. 9) onderzocht werd, werden in het onderste gedeelte plantenresten (fluviatiel ?) aangetroffen, terwijl naar de top toe schelpresten aangetroffen werden (marinen). In Aken (Passtrasse) kon een profiel van 25 meter hoogte gemeten worden bestaande uit zandige en kleiige lagen met bioklasten van planten. Bij de Wingertberg en de Lousberg bij Aken is de Formatie van Aken ook ontsloten. Aan de Lousberg en bij Vaalsbroek kon aan de top van de Formatie (Horizont

van Raren) de basisconglomeraat van de Formatie van Vaals aan de oppervlakte onderzocht worden. Dit leverde echter geen herkenbare bioklasten op. In de omgeving van Aken – Hombourg konden, samengevat, een drietal facies in de Formatie van Aken onderscheiden worden namelijk; een onderste gedeelte waarin plantaardige bioklasten aangetroffen werden (fluviatiele afzettingen), een middengedeelte zonder bioklasten (overgangsfacies?), en een bovenste gedeelte waarin de resten aangetroffen werden van schelpen. In hoeverre de lithologische indeling precies overeenkomt met de indeling volgens de bioklasten kon niet nagegaan worden, vooral door het geringe aantal bioklasten. De totale afzettingen uit de Formatie van Aken werden in ecozone Ia geplaatst.

Buiten het gebied van Aken – Hombourg, in het meer westelijk gelegen gebied van Limburg werd plaatselijk maar een geringe zandbedekking van de Formatie van Aken aangetroffen terwijl in de Belgische Kempen, uitsluitend zanden aangetroffen werden waarin zeer veel bioklasten van schelpen aangetroffen werden (marine facies), die waarschijnlijk in het bovenste deel van de Formatie van Aken thuishoren. Op de Ardennen en het Massief van Brabant, evenals in de Roerdalslenk werden geen sedimenten van de Formatie (meer) aangetroffen. Dit betekent dat de afzettingen van de Formatie van Aken maar een beperkte omvang hebben binnen het onderzochte gebied.

Tektonische en eustatische bewegingen gedurende ecozone Ia

De dikke afzettingen in de omgeving van Aken (tot 60 m) wijzen erop dat tijdens de afzetting van de Formatie van Aken het gebied rondom Aken nog steeds dalend was (onderste figuur in Fig.10). Deze figuur geeft een indruk van de veranderingen die plaats vonden op de schouder van de Roerdal slenk. Aangenomen is in dat profiel dat de Horizont van Raren, die het einde aangeeft van de afzettingen uit de Formatie van Aken, een horizontale lijn is geweest. Tussen Kunrade en de Lousberg blijkt de Formatie van Aken in dikte toe te nemen van 0 tot 60 m. Onbekend is of de Laurensberg breuk actief is geweest tijdens de afzetting. Een eventuele beweging langs deze breuk is met stippellijnen aangegeven. Verondersteld mag worden dat de inversie van de Roerdalslenk nog in de beginfase was. Tektonisch vonden indertijd nog geen grote veranderingen plaats en de zeespiegel kwam maar geleidelijk omhoog. Dit zou binnenkort echter wijzigen. Een volgend dwarsprofiel (Fig. 11) geeft een indruk van de veranderingen die plaats vonden vanaf de Ardennen naar de Lousberg toe. De aangenomen horizontale lijn is in deze figuur het hiaat Horizont van Benzenrade (zie verderop bij de Formatie van Vaals) aangehouden. Onbekend is hoe de dikte van de Formatie van Aken in de richting naar Vaals en de Lousberg toeneemt. De veronderstelde dikte, gelijk aan de dikte bij de Lousberg, is gestippeld aangegeven. Nemen we echter dezelfde dikte aan dan betekent dit dat de Laurensberg breuk vooral na de afzetting van de Formatie van Aken actief is geweest. De Ardennen en het Massief van Brabant vormden gedurende de afzetting van de Formatie van Aken een hoog. In dit dwarsprofiel is tenslotte een voorbeeld te zien van de snelle lithologische wijzigingen in de Formatie van Aken. In de boringen bij Moors en Hombourg wijzigen reeds over korte afstand de aangetroffen zandige afzettingen bij Moors gedeeltelijk in kleiige sedimenten bij Hombourg.

Bioklastenecozones Ib, Ic, Id en IIa*(=Formatie van Vaals)

De afzettingen uit de Formatie van Vaals werden beschreven door Albers (1974), door W.M. Felder (1975), door Albers et al. (1978a) en Albers & Felder W.M. (1979). Deze beschrijvingen werden later nog aangevuld met het laagpakket het Zand van Benzenrade, en de Horizont van Benzenrade (zie figuur 3.4 in Felder W.M. & Bosch, 2000).

De basis van de Formatie werd aangegeven met de Horizont van Raren. De top van de Formatie werd in 1975 met de Horizont van Zeven Wegen aangegeven, liggend aan de top

van het Zand van Terstraten of daar waar de Kalksteen van Zeven Wegen ontbrak aangegeven met de Horizont van Bovenste Bosch. In Benzenrade (Felder W.M. & Bosch, 2000, pag. 49) is de top van de Formatie van Vaals (de top van het Zand van Benzenrade) aangegeven met de Horizont van Lichtenberg. In de omgeving van de groeve CPL groeve te Halembaye is de Horizont van Loën aangegeven als top van de Formatie van Vaals.

Albers (1974) die een poging ondernam om de diverse laagpakketten in de Formatie van Vaals in het hele gebied te onderscheiden kwam tot de conclusie dat er tussen de Aachenerwald en Noorbeek reeds een zodanige verandering (vervingering) van het sediment optrad dat bij Noorbeek alleen nog maar gesproken kon worden van onder en boven Vaals (fig. 3.12 in Felder W.M. & Bosch 2000). Albers veronderstelde verder dat het Zand van Benzenrade overeenkwam met het Zand van Terstraten. Dat hij daaromtrent niet geheel zeker was bleek uit het feit dat hij in 1978 persoonlijk tegen mij zei, tijdens een excursie, dat hij graag de problemen rond het Zand van Benzenrade eens met mij verder wou onderzoeken. Het is er echter nooit van gekomen, hij kreeg een baan in Recklinghausen en verhuisde. Felder W.M. & Bosch (2000) veronderstelden dat het Zand van Benzenrade een aparte afzetting van de Formatie van Vaals was tussen de Schin op Geul en de Laurensberg breuk in het zuiden en de Kunrade-Richterich breuk in het noorden. Zij verdeelden toen de Formatie van Vaals in een Onderste deel en Bovenste deel evenals in 1975. Een verdeling in Onder- en Boven Campanien werd in deze publicaties niet gegeven.

Via het bioklastenonderzoek werd vastgesteld dat de lithologisch beschreven Formatie van Vaals diverse bioklastenecozones omvatte. Reeds in 1985 (Felder P.J. et al 1985b) werd erop gewezen dat de Formatie van Vaals in Walem (boring 62A – 170) en de boring KS 18 in de Belgische Kempen het bovenste deel van de Formatie van Vaals (toen als Pré-Valkenburg gedetermineerd) bioklasten, ostracoden en foraminiferen bevatte die mogelijk erop wezen dat gedeelten van de Formatie van Vaals (foramzone, boven A', van Hofker, zie ook Jagt et al. 1987) gelijk gesteld moesten worden met afzettingen uit de Formatie van Gulpen. In deze foramzone waren in de boring te Walem immers *Bolivinoides decorata* gevonden met een gemiddeld aantal pustulae van 3.1. De getallen 3.0 tot 4.0 pustulae van *B. decorata* waren gids getallen voor de foramzone A (volgens Hofker 1966), de Kalksteen van Zeven Wegen uit de Formatie van Gulpen. Dit was mede een reden om in de Belgische Kempen het *Hervens krijt* ("Vaalsegroenzand afzettingen") op te splitsen in een Formatie van Vaals sensu Halembaye/Kastanjelaan en in Pré-Valkenburg afzettingen (Felder P.J. et al. 1985a). In de boring KS 18 werden bij 450 m een groot aantal *Bolivinoides australis* gevonden met een gemiddeld aantal pustulae van 4.3 hetgeen er op wees dat het bovenste deel van de Pré-Valkenburg afzettingen volgens de foraminiferen zelfs in het Maastrichtien thuishoorden. Dit alles wees erop dat de afzettingen van het Vaalsegroenzand inderdaad diachroon verliepen en dus verschillende ecozones konden omvatten.

De indeling van de lithologische Formatie van Vaals, in bioklastenecozones, is van het begin af aan moeilijk geweest. Het ontbreken van grote ontsluitingen in Zuid-Limburg was steeds een struikelblok. Ook later toen boringen in de Belgische Kempen onderzocht werden was het nog steeds moeilijk omdat daar andere bioklasten aangetroffen werden dan in Nederlands Zuid-Limburg. Uiteindelijk werden de in de Kempen aangetroffen belemnietenpieken aangehouden om de Formatie van Vaals in te delen (zie fig. 9 in Felder P.J. 2001a).

De typelocatie van de Formatie van Vaals onderzocht op bioklasten

Het onderzoek van de Formatie van Vaals in de typelocatie moest wachten tot in 1987. Voorheen ontbraken daar voldoende grote ontsluitingen. In 1987 werden tijdens de aanleg van een ringweg om Vaals bij "de Hugel" en bij "Eschberg" grote ontsluitingen gemaakt. Het onderzoek, dat ik samen met Werner uitvoerde, kon bekroond worden met de herontdekking van de "Laag van Müller" waarvan de onderkant door Werner als Horizont van Vaalsbroek

gedetermineerd werd (Fig. 12). In een boring die gemaakt werd bij Eschberg bereikten we de basisconglomeraat van de Formatie (de Horizont van Raren). Ik heb daarna nog geprobeerd de Formatie van Vaals te bemonsteren tot aan de top. In totaal kon door mij aan de Vaalserberg een profiel van ruim 50 m hoogte op bioklasten onderzocht worden (deels door het maken van boringen). De top van de afzetting bereiken lukte mij jammer genoeg niet. Albers (1974) lukte dat wel. Hij kon een totale dikte van ruim 70 meter beschrijven. De top van de Formatie van Vaals wordt volgens hem aan de Vaalserberg gevormd door de Horizont van Bovenste Bosch. Deze Horizont werd door mij aangetroffen bij de ontsluiting aan “de Hugel”. Het geringe aantal bioklasten dat aangetroffen werd maakte indertijd een indeling via de bioklasten niet gemakkelijk, alle kalkige bioklasten bleken hier namelijk opgelost te zijn. Er werden wel verkiezelde exemplaren en visresten gevonden en verder veel brokjes steenkool. Daarom werd in het vervolg ervoor gekozen om bij het bioklastenonderzoek het onderzochte profiel in de boring Kastanjelaan te Maastricht aan te houden als typeprofiel voor de voor de ecozones Ib, Ic en Id (is verkorte Formatie van Vaals, Fig. 13) en niet het profiel bij Vaals.

In 2001 (Felder P.J. 2001a) werd alsnog een poging gedaan de lithologische typelokaliteit te Vaals te determineren, nu met behulp van de profielen van boringen in Hombourg en Moors (België). Zeer waarschijnlijk zijn bij Vaals de bioklastenecozones Ib, Ic en de basis van Id aangetroffen (Fig. 12). In Felder P.J. (2001a, Fig. 7), werd abusievelijk de bovenste belemnietenpiek met ?Bel 4 aangegeven, dit moest echter ?Bel 5 zijn.

De Horizont van Raren = de basis van het Vaalsergroenzand bij Vaals en de basis van ecozone Ib.

Bij het onderzoek van de basisconglomeraat in de omgeving van de typelokaliteit, in het vakantiepark aan de ringweg bij Vaals, werden boven de conglomeraat dikke brokken steenkool ontdekt, tot 10 cm in doorsnede, die bevestigden dat tijdens het ontstaan van de conglomeraat elders lagen steenkool geërodeerd werden. Om de ontsloten lagen Vaalsergroenzand aan de “Hugel” te kunnen plaatsen t.o.v. van de basisconglomeraat werden aldaar handboringen gemaakt tot beneden de basisconglomeraat. In de genomen monsters bleken brokjes steenkool aanwezig te zijn, hetgeen ook in de boring aan de Eschberg het geval was. Op beide plaatsen waren zelfs tot negen meter boven de basisconglomeraat steenkoolbrokstukjes aanwezig.

De basisconglomeraat van het Vaalsergroenzand hadden wij vroeger reeds op diverse plaatsen waargenomen (Felder W.M et al. 1962). Het is bijna overal een duidelijke laag met rolsteentjes, soms dikke rolstenen, die gevolgd wordt door glauconiethoudende zandige afzettingen. Daar waar glauconiet ontbreekt (zoals aan de Lousberg bij Aken) kan men gemakkelijk waarnemen dat boven de rolstenen de korrelgrootte van het zand fijner is dan de zanden uit de Formatie van Aken. Uit al deze waarnemingen blijkt dat de Horizont van Raren vooral een erosieperiode vertegenwoordigd en waarschijnlijk ook een lage zeespiegelstand betekende. De daaropvolgende hoge zeespiegelstand is lithologisch niet gekenmerkt maar wel in de bioklasten met de belemnietenpiek Bel 2. Deze piek is bij het bioklastenonderzoek in het vervolg aangehouden als basis van ecozone Ib en dus ook als Horizont van Raren beschreven.

De “Laag van Müller” bij Vaals

Een soortgelijke laag met zoveel verkiezelde bioklasten heb ik nergens anders aangetroffen (er werden namelijk 2192 verkiezelde bioklasten per kg sediment gevonden).

Op zoek naar de top van ecozone I en het Vaalsergroenzand.

Lithologisch is de Formatie van Vaals gemakkelijk herkenbaar omdat ze uit bruine tot grijze kleiige, siltige, zandige afzettingen bestaat die glauconietrijk zijn en naar boven toe kalkrijker

worden (rond 30% kalk) en daardoor nogal scherp contrasteren met de witte of gele kalkstenen (80-98% kalk) die erboven liggen. Hetgeen zo eenvoudig lijkt blijkt in de praktijk echter veel moeilijker te zijn. De top van de lithologische Formatie van Vaals die door Felder W.M. & P.W. Bosch (2000) in de typelokaliteit aangegeven is met de Horizont van Zeven Wegen blijkt elders echter andere Horizonten als bovengrens te hebben zoals de Horizont van Lichtenberg in de omgeving van Kunrade/Benzenrade, de Horizont van Loën in de omgeving van Halembaye en op plaatsen waar de Kalksteen van Zeven Wegen ontbreekt vormt de Horizont van Bovenste Bosch de top van de Formatie van Vaals. Uit de veelheid aan Horizonten die als top van de Formatie aangegeven zijn kan men reeds afleiden dat het toch moeilijk is de top van Formatie met behulp van lithologische Horizonten aan te duiden. Nog moeilijker wordt het echter indien men ook nog de Belgische Kempen bij het te onderzoeken gebied betreft. In veel boringen die daar gemaakt zijn is het bijzonder moeilijk lithologische grenzen aan te geven. Daarom werd in 1985 de term “Pré Valkenburg afzettingen” ingevoerd (Felder P.J. et al. 1985a) om de lithologisch op Vaals lijkende afzettingen aldaar aan te duiden. Via het bioklastenonderzoek kwam vast te staan dat de lithologische top van de Formatie van Vaals vooral in Nederlands Limburg geen constant te vervolgen lijn is, maar een diachrone faciesgrens of hiaatgrens is.

Omdat het mij niet mogelijk was de bovenste meters van de Formatie van Vaals in de typelokaliteit te onderzoeken en binnen het typegebied van de Formatie van Vaals ook niet mogelijk bleek de onderzochte vijftig meter sediment te vergelijken met de lithostratigrafische indeling volgens Albers (1974), werd voorlopig de indeling volgens de bioklasten aangehouden zoals die in 1985 in de Belgische Kempen en in de boring Kastanjelaan aangenomen was (Fig. 13). Namelijk dat ecozone I ingedeeld kon worden door middel van de aangetroffen belemnietenpieken Bel 2 tot en met Bel 7. De zoektocht naar de top ging echter verder.

Verdere zoektocht naar de top van de Formatie van Vaals: Het Zand van Benzenrade onderzocht = ecozone IIa*.

Het zand van Benzenrade wordt lithologisch nog tot de Formatie van Vaals gerekend (Felder W.M. & Bosch 2000). Het bioklasten- en fossielenonderzoek van het Zand van Benzenrade werd met behulp van Martin Bless, Jan Meessen en John Jagt in 1986 uitgevoerd. Het vinden van een grote ammoniet, door de eigenaar van de hoeve de Dael en het vinden van belemnieten door dhr. Vlieks in een bouwput in het Zand van Benzenrade bij de hoeve de Dael, (later de typelokaliteit van de Benzenrader zanden genoemd) stimuleerde het onderzoek van het totale Zand van Benzenrade. Door middel van de aldaar aangetroffen ammonieten, belemnieten, ostracoden en foraminiferen (Jagt et al. 1987) kon een vergelijk gemaakt worden met soortgelijke exemplaren uit het Boven-Campanien (de Basiplana/spiniger zone) en de onderste 7-8 meter Kalksteen van Zeven Wegen in Halembaye. Daarmee kon aangetoond worden dat in het Boven Campanien twee afzettingssmilieus bestonden. In het noordoosten de vaak glauconietrijke, zandige tot kleiige, of mergelige Benzenrader afzettingen (ecozone IIa*) en in het zuidwesten de meer glauconietarme, zeer fijnkorrelige Kalksteen van Zeven Wegen (een soort schrijfkrijt, ecozone IIa). Ook het vinden van de ammoniet *Hoplitoplacenticeras marroti* (Kennedy 1986) in de Formatie van Vaals (in het Zand van Terstraten) bij de Zeven Wegen wees op een Boven Campanien ouderdom die overeenkwam met de ouderdom van de Kalksteen van Zeven Wegen. De top van de Formatie van Vaals vormde derhalve bij de Zeven Wegen niet de bovengrens van het Onder-Campanien zoals vaker aangenomen werd, maar lag reeds in het Boven-Campanien. De top van de lithologische Formatie van Vaals bleek derhalve een lithofaciële grens te zijn en geen chronologische grens.

Het onderzoek van het Zand van Benzenrade en de Kalksteen van Kunrade door middel van bioklasten werd daarna versterkt voortgezet. Bij dit onderzoek werd gebruik gemaakt van 2 boringen en 22 ontsluitingen zodat een volledig profiel van alle afzettingen in de omgeving van Kunrade onderzocht konden worden. Hierbij werden in de afzettingen vijf ecozones (I t/m V) onderscheiden die met boringen te Valkenburg en Maastricht en België (de boringen Hoepertingen/Diets Heur) te vergelijken waren (Felder P.J. & Bless 1989). Hierbij bleek dat de foramzones van Hofker (1966), die mede gebruikt werden om de afzettingen naar ouderdom te bepalen, niet in overeenstemming waren met de gevonden resultaten.

Pas in 2001 (Felder 2001a) kon het Zand van Benzenrade gedetermineerd worden via de bioklasten-inhoud als zandige bioklasten-ecozone IIa* (een equivalent van de Kalksteen van Zeven Wegen = ecozone IIa) en het bovenste deel als bioklasten-ecozone IIb (een equivalent van de Kalksteen van Beutenaken), (Fig. 14 en 15).

De Horizont van Benzenrade, de Horizont van Zeven Wegen, of de Horizont van Loën als top van ecozone I en de Formatie van Vaals?

De Horizont van Benzenrade was niet ontsloten in het lithologisch profiel van de typelokaliteit bij de hoeve de Dael (Felder W.M. & Bosch 2000, Fig. 3.24, pag. 49). In een boring, die vlak bij de Hoeve de Dael te Benzenrade ligt werd echter bij 46 m diepte tijdens het bioklastenonderzoek de ondergrens van het Zand van Benzenrade aangetroffen. Vastgesteld kon worden dat bij deze grens, de Belemnietenpiek Bel 7, aan de top ligt van bioklasten-ecozone Id (Fig. 15). Direct boven deze Belemnietenpiek Bel 7, liggen de belemnietenpieken Bel II 1 en Bel II 2 uit bioklasten-ecozone II* hetgeen betekent dat hier geen hiaat van betekenis in de sedimenten aanwezig is. De belemnietenpiek Bel 6 werd in deze boring niet afzonderlijk aangetroffen. Aangenomen is dat deze piek echter min of meer aan de basis ligt van de belemnietenpiek Bel 7. Alles wijst er op dat de Horizont van Benzenrade overeen kan komen met belemnietenpieken Bel 7 die in de in de boring Hombourg (Fig. 9) en Kastanjelaan (Fig. 13) en talrijke boringen in de Belgische kempen aangetroffen werden (Felder P.J. 2001a). Aan te nemen is dat de belemnietenpiek Bel 6 samenvalt met de Horizont van Terstraten. Beide pieken Bel 6 en Bel 7 vertegenwoordigen waarschijnlijk overigens maar één wijziging in de hoogte van de zeespiegel. Aan te nemen is dat de belemnietenpiek Bel 6 (de Horizont van Terstraten) de regressieve-, en de Horizont van Benzenrade de transgressieve beweging weergeeft van de zee.

De Horizont van de Zeven Wegen bleek na onderzoek van de afzettingen bij de Zeven Wegen, door middel van de bioklasten, lithologisch de ondergrens te zijn van de Kalksteen van Zeven Wegen maar niet van ecozone IIa en IIa*. Dit kon bevestigd worden door het vinden van belemnietenconcentraties (belemnietenpieken Bel 7 en Bel 6) in de boring te Hombourg (Fig. 9) en in de boring Kastanjelaan te Maastricht (Fig. 13). Dergelijke concentraties zij niet aangetroffen bij de Zeven Wegen. Deze bevinden zich eventueel dieper in het zogenaamde Zand van Terstraten in de lithologische Formatie van Vaals. Het vinden van de ammoniet *Hoplitoplacenticeras marroti* (Kennedy 1986) in het Zand van Terstraten bij de Zeven Wegen wijst erop dat dit zand in ouderdom overeenkomt met ecozone IIa. Dit duidt erop dat bij de Zeven Wegen in ecozone IIa twee verschillende facies te vinden zijn namelijk een deel dat tot ecozone IIa (kalkig) gerekend wordt en een deel dat tot ecozone II* (zandig) behoort en dat gelijk gesteld kan worden aan het Zand van Benzenrade.

De Horizont van Terstraten is bij de Zeven Wegen niet ontsloten en kon daar dus ook niet onderzocht worden. Deze Horizont is mogelijk wel te ontsluiten bij Terstraten in een holle weg (Felder W.M. & Bosch 2000). De dikte van het Zand van Terstraten bedraagt aldaar ongeveer vijf meter. Het is achteraf gezien jammer dat deze afzetting niet onderzocht is op

bioklasten. Misschien hadden we hier de belemnietpieken (BeI 7 en BeI 6) kunnen aantreffen die overal elders gevonden werden.

Uit het verdere onderzoek van de bioklasten bleek dat niet alleen in Kunrade en omgeving een zandig/kleiige facies is afgezet in bioklasten-ecozone IIa (hier nu beschreven als ecozone IIa*). Daar waar beide facies boven elkaar voorkomen zoals in de boring Hombourg (Fig. 9) en in de boring Banholt (Felder P.J. 2003), is ecozone IIa dan ook verdeeld in een ecozone IIa* deel (overeenkomend met het Zand van Benzenrade uit de Formatie van Vaals) en een kalkig ecozone IIa deel (de Kalksteen van de Zeven Wegen uit de Formatie van Gulpen). Via het bioklastenonderzoek moet uiteindelijk de conclusie getrokken worden dat het Zand van Benzenrade overeen kan komen met het zand van Terstraten, zoals Albers reeds in 1978 veronderstelde (zie hierboven). Dit was voor mij de aanleiding om in het vervolg de top van ecozone I te leggen bij Belemnietpiek BeI 7, dus bij de Horizont van Benzenrade.

Aanwijzingen hiervoor kunnen we vinden in het dwarsprofiel via de afzettingen op de schouder van de Roerdalslenk (bovenste figuur in Fig. 10). De Horizont van Benzenrade, die in dit profiel als een horizontale lijn is aangehouden, kan niet met het aan weerszijden liggende Lichtenberg hiaat gecorreleerd worden. In een volgend dwarsprofiel (Fig. 16) waarbij de Horizont van Lichtenberg (Lichtenberg hiaat) als horizontale lijn is aangehouden is te zien dat het hiaat bij de Horizont van Lichtenberg naar het noordwesten toe kleiner wordt. Bedraagt het hiaat bij de Lousberg een gedeelte van ecozone I, de ecozones IIa* en IIb en III, en verder het grootste gedeelte van ecozone IV, bij Kunrade ontbreekt alleen maar een gedeelte van ecozone IIb, de complete ecozone III en het grootste deel van ecozone IV. Ook in de boringen 55 en 67 is aan te nemen dat er een soortgelijk hiaat bij de Horizont van Lichtenberg als in Kunrade aanwezig is. Dit alles betekent dat het gebied ten noordwesten van de Laurensberg breuk (Kunrader blok) gedurende de afzetting van ecozone I een continu dalend gebied was en er weinig of geen erosieniveaus in aanwezig zijn.

De Horizont van Loën, die bij Halembaye de top vormt van ecozone I en de Formatie van Vaals, is een erosieniveau dat een hiaat vormt waarin de Horizonten van Terstraten en Benzenrade in verborgen zijn.

Tektonische en eustatische bewegingen gedurende de afzetting van de Formatie van Vaals.

De dikte van de lithologische eenheid Formatie van Vaals, zoals geformuleerd door Felder W.M. in 1975 en Felder W.M. & Bosch in 2000, van minder dan 1 meter tot 150 meter geeft reeds aan dat sterke tektonische bewegingen actief waren tijdens het ontstaan van deze Formatie. Vooral in de omgeving van Walem, bij Valkenburg, Kunrade-Benzenrade, Aken en Vaals ontstonden de grootste dikten, waaruit afgeleid kan worden dat deze streek gedurende de afzetting van de Formatie van Vaals steeds daalde. Het lijkt erop dat het Ardennen blok in deze periode naar het noordwesten toe kantelde (Fig. 10 bovenste deel en Fig. 11).

De variatie van de bioklasten in deze afzettingen laten overigens zien dat er ook schommelingen in het zeeniveau plaats vonden. In de verkorte "Formatie van Vaals" (ecozone Ib, Ic en Id), tot aan de Horizont van Benzenrade konden niet minder dan zes belemniet-niveaus onderscheiden worden die een gevolg zijn van tektonische of eustatische bewegingen. De door Felder W.M. en P.W. Bosch (2000) beschreven Formatie van Vaals bevat echter ook de afzettingen van het Zand van Benzenrade (= ecozone IIa*, een equivalent van ecozone IIa en IIb). Deze ecozone bevat ook nog eens acht belemniet- en pelecypoda niveaus die de tektonische en eustatische bewegingen gedurende deze afzettingen weerspiegelen. Om de tektonische bewegingen tijdens de afzetting van de gehele Formatie van Vaals uitvoerig te beschrijven is het noodzakelijk om daarbij ook de afzettingen het Zand van Benzenrade (ecozone II*) en de kalkige equivalente afzettingen (de ecozones IIa en IIb) te betrekken.

Daarom zullen we deze ecozones eerst beschrijven en dan pas de tektonische en eustatische bewegingen tijdens de Formatie van Vaals beschrijven.

Ecozones IIa, IIa*, IIb en IIc

Deze ecozones bestaan uit vier verschillende lithologische eenheden namelijk: De Kalksteen van Zeven Wegen, het Zand van Benzenrade, de Kalksteen van Beutenaken 1 en Beutenaken 2.

Ecozone IIa (Kalksteen van Zeven Wegen)

De typelokaliteit van de Kalksteen van Zeven Wegen met de Horizont van Zeven Wegen aan de basis en de Horizont van Bovenste Bosch aan de top werd in 1985 bij Zeven Wegen onderzocht. Omdat aldaar geen doorlopend profiel aanwezig was, maar wel de ontsluitingen 62B-48, 62B-15, 62B-15a, 62B-15b en 62B-15d, moesten handboringen gemaakt worden om een totaal profiel te krijgen. Omdat de ontsluiting 62B-15a de diepste en langste ontsluiting was werden aldaar monsters genomen en een boring gemaakt tot in het Vaalsergroenzand onder de Horizont van Zeven Wegen. Vroeger werd ervan uitgegaan dat bij de Zeven Wegen een volledig profiel van de Kalksteen van Zeven Wegen aanwezig was. Dat bleek achteraf niet zo te zijn. Na bemonstering en onderzoek werd ontdekt dat de totale dikte van de Kalksteen van Zeven Wegen, die aldaar in 1952 nog geschat werd op 20 meter, maar 12.90 m te bedragen, terwijl elders dikten tussen 30 en 40 meter gemeten werden.

Via het bioklastenonderzoek bleek dat hier uitsluitend het bovenste deel van de Kalksteen ontsloten was (Fig. 17). Het onderste gedeelte van de bioklasten-ecozone IIa is hier ontwikkeld als Vaalsergroenzand (Zand van Terstraten, ecozone IIa*). Het sediment van de Kalksteen van Zeven Wegen in de typelocatie kon door middel van de bioklasten in de pelecypoden-eenheden PII 4, PII 5 en PII 6 ingedeeld worden. Een ander (voorlopig) probleem was dat in de typelocatie (62B-15b) de top van de Kalksteen van Zeven Wegen aangegeven werd met de Horizont van Bovenste Bosch. Bij het bioklasten onderzoek werd immers ontdekt dat bij de Zeven Wegen ook sediment aanwezig was dat volgens de bioklasten en foraminiferen tot de Kalksteen van Beutenaken gerekend mocht worden (Fig. 12 in Felder P.J. 2001a).

Om de bioklasten in ecozone IIa in te delen werd tenslotte een meer complete afzetting gebruikt, namelijk de afzetting van de Kalksteen van Zeven Wegen in de groeve CPL te Halembaye (Fig. 18). Lithologisch is de Kalksteen van Zeven Wegen aldaar aan de onderkant begrensd door de Horizont van Loën en aan de top door de Horizont van Froidmont. De Kalksteen van Zeven Wegen in de CPL groeve werd door middel van de bioklasten verdeeld in de pelecypoden-eenheden PII 1 t/m PII 6. Bij verder onderzoek bleek de Kalksteen van Zeven Wegen op verschillende plaatsen in Nederlands Limburg uit te wiggen. In de Belgische Kempen daarentegen en plaatselijk op het Massief van Brabant, werd overal een dikte rond de dertig/veertig meter gemeten evenals in de groeve CPL te Halembaye. De indeling in bioklasten-eenheden volgens de indeling in de CPL groeve kon daar meestal zonder veel problemen doorgevoerd worden.

Hieronder geven we een beschrijving van de diverse lithologische Horizonten die aangetroffen werden en waarmee de Kalksteen van Zeven Wegen begrensd wordt.

De Horizont van Zeven wegen bij de Zeven Wegen

Aan de basis van de Kalksteen van de Zeven Wegen werd in de boring bij ontsluiting 62B-15a, evenals in de ontsluiting 62B-48 een glauconietrijke laag gevonden met aan de basis daarvan de Horizont van Zeven Wegen. Het daaronder aangetroffen Vaalsergroenzand werd niet voldoende onderzocht en kon daardoor niet gedetermineerd worden door middel van de bioklasten. De belemnietenpiek BeI 7, die kenmerkend is voor de top van de bioklasten-

ecozone Id werd overigens niet aangetroffen. De vondst van een ammoniet *Hoplitoplacenticeras marroti* in de Formatie van Vaals bij de Zeven Wegen (Kennedy 1986) wees echter op een Boven Campanien ouderdom zodat vermoed wordt dat de hier ontsloten top van de Formatie van Vaals, het equivalent is van het Zand van Benzenrade (ecozone IIa*). Het is derhalve aannemelijk dat de Horizont van Zeven wegen een Horizont is die alleen daar voorkomt waar ecozone IIa in twee verschillende lithofacies is afgezet (ecozone IIa* en IIa, Fig. 11). Dit kon vastgesteld worden in de boring (123W-735) in Hombourg, België (Felder 2001a), en in de boring Reijmerstok/Banholt (Felder P.J. 2002). Aldaar bleken de pelecypoda-eenheden uit bioklasten-ecozone IIa, PII 1 en PII 2 afgezet te zijn in een Terstraten-Benzenrader facies (Fig. 8).

De Horizont van Loën in Halembaye

In W.M. Felder & Bosch (2000) is aangegeven dat de Horizont van Zeven Wegen zou overeenkomen met de Horizont van Loën (fig. 4.13 in W.M. Felder & Bosch 2000). Hierboven is al aangegeven dat de Horizont van Zeven Wegen een grens is tussen twee verschillende lithofacies, namelijk de bioklasten-ecozones IIa* en IIa. De Horizont van Loën daarentegen is een grens tussen bioklasten-ecozone I en bioklasten-ecozone IIa en is dus een andere grens dan de Horizont van Zeven Wegen. De Horizont van Loën in Halembaye vormt een hiaat (erosieniveau) aan de top van ecozone I waarin de Horizonten van Terstraten en Benzenrade verborgen zijn.

De Horizont van Bovenste Bosch bij de Zeven Wegen

De top van de Kalksteen van Zeven Wegen is aangegeven met de Horizont van Bovenste Bosch (W.M. Felder & Bosch 2000). Aan de top van de ontsluiting 62B-15b werden echter twee verschillende (hardgrounds) gevonden die rijk zijn aan Belemnieten. Nadat vastgesteld was dat het sediment dat de onderste hardground bedekte, foraminiferen bevatte uit de zone B van Hofker (Felder P.J. & Bless 1994), werd dit sediment als een restant aangezien van de Kalksteen van Beutenaken. Daarom werd voorheen verondersteld dat de top van de hardground aan de top van de Kalksteen van Zeven Wegen eventueel de Horizont van Slenaken kon zijn. De top van de tweede hardground, met daarboven weer een belemnietrijke afzetting, zou dan de Horizont van Bovenste Bosch zijn, de basis van de Kalksteen van Vijlen (Fig. 12 in Felder P.J. 2001a). Nu wordt verondersteld dat de afzettingen tussen de onderste hardground en de bovenste hardground waarschijnlijk verspoelde resten zijn uit de Kalksteen van Beutenaken, zodat de top van de onderste hardground de Horizont van Bovenste Bosch is. De erboven liggende afzettingen behoren dus tot ecozone III. De tweede hardground komt overeen met het hiaat van de Horizont van Böckler (Fig. 17 en 23). Hieruit blijkt dat bij de Zeven Wegen de Horizont van Bovenste Bosch een hiaat is dat meerdere Horizonten kan omvatten vanaf de Horizont van Slenaken tot en met de Horizonten binnen de afzettingen in Vijlen 0 tot en met Vijlen 4. De boven de Horizont van Böckler liggende afzettingen behoren tot Vijlen 5 van ecozone III.

De Horizont van Froidmont is een groot hiaat

Bij Halembaye, in de CPL groeve, vormt de Horizont van Froidmont de top van de Kalksteen van Zeven Wegen (Fig. 18). Deze Horizont is door Werner Felder gecorreleerd met de Horizont van Bovenste Bosch (W.M. Felder & Bosch 2000). Het boven deze Horizont liggende sediment in Halembaye kon via de bioklasten gedetermineerd worden als een gedeelte van Vijlen 5 uit ecozone III, zodat aldaar de afzettingen van de Kalksteen van Beutenaken (ecozone IIb) en de afzettingen Vijlen 0 tot en met Vijlen 4 van de Kalksteen van Vijlen (ecozone III) ontbreken. De Horizont van Froidmont is derhalve eenzelfde hiaat als de Horizont van Bovenste Bosch bij de Zeven Wegen, namelijk vanaf de Horizont van Slenaken

tot aan de Horizont van Bovenste Bosch en de Horizonten binnen de afzettingen in Vijlen 0 tot en met Vijlen 4 tot aan de Horizont van Böckler.

Ecozone IIa* (Zand van Benzenrade)

Het Zand van Benzenrade (ecozone IIa*) is reeds hierboven beschreven, bij de Formatie van Vaals, waarbij geconcludeerd werd dat deze afzetting een equivalente afzetting is van ecozone IIa, de Kalksteen van Zeven Wegen en ecozone IIb de Kalksteen van Beutenaken 1.

Ecozone IIb (Kalksteen van Beutenaken 1)

De typelokaliteit van de Kalksteen van Beutenaken, met aan de basis de Horizont van Slenaken en aan de top de Horizont van Bovenste Bosch, kon in 1984 over de grootste lengte onderzocht worden door het graven van een sleuf in de groeve Habets te Slenaken en het bemonsteren van deze gleuf (Fig. 19). De top kon echter niet in de groeve onderzocht worden. De Horizont van Bovenste Bosch (vroeger het belemnietenkerkhof genoemd) was wel in het bovenliggende weiland aanwezig maar werd niet bemonsterd. Indertijd werd er van uitgegaan dat dit geen nieuwe inzichten zou opleveren.

Het onderzoek van de Horizonten behorende bij de Kalksteen van Beutenaken 1

De Horizont van Slenaken.

De Horizont van Slenaken die de basis vormt van de Kalksteen van Beutenaken werd pas ontdekt nadat Hofker een andere samenstelling van foraminiferen had aangetroffen in het bovenste deel van de “schrijfkrijtachtige” afzettingen die oorspronkelijk tot het “Krijt van de Zeven Wegen” gerekend werden (rond 1956). Door het graven van sleuven werd in Beutenaken en in het Onderste Bosch een glauconietlaagje ontdekt ongeveer in het midden van de daar aanwezige “schrijfkrijtachtige” afzettingen (Fig. 19). De onderkant van dit glauconietlaagje werd later de Horizont van Slenaken genoemd. De Horizont van Slenaken geeft waarschijnlijk het begin aan van grote tektonische veranderingen die in het Zuid Limburgse gebied plaats vonden en gevolgd werden door het hiaat behorende bij de Horizont van Bovenste Bosch.

De Horizont van Bovenste Bosch

De top van de afzetting van de Kalksteen van Beutenaken, in Nederlands Limburg, werd onderzocht in de Bovenste Bosch groeve, de typelokaliteit van de Horizont van Bovenste Bosch (Felder P.J. & Bless 1994). De afzettingen boven de Kalksteen van Beutenaken in deze groeve bleken een samenstel te zijn van diverse verschijnselen zoals opgevulde graafgangen, hardgrounds, erosielagen en hiaten, die vroeger het belemnietenkerkhof genoemd werden. Een poging om de hier afgezette restanten in volgorde te ontrafelen is bijzonder moeilijk. Duidelijk is echter dat boven deze wirwar van afzettingen alleen de bovenste lagen van de Kalksteen van Vijlen (Vijlen 6, ecozone III) afgezet zijn. Tussen de Horizont van Bovenste Bosch en deze bovenste lagen van de Kalksteen van Vijlen (Vijlen 6) zijn misschien nog de restanten van Vijlen 0-5 aanwezig in de vorm van menglagen. Duidelijk is dus ook hier dat de Horizont van Bovenste Bosch een hiaat vormt, tezamen met de Horizont van Böckler, dat alle afzettingen uit ecozone III omvat, dus het grootste deel van de Kalksteen van Vijlen. Uiteraard kunnen in de aldaar liggende restanten andere, oudere elementen ingespoeld zijn. De Horizont van Bovenste Bosch is een grote regressieve fase die veel later nog gevolgd werd door een volgende regressieve fase van de Horizont van Böckler en toen pas gevolgd werd door een transgressieve fase. Zie daarvoor de beschrijving van de Horizont van Bovenste Bosch als basis van de Kalksteen van Vijlen (ecozone III).

Indeling van de Kalksteen van Beutenaken via bioklasten

In Beutenaken en elders in Nederlands Limburg, was het gemakkelijk de Kalkstenen van Beutenaken 1 te herkennen aan de grote hoeveelheid prismatische fragmenten van pelecypoda (Fig. 19). Bij pogingen om in Nederlands Limburg meer en betere ontsluitingen dan in Beutenaken te vinden werd steeds weer vastgesteld dat aan de top van de Kalksteen van Zeven Wegen en Beutenaken een gemengde laag (vroeger ook wel Belemnietenkerhof genoemd) aanwezig was die min of meer overeenkwam met de laag die aangetroffen werd in een ontsluiting bij het Bovenste Bosch. De Horizont van Bovenste Bosch bij Bovenste Bosch te Epen heeft een ietwat kleiner hiaat dan dat aangetroffen werd bij de Zeven Wegen. In de groeve bij Bovenste Bosch is immers nog een gedeelte van de Kalksteen van Beutenaken als normaal sediment aanwezig.

Ecozone IIc (Beutenaken 2)

Omdat in Nederlands Limburg geen bevredigend beeld verkregen werd van de Kalksteen van Beutenaken, werd vooral gekeken naar de opbouw van deze lagen in Belgisch Limburg, voornamelijk in de Belgische Kempen (Fig. 20 = Fig. 3 in Felder P.J. 1997). In de boringen aldaar werden meerdere belemnieten-niveaus aangetroffen die het mogelijk maakten bioklasten-ecozones te onderscheiden waaronder de bioklasten-ecozones II en III. Ecozone II kon in drieën gesplitst worden door middel van belemnietenpieken, waarbij ecozone IIa (Foramzone A) overeenkwam met de Kalksteen van Zeven Wegen. De erboven liggende bioklasten-ecozones IIb en IIc vertegenwoordigden sedimenten waarvan aangenomen werd dat die afgezet werden in de “Beutenaken periode”. Aan de basis werden immers foraminiferen gevonden uit de foramzone B van Hofker. Om geen aparte namen te geven werden deze afzettingen eenvoudig Beutenaken 1 (=bioklasten-ecozone IIb) en Beutenaken 2 (=bioklasten-ecozone IIc) genoemd (Felder P.J. 1997).

We veronderstellen nu echter dat Beutenaken 2 in de Belgische Kempen grotendeels bestaat uit geërodeerd materiaal uit de in Nederlands Zuid Limburg aangetroffen erosiegeul, die ontstond na de afzetting van ecozone IIb (Beutenaken kalksteen 1). Als dat juist is moeten we deze afzettingen echter tot de Kalksteen van Vijlen (ecozone III) rekenen, (zie daarom de verdere beschrijving bij ecozone III). Aangezien in de Belgische Kempen meerdere belemnieten-niveaus aangetroffen werden was het uiteraard moeilijk om “*het Belemnietenkerhof*” te herkennen. De Foraminiferen die in Nederlands Limburg heel vaak een goede hulp waren lieten ons in de Belgische Kempen ook al in de steek. De sedimenten aldaar, vooral in de Oost Kempen, bestonden vaak uit kalkige- of mergelige-lagen met veel glauconiet waarin de kenmerkende soorten ontbraken. Dit was de aanleiding om indertijd de term Pré-Valkenburg voor dergelijke lagen in te voeren. Dit alles vorm nu de aanleiding om in de Belgische Kempen andere namen te kiezen voor de grenzen tussen de daar aangetroffen afzettingen dan in Nederlands Limburg (zie verderop).

De tektonische en eustatische bewegingen tijdens de Formatie van Vaals, en de afzettingen van Ecozone I, IIa*, IIa, en IIb.

Het is bijzonder moeilijk de tektonische activiteiten te reconstrueren van deze afzettingen omdat we maar weinig afweten van de totale tektoniek die plaats gevonden heeft. In het verleden zijn reeds diverse pogingen ondernomen om tektonische overzichtkaarten samen te stellen. Voor het samenstellen van de hier gebruikte tektonische kaarten (Figs 5 en 6) heb ik gebruik gemaakt van de laatste geologische kaarten (Geologische kaarten van Zuid Limburg en omgeving 1:50 000, het Pré Kwartair (Felder W.M. & Bosch 1984) en het Paleozoïcum (Ruyters et al. 1995).

Diverse blokken

Via het tektonisch onderzoek bleek dat de onderzochte streek in drie gebieden te onderscheiden is (Fig. 5). Gebied een is het Ardennen gebied dat de afzettingen omvat die gelegen zijn tussen de Ardennen (het Massief van Stavelot) tot bij de Roerdal slenk, het Nederlands Zuid Limburgse gebied. Gebied twee zijn de afzettingen die liggen op de schouder van de Roerdalslenk en in de Roerdalslenk zelf, die onderverdeeld zijn in meerdere kleine blokken. Tenslotte het gebied drie dat ligt tussen het Massief van Brabant en de schouder van de Roerdal slenk en dat voornamelijk de Belgische Kempen omvat. Deze drie gebieden hebben soms afzonderlijke tektonische bewegingen ondergaan tijdens de afzettingen uit het Boven-Krijt.

De afzettingen van het Vaalsergroenzand (met het Zand van Benzenrade dat volgens het bioklastenonderzoek al tot ecozone IIa* en IIb behoort), werden reeds eerder beschouwd als ontstaan tengevolge van tektonische bewegingen en in het bijzonder tengevolge van de inversie van de Roerdal slenk (Kuyl 1983).

Tijdens de afzetting van het Boven-Krijt, hadden naast tektonische bewegingen langs nieuwe breuken ook nog bewegingen plaats van de ondergrond langs oude breuken en plooingen, waardoor vooral de afzettingen van de Formatie van Aken en de Formatie van Vaals plaatselijk ontbreken of geringer van dikte zijn. Dergelijke opwelvingen van de bodem gedurende de afzetting van de Formatie van Aken en Formatie van Vaals waren reeds eerder bekend, vooral uit het Mijngedebiet, onder anderen bij de anticlinaal (Flexuur) van Put en Krawinkel, de anticlinaal van Waubach en Visé enz. (Muller 1945). Het onderzoek van de boring Reijmerstok-Banholt (Felder 2002) gaf verdere aanwijzingen dat ook daar tijdens het ontstaan van de Formatie van Aken en de Formatie van Vaals een opwelving van de bodem had plaats gevonden van rond 37 meter hoogte (Fig. 21, onderste en bovenste gedeelte). Hierdoor ontbreekt op deze plaats de Formatie van Aken en is ecozone I in totaal maar 24 meter dik. De Formatie van Vaals bestaat aldaar uit twee verschillende facies, namelijk bioklasten-ecozone I, van 24 m dikte, en uit een 12 m dikke zandig, siltige, glauconiethoudende laag, die lithologisch tot de Formatie van Vaals hoort, maar volgens de bioklasten reeds tot bioklasten-ecozone IIa* behoort. Deze boring liet duidelijk zien dat dergelijke opwelvingen ertoe konden leiden dat aan weerszijden van een opwelving verschillende dikten van sedimenten ontstonden maar ook faciële verschillen.

Ook bij de boring Thermae te Valkenburg vond een opheffing (50m) plaats van de bodem, mogelijk tengevolge van de Anticlinaal van Puth en/of door middel van de Klauwpijp breuk. Er mag dus verondersteld worden dat in Nederlands Zuid Limburg, het gebied tussen de Ardennen en de Roerdalslenk, een aantal oude plooingen en mogelijk zelfs oude breuken hernieuwd actief werden. Dit werd uiteraard sterk beïnvloed door de inversie van de Roerdalslenk. De ruimte tussen de tektonische elementen werd immers door deze bewegingen steeds geringer. Tengevolge daarvan ontstonden opwelvingen van de bodem waardoor aldaar weinig of geen sediment werd afgezet. Tenslotte werden op de schouder van de Roerdalslenk kleine blokken apart actief. Ze maakten afzonderlijke bewegingen of kantelden.

Ook de afzettingen tussen het Massief van Brabant en de Roerdalslenk, in de Belgische Kempen, werden tengevolge van de inversie van de Roerdalslenk sterk beïnvloed. Door deze tektonische bewegingen is de lithologische Formatie van Vaals daar bijzonder moeilijk te onderscheiden en in te delen naar ouderdom. Samengevat moeten we vaststellen dat gedurende lange tijd zodanige vervuilingen van het sediment plaats vonden dat in de Belgische Kempen ook nog gedurende de afzettingen van de Formaties van Gulpen en Maastricht nog steeds lithologische afzettingen plaats vonden die tot de Formatie van Vaals gerekend kunnen worden. Veel lithologische grenzen binnen de Formatie van Vaals zijn aldaar derhalve lithofaciële, diachrone grenzen.

Tijdens het bioklastenonderzoek konden in de afzettingen, die tot de lithologische Formatie van Vaals gerekend worden, naast dertien belemnietenpieken een groot aantal pieken in de pelecypoda vastgesteld worden waaruit af te leiden is dat naast de tektonische- ook eustatische bewegingen plaats vonden. Indertijd (Fig. 7) is reeds gepoogd een summier beeld te geven welke zeespiegelveranderingen overeenkomen met de in Nederlands Limburg gebruikelijke benamingen.. Hieronder is nu gepoogd de tektonische bewegingen zichtbaar te maken uitgaande van een aantal hieronder te bespreken dwarsprofielen.

Dwarsprofielen door de schouder van de Roerdalslenk en het Ardennen blok.

De tektonische bewegingen tijdens de afzetting van de Formatie van Aken (ecozone Ia) zijn hierboven reeds beschreven en weergegeven in Fig. 10, onderste gedeelte. Hieruit bleek dat er toen een zuidoost gerichte daling optrad die bij de Lousberg het meeste daalde. Deze zuidoost gerichte daling van de schouder van de Roerdalslenk werd afgesloten met de Horizont van Raren die de basis vormt van de Formatie van Vaals. In de bovenste doorsnede (Fig.10) is aangenomen dat de Horizont van Benzenrade (= top van ecozone Id) ook een horizontale lijn is geweest. Tussen de onderzochte profielen van de Lousberg te Aken en de boring de Dael te Benzenrade zijn grote dikte verschillen te zien. (De schacht Sophia die tussen beide profielen ligt is door mij niet onderzocht maar is wel geïnterpreteerd (met vraagtekens). De dikte toename van de afzettingen in noordwestelijke richting is echter evident. Hieruit blijkt reeds dat er in plaats van de zuidoost gerichte daling gedurende de afzetting van de ecozones Ib, Ic en Id een noordwest gerichte daling plaats vond.

Bij de Lousberg vormt het Lichtenberg hiaat de top van de Formatie van Vaals. Het is niet aan te nemen dat het Lichtenberg hiaat gelijk te stellen is met de Horizont van Benzenrade. Naar alle waarschijnlijkheid is bij de Lousberg namelijk een gedeelte van de Formatie van Vaals geërodeerd en moet men de top van de oorspronkelijke Vaalsafzettingen rond dertig meter hoger projecteren. De schouder van de Roerdalslenk blijkt uit een drietal kleinere blokken te bestaan, namelijk het Lousberger blok, het Kunrader blok en het Wijnandsrader blok. Het Lichtenberg hiaat op het Wijnandsrader blok kan men ook niet gelijk te stellen met de Horizont van Benzenrade op het Kunrader blok. Dit maakte het noodzakelijk een volgende tekening te maken waarbij het Lichtenberg hiaat bij de Lousberg en op de Wijnandsrader blok aangehouden zijn als horizontale lijn (Fig. 16). In deze tekening is te zien dat op het Lousberger blok de Horizont van Lichtenberg een hiaat vormt, dat de bovenste ecozones Ic en Id, de ecozones II en III en het grootste deel van ecozone IV omvat. Bij Kunrade omvat het hiaat een gedeelte van ecozone IIb, ecozone III en eveneens het grootste deel van ecozone IV. De boringen 55 en 67 (Muller 1945) zijn door mij niet onderzocht maar de doorboorde lagen werden in het verleden beschreven als Vaalser- en Kunrader afzettingen. Aangenomen wordt nu dat de Vaalsafzettingen in deze boringen overeenkomen kunnen komen met het Zand van Benzenrade, dus waarschijnlijk binnen ecozone IIa* en IIb afgezet zijn. Het Lichtenberg hiaat op het Wijnandsrader blok zal naar alle waarschijnlijkheid even groot zijn als op het Kunrader blok. Duidelijk is nu dat de Laurensberg breuk en de Kunrader Breuk actief geweest zijn tijdens de afzettingen van de ecozones I en II. Verder is blijkt dat de Laurensberg breuk tegengesteld gewerkt heeft ten opzichte van de Kunrader breuk. Het Lousberger blok maakte namelijk na de afzetting van de Formatie van Vaals een opwaartse beweging, waardoor erosie plaats vond op dit blok van eerder afgezette sedimenten. Het Kunrader blok maakte echter gedurende de afzetting van de Formatie van Vaals nog steeds een dalende beweging naar het noordwesten waardoor hier de grootste dikte van de Formatie van Vaals (ecozones Ib, Ic, Id, IIa* en IIb) ontstond. Het Wijnandsrader blok maakte waarschijnlijk pas later, tijdens de afzetting van ecozone IIa*, een dalende beweging. Tijdens de afzetting van de Formatie van Vaals ontstond derhalve op de schouder van de Roerdalslenk een omgekeerde beweging ten opzichte van de tektonische beweging tijdens de afzetting van de Formatie van Aken. De

zuidoost gerichte daling werd omgekeerd in een noordwestelijke daling. Maar ook het gehele Ardennen blok kantelde naar het noordwesten toe (Fig. 11), waardoor bij Walem, bij Valkenburg en Kunrade grote dikten ontstonden van de Formatie van Vaals.

De opwaartse beweging van het Lousberger blok en de erosie die daarvan een gevolg was, had tijdens de afzetting van ecozone II tot gevolg dat niet alleen op het noordelijk deel van het Kunrader blok en op het Wijnandsrader blok Zand van Benzenrade (ecozone IIa*) afgezet werd, maar ook op het noordwestelijk gedeelte van het Ardennen blok. Om de op het Ardennen blok beschreven afzettingen te verduidelijken zijn in het dwarsprofiel (Fig. 11) ook de sedimenten aangegeven die boven de Horizont van Benzenrade aangetroffen zijn. Duidelijk blijkt daaruit dat boven deze lijn diverse afzetting ontstaan zijn. Bij Vaals en de boring Hombourg ligt ecozone IIa* (Zand van Benzenrade) en bij de boring Moors ecozone IIa (Kalksteen van Zeven Wegen) boven de Horizont van Benzenrade. In de Ardennen is ecozone IIa verweerd tot een vuursteeneluvium. De wigvormige afzettingen van ecozone IIa* mogen we hier beschouwen als vervuilde sedimenten tengevolge van erosie vanaf het Lousberg blok.

Bij Hockay in de Belgische Ardennen kon de top van een basisconglomeraat van de eluviale afzettingen aldaar gedetermineerd worden als de Horizont van Zeven Wegen = Loën. De Formatie van Vaals is hier dus uitsluitend vertegenwoordigd door een basisconglomeraat. Dit betekent dat het centrale deel van de Ardennen tijdens de afzetting van de Formatie van Aken en Vaals steeds een hoog is geweest. Tijdens de afzetting van ecozone IIa* en IIa, daalden niet alleen de Ardennen tot onder het sedimentatie niveau maar ook gedeelten van de schouder van de Roerdal slenk en het gehele Massief van Brabant, er was toen een groot vlak sedimentatieniveau ontstaan.

Het Lichtenberg hiaat, op de Lousberg, dat op dezelfde hoogte geplaatst is als de Horizont van Benzenrade (Fig. 11) heeft geen andere betekenis dan dat ergens binnen dit Lichtenberg hiaat de Horizont van Benzenrade verborgen aanwezig is. Houden we in dit profiel namelijk overal een horizontale lijn aan dan krijgen we een indruk van de minimale spronghoogte van de Laurensberg breuk, namelijk 60 meter. Waarschijnlijk bedroeg de spronghoogte van deze breuk echter meer. Tijdens de afzetting van de Formatie van Aken en Vaals (ecozone I en IIa*) bedroeg de sedimentatie op het Ardennen blok bij Vaals-Aken minimaal 170 meter.

Dwarsprofielen vanaf het Massief van Brabant tot in de Roerdalslenk

Om de tektonische en eustatische bewegingen van het Massief van Brabant te verduidelijken werden een tweetal dwarsprofielen getekend die de afzettingen in de Belgische Kempen, tussen het Massief van Brabant en de Roerdalslenk, weergeven. Het eerste profiel (Fig. 22, onderste gedeelte) laat de ontwikkeling zien van de afzettingen zien tussen Landen en Molenbeersel. Aangenomen is in dit profiel dat de Horizont van Froidmont = het hiaat van Horizont van Bovenste Bosch en de Horizont van Helchteren met elkaar te correleren zijn en dat ze min of meer een horizontale lijn gevormd hebben. In de boringen Opitter en Molenbeersel werden geen afzettingen aangetroffen die overeen kwamen met ecozone I of II. De totale dikte van de afzettingen in de boring KS 17, tot aan de Horizont van Helchteren, bedraagt 105 meter. De afzetting van de Formatie van Aken (ecozone Ia) is in de Belgische Kempen bij boring KS 17 maar gering. Ook de afzettingen van ecozone Ib zijn aanmerkelijk dunner dan in Vaals. Dat betekent dat de bodem hier gedurende de afzettingen van ecozone Ia en Ib minder gedaald is (of minder opgevuld) dan bij Vaals. De bovenliggende afzettingen (ecozone IIa*) tot aan de Horizont van Slenaken zijn in verhouding ook dunner dan de ecozone II afzettingen bij Velm, dus ook toen werd er nog minder gesedimenteerd. De dikte toename van ecozone IIb wijst erop dat de bodem in de Belgische Kempen sneller begon te dalen.

De belangrijkste tektonische/eustatische bewegingen gedurende de afzetting van ecozone IIa is het dalen van het Massief van Brabant, de Ardennen en gedeelten van de schouder van de Roerdal slenk tot onder het sedimentatieniveau. Door deze neerwaartse bewegingen werden erosieresten van het omhoogkomende centrale deel van de Roerdalslenk naar de Kempen getransporteerd, die lithologisch als Zand van Benzenrade beschreven zijn (zie hierboven). Vroeger werd algemeen aangenomen dat de zeespiegel sterk gestegen was en dat de Kalksteen van Zeven Wegen was afgezet in een zee met diepten tot 200-300 meter. Gezien de bioklasten-samenstelling van de bioklastenecozones IIa en IIa* is dit echter niet aannemelijk. Veel aannemelijker is het, dat in het gehele hier besproken gebied een vlakke rustige, ondiepe kustzee tot maximaal 50 meter diepte ontstaan is, waarin deels “schrijfkrijt” afgezet werd en deels glauconiethoudende kleiig/zandige afzettingen met vrij veel bioklasten. In het centrale deel van de toenmalige Noordzee, waar de zeediepte aanmerkelijk dieper was, werd “schrijfkrijt” zonder bioklasten (van 1-2.4 mm) afgezet (Felder P.J. 2001b). In de brede strook langs de kust werden meer en meer bioklasten van 1-2.4 mm afgezet, en kon een correlatie van de afzettingen door middel van bioklasten over zeer grote afstanden doorgevoerd worden. Binnen de Kalksteen van Zeven Wegen werden evenals in het Zand van Benzenrade een zevental belemnietenpieken aangetroffen die kleinere tektonische/eustatische bewegingen weerspiegelen.

De daling van het Massief van Brabant zette zich ook voort in ecozone IIb die afgezet werd op de plaats van de boring KS 17. Bij Dendermonde werd zelfs boven op het Massief van Brabant ecozone IIb nog gedeeltelijk afgezet (Fig. 22, bovenste gedeelte). De mogelijkheid is derhalve aanwezig dat deze ecozone over grotere oppervlakten van het Massief van Brabant is afgezet, maar later door erosie is verdwenen.

Na de tijdelijke daling van het Massief van Brabant, tijdens de afzetting van ecozone IIa en IIb, maakte het massief waarschijnlijk weer een opwaartse beweging, zodat ecozone IIc nog uitsluitend in het Kempense gebied afgezet werd. Met het omhoog komen van het Massief van Brabant onstond daar een hiaat dat overeenkomsten heeft met de Horizont van Froidmont, Bovenste Bosch, Böckler en Helchteren (Fig. 22).

Het was in de Belgische Kempen niet mogelijk om dezelfde Horizonten aan te houden als op het Ardennen blok (zie de beschrijvingen hieronder). In de dwarsprofielen (Fig. 22), is aangenomen, dat de Horizont van Froidmont, Bovenste Bosch en Böckler te correleren zijn met de Horizont van Helchteren en dat ze samen een horizontale lijn gevormd hebben. De totale dikte van de afzettingen in de boring KS 29 bedraagt 115 m, voornamelijk veroorzaakt door een grotere daling bij boring KS 29. Deze figuur toont duidelijk dat de afzettingen (Pré-Valkenburg) langs de rand van de Roerdalslenk beïnvloed zijn door de omhoogkomende Roerdalslenk. In de boring BGD 172 werden “Vaalsachtige afzettingen” aangetroffen, terwijl op het Massief van Brabant en de Boringen KS 29 en KS 46 boven de Horizont van Loën (Zeven Wegen) “schrijfkrijt” met vuurstenen aangetroffen werden.

Beschrijving van de Horizonten in de Belgische Kempen aangegeven in figuur 22.

De Horizont van Hergenrath.

In de Belgische Kempen is, evenals in Nederlands Limburg, de Horizont van Hergenrath aangehouden als grens tussen de onderliggende oudere Formaties en de Formatie van Aken.

De Horizont van Raren

In de Belgische Kempen, is evenals in Nederlands Limburg, de Horizont van Raren aangehouden om de grens tussen de Formatie van Aken en Vaals aan te duiden.

Niet benaamde Horizonten

De aangetroffen belemnietenpieken BeI 3 en BeI 5 die gebruikt werden om de Formatie van Vaals in te delen in de ecozones Ib en Ic zijn niet van een naam voorzien.

De Horizont van Terstraten

Deze Horizont is hier ook, zoals elders, bij de belemnietenpiek BeI 6 gelegd.

De Horizont van Loën

Is evenals bij Halembaye de scheidslijn tussen ecozone I Formatie van Vaals en ecozone IIa de Kalksteen van Zeven Wegen en is een regressief erosieniveau dat eventueel te correleren is met de transgressieve Horizont van Benzenrade, die ook de scheidslijn vormt tussen ecozone I (Formatie van Vaals) en de zandig kleiige afzettingen IIa* (Zand van Benzenrade).

De Horizont van Benzenrade

Deze is evenals in het Ardennengebied gelegd bij belemnietenpiek BeI 7, aan de top van de Formatie van Vaals op die plaatsen waar ecozone IIa*, het Zand van Benzenrade, voorkomt.

De Horizont van Zeven Wegen

Is hier ook aangehouden als de grenslijn tussen het Zand van Benzenrade (ecozone IIa*) en de Kalksteen van Zeven Wegen (ecozone IIa).

De Horizont van Slenaken vormt evenals op het Ardennen blok de scheiding tussen ecozone IIa en IIb.

De Horizont van Froidmont

Deze Horizont is een groot hiaat dat momenteel gecorroleerd wordt met de hiaten van de Horizonten Bovenste Bosch, Böckler, Helchteren en eventueel ook met de Horizont van Gruitrode.

De Horizont van Helchteren

Vormt de top van ecozone IIb in de Belgische Kempen.

De Horizont van Gruitrode

Zie bij ecozone III

Ecozone III, gedeelte van de Kalksteen van Vijlen

De Kalksteen van Vijlen omvat volgens W.M. Felder (1975) alle afzettingen tussen de Horizont van Bovenste Bosch = Horizont van Froidmont en de Horizont van Wahlwiller = Horizont van Lixhe. Ecozone III daarentegen omvat daarentegen de afzettingen tussen de Horizont van Bovenste Bosch en de Horizont van Zonneberg (Fig. 23).

Pogingen om een beeld te krijgen van de Kalksteen van Vijlen werden reeds vroeg uitgevoerd. Samen met de Rijks Geologische Dienst werden bij Gulpen en Crapoel een aantal sleuven gegraven waarin gepoogd werd een overzicht te krijgen (Felder P.J. 1962). Indertijd werd in een insnijding van de tramweg bij Gulpen vastgesteld dat alle lagen tussen de Kalksteen van Vijlen en het Vaalsergroenzand uitwiggen (Fig. 2) tot een laagje van 2 cm (Felder P.J. 1962). Indertijd werd dat dunne laagje het “Belemnietenkerkhof” genoemd, en later gelijkgesteld aan de Horizont van Bovenste Bosch. Aan de top van het Vaalsergroenzand ontbraken hier alle lagen tot en met de Kalksteen van Beutenaken. Uit het onderzoek in Gulpen werd vastgesteld dat diepe erosiegeulen ontstaan waren na de afzetting van de Kalksteen van Zeven Wegen en de Kalksteen van Beutenaken. Bij Crapoel werd toen aan de top van de Kalksteen van Zeven Wegen een dikke laag glauconiet gevonden met rolsteentjes en enkele belemnieten-niveaus, gevolgd door de Kalksteen van Vijlen (ecozone III) ook deze laag werd later gelijkgesteld aan het “Belemnietenkerkhof”. Dit alles was voor ons aanleiding om de basis van de Kalksteen van Vijlen in de groeve van Vijlen te gaan zoeken door middel van een boring van 20 meter diepte, zelfs een handboring van 26 meter diepte in de Mamelisserberg gaf ons geen duidelijk beeld van hoe de Kalksteen van Vijlen opgebouwd was (Felder P.J. 1963). Het bioklastenonderzoek van de Kalksteen van Vijlen, dat begon met

het onderzoek van de boringen in de Kalksteen van Vijlen, werd pas enige tientallen jaren later opnieuw ter hand genomen (Felder P.J & Bless 1994). De groeve van de cementfabrieken van Vijlen, waarin de Kalksteen van Vijlen fraai ontsloten was bleek toen grotendeels opgevuld te zijn met stortmaterialen. Een monstername in deze groeve voor het bioklastenonderzoek was dus niet meer mogelijk.

Het onderzoek van de typelokaliteit.

De typelokaliteit, die door Werner Felder in Mamelis bepaald werd in een holle weg, was ook niet gemakkelijk te bemonsteren. Uiteindelijk werd de bemonstering met heel veel moeite uitgevoerd. Nadat de typelokaliteit van de Kalksteen van Vijlen in Mamelis onderzocht was op bioklasten bleek dat aldaar alleen het bovenste gedeelte te ontsluiten was. Een poging om bij het diepste punt van de monstersname een handboring te maken mislukte vanwege de beekafzettingen aldaar. Na navraag bij Werner Felder konden de monsters uit boring 62D-168 te Mamelis ter aanvulling van het typeprofiel onderzocht worden (Fig. 23). Het daarop volgende onderzoek van de ontsluiting van de Bovenste Bosch groeve, de typelokaliteit van de Horizont van Bovenste Bosch resulteerde in een publicatie (Felder P.J. & Bless 1994). Hierin werd de Kalksteen van Vijlen in zeven opeenvolgende afzettingen, Vijlen 0 t/m Vijlen 6, verdeeld op grond van de aangetroffen belemnieten, foraminiferen, ostracoden, bioklasten en de lithologie (Felder P.J. & Bless 1994). Mij is toen voor het eerst duidelijk geworden dat er behoorlijke zeespiegel-schommelingen en/of tektonische bewegingen hadden plaats gevonden vóór en tijdens de afzettingen van de Kalksteen van Vijlen. Hierdoor ontstonden strandgeulen mogelijk tot meer dan 100 meter diep, met aan de basis de Horizont van Bovenste Bosch, die later opnieuw opgevuld raakten met sediment terwijl op andere plaatsen hiaten ontstonden zoals bij de Zeven Wegen en het Bovenste Bosch maar ook op het Massief van Brabant en de schouder van de Roerdal slenk.

Om een beter inzicht te krijgen in de afzetting van de Kalksteen van Vijlen werden, na de publicatie van 1994, zoveel mogelijk boringen en ontsluitingen, waarin de Kalksteen van Vijlen aangetroffen was, op bioklasten onderzocht. Dit resulteerde in een volgende publicatie (Felder P.J. 1997). In deze publicatie werd de volle omvang van de strandgeulen via dwarsprofielen weergegeven, waarbij verondersteld werd dat het twee afzonderlijke geulen betrof. Verder kon aangegeven worden dat tijdens de afzetting van de Kalksteen van Beutenaken en de Kalksteen van Vijlen niet alleen sterke zeespiegel-schommelingen plaats vonden maar ook dat een noordwestelijke kanteling was opgetreden (Fig. 20 = Fig. 3 Felder P.J. 1997).

Bij het uitgebreide onderzoek van de Kalksteen van Vijlen bleek dat van alle bioklasten alleen de bioklasten van foraminiferen vergelijkbare gegevens opleverden. Door middel van de pieken in het voorkomen van foraminiferen kon toen de Kalksteen van Vijlen niet alleen verdeeld worden in zeven intervals maar ook door middel van 12 pieken in de foraminiferen (Fig. 23, pieken A t/m L). Correlaties door middel van de aangetroffen belemnieten-niveaus, die soms aangetroffen werden maar op andere plaatsen niet, konden niet uitgevoerd worden. Naar het schijnt waren dergelijke niveaus afhankelijk van de ligging ten opzichte van de rand van de strandgeulen en eventueel afhankelijk van erosie vanaf deze geulranden.

De publicaties omtrent de Kalksteen van Vijlen waren indertijd nog steeds gebaseerd op het gegeven dat gedetermineerde belemnieten en foraminiferen belangrijker waren dan de lithologie en de bioklasten, ook al ging ik steeds meer twijfelen aan de interpretaties die getrokken werden uit de aangetroffen belemnieten en foraminiferen-samenstelling in de sedimenten van de Kalksteen van Vijlen, de zogenaamde Kalksteen van Beutenaken boven de Horizont van Bovenste Bosch en bij de grens met de Kalkstenen van Lixhe. De gehele afzetting van de Kalksteen van Vijlen is immers een opvulling van strandgeulen die ontstond

nadat eerst geulen uitgespoeld waren en die daarna opgevuld raakten in diverse tijdstippen (zeven intervals en 12 pieken in de bioklasten van foraminiferen). Deze opvulling werd gedeeltelijk geërodeerd van de randen van de geulen en was mogelijk zelfs afkomstig van sedimenten die daar nu niet meer aanwezig zijn. We moeten er dus rekening mee houden dat niet alleen foraminiferen maar ook belemnieten en andere fossielen uit oudere lagen ingespoeld zijn. Dit is overigens een waarneming die al vroeg gedaan werd, namelijk dat zogenaamde Vaalsergroenzand fossielen en brokken in de Kalksteen van Vijlen aangetroffen werden en zelfs brokstukjes van steenkolen, (o.a. bij Gulpen, Felder P.J. 1962 en bij Vaals zie hierboven bij ecozone I).

We dienen verder te bedenken dat de basis van de Kalksteen van Vijlen, de Horizont van Bovenste Bosch, op andere plaatsen dan bij de typelokaliteit diverse hiaten kan omvatten omdat de onderkant van de oude benaming “Belemnietenkerkhof” gelijk gesteld is met de Horizont van Bovenste Bosch (zie Felder W.M. & Bosch 2000, fig. 3.27). Ook de Horizont aan de top van de Kalksteen van Vijlen, de Horizont van Wahlwiller, kan op andere plaatsen dan in Wahlwiller anders geïnterpreteerd worden. Al de andere plaatsen waar deze namen gebruikt zijn, dienen nauwkeurig onderzocht te worden om een betrouwbare correlatie tot stand te brengen. Hieronder volgt een beschrijving van de Horizonten zoals die aan de basis en de top van de Kalksteen van Vijlen aangetroffen en onderzocht werden.

Overzicht van de Horizonten op het Ardennen blok in en van de Kalksteen van Vijlen

Omdat de Kalksteen van Vijlen en de Horizonten lithologisch overal anders ontwikkeld zijn was het nodig op diverse plaatsen de Horizonten afzonderlijk te onderzoeken. Hieronder geven we een overzicht van deze onderzoeken die binnen het gebied van het Ardennen blok plaats vonden. Daarna bespreken we het onderzoek van deze afzettingen uit ecozone III in de Belgische Kempen.

De Horizont van Bovenste Bosch in het Bovenste Bosch

Zie de beschrijving bij ecozone IIb de Kalksteen van Beutenaken.

De Horizont van Bovenste Bosch bij de Zeven Wegen.

Zie bij ecozone IIa de Kalksteen van Zeven Wegen.

De Horizont van Bovenste Bosch bij Crapoel

Bij Crapoel ligt Horizont van Bovenste Bosch aan de top van de Kalksteen van Zeven Wegen, aan de basis van een vijf meter dikke glauconietrijke mergellaag waarin rolsteentjes en talrijke belemnieten te vinden zijn die met behulp van de bioklasten in een drietal niveaus te onderscheiden zijn, evenals in het Bovenste Bosch. Deze niveaus werden onderzocht in een boring te Crapoel. Het belemnietrijke niveau No 1 ligt bij 34.20 tot 35.00 m in de boring. Het belemnietrijke niveau No2 ligt van 31.20 tot 32.20 m in de boring en het belemnietrijke niveau No 3 ligt van 30,00 tot 30.20 m in de boring. Via het bioklastenonderzoek bevat het belemnietenniveau No 1 geen bioklasten die een toewijzing aan een Member rechtvaardigen. De mogelijkheid dat het restanten zijn van de Kalksteen van Beutenaken werden niet uitgesloten omdat de onderliggende Kalksteen van Zeven Wegen uit de bovenste lagen van deze afzetting bestaat (namelijk de pelecypoden-eenheid PII 6). Het belemnietenniveau 2 is zeer rijk aan bioklasten die wel wijzen op restanten uit de Kalksteen van Beutenaken. Het belemnietenniveau No 3 bevat foraminiferen uit foramzone C en behoort volgens deze tot de Kalksteen van Vijlen (het zijn mogelijk de restanten van Vijlen 4). De verschillende belemnieten-niveaus zijn echter verspoelde lagen. De belemnieten-niveaus moeten in zijn geheel tot de afzettingen van de Kalksteen van Vijlen (Vijlen 0-4) gerekend worden. De op deze verspoelde lagen liggende afzettingen konden door middel van de bioklasten tot de Kalksteen van Vijlen (Vijlen 5 en 6) gerekend worden. Dat betekent dat bij Crapoel de Horizont van Bovenste Bosch aan de basis van de mergelige glauconietlagen ligt en dat in

deze lagen diverse Horizonten die binnen de Kalksteen van Vijlen liggen als hiaten aanwezig zijn (onder andere het hiaat behorende bij de Horizont van Böckler).

De Horizont van Froidmont

Deze Horizont is een groot hiaat dat momenteel gecorreleerd wordt met de hiaten van Bovenste Bosch, Böckler en mogelijk ook met Helchteren.

De Horizont van Mamelis

Deze Horizont is de top van een erosieniveau dat aangetroffen werd in de typelokatie te Mamelis (Fig. 23). Het ligt aan de top van Vijlen 2 dus aan de basis van Vijlen 3.

De Horizont van Böckler

Deze Horizont is de top van een erosieniveau dat aangetroffen werd in de typelokatie in Mamelis (Fig. 23). Het ligt aan de top van Vijlen 4 dus aan de basis van Vijlen 5.

De Horizont van Zonneberg = de top van ecozone III

De Horizont van Zonneberg die aangetroffen werd in de Kalksteen van Vijlen in de groeve ENCI te Maastricht (fig. 4.3 Felder W.M. & Bosch 2000) wordt momenteel aangehouden als de top van de bioklastenecozone III (Vijlen 5) en de basis van de bioklasten-ecozone IVa. Lithologisch is de top van de Kalksteen van Vijlen (top Vijlen 6) hoger gelegd, namelijk bij de Horizont van Lixhe = Horizont van Wahlwiller.

De Horizont van Wahlwiller= Horizont van Lixhe

De Horizont van Wahlwiller is de bovengrens van de Kalksteen van Vijlen in het zuidoosten van Limburg, terwijl de Horizont van Lixhe de bovengrens vormt van de Kalksteen van Vijlen in het zuidwesten (Lixhe – Halembeke). Beide Horizonten vertonen echter een verschillende opbouw.

De Horizont van Wahlwiller

Is bedekt door het “laagje van Wahlwiller”, een conglomeratachtige afzetting die rijk is aan glauconiet en gerolde kalkstenen met zwarte vuursteentjes en die plaatselijk belemnieten bevat. Dit “laagje van Wahlwiller” is een afzetting die alleen aangetroffen is in een strook evenwijdig aan de rand van de Roerdalslenk, onder andere in de omgeving van Aken (Lousberg en Schneeberg), in Mamelis, Nyswiler, Wahlwiller en in de boring Thermae te Valkenburg. Uit alles is duidelijk dat het “Laagje van Wahlwiller” een conglomeratachtige basisafzetting vormt langs de rand van de Roerdalslenk. Volgens de bioklasten is het een diachrone afzetting die naar het zuidoosten toe een steeds groter hiaat vertoont. In het zuidwesten werd dit laagje, ondanks vele naspeuringen, nergens meer in dezelfde ontwikkeling gevonden. Wat wel gevonden werd was de overgang tussen grijze- en zwarte vuurstenen, soms met een glauconiethoudend laagje b.v. in Gulpen (Felder P.J. 1962), die hier door ons als “Laagje van Wahlwiller” beschreven werden.

De Horizont van Lixhe is te Lixhe gelegd bij de eerste duidelijke laag zwarte vuurstenen in de omgeving van Lixhe. De Horizont van Lixhe werd gecorreleerd met de Horizont van Wahlwiller omdat op beide plaatsen de eerste zwarte vuurstenen aangetroffen werden. De sedimenten boven de Horizonten zijn op verschillende plaatsen duidelijk anders van samenstelling met uitzondering van de zwarte vuurstenen die aangetroffen werden. Eventuele hiaten die in het “laagje van Wahlwiller” verborgen aanwezig zijn konden bij de Horizont van Lixhe niet vastgesteld worden. De boven deze Horizonten liggende afzettingen worden tot de Kalksteen van Lixhe gerekend.

De correlatie Horizont van Wahlwiller = Horizont van Lixhe

Deze correlatie kon niet bevestigd worden door middel van het foraminiferen- en het bioklasten onderzoek. Opgemerkt dient te worden dat het foraminiferen onderzoek tot de

slotsom kwam dat plaatselijk tussen foramzone C nog een foramzone D aanwezig is die onder de Horizont van Wahlwiller/ Horizont van Lixhe aangetroffen werd. De scheiding tussen de Kalksteen van Vijlen en de Kalksteen van Lixhe die lithologisch gelegd is bij het voorkomen van het eerste voorkomen van zwarte vuurstenen was door middel van de Foramzones C, D en E niet duidelijk te herkennen (Albers & Felder W.M. 1978).

Door het onderzoek van de Kalksteen van Vijlen (Felder P.J. & Bless 1994 en Felder P.J. 1997) werd allengs duidelijk dat de ecostratigrafie en de biostratigrafie niet in staat waren eenduidig de top van de Kalksteen van Vijlen vast te stellen. Met de bioklasten was een grensbepaling ook moeilijk. Na lang wikken en wegen werd in eerste instantie gekozen om de grens tussen bioklasten-ecozone III en IV te leggen daar waar het gemiddelde van *Bolivinoides decorata* 5.4 bereikt werd. Dit kwam min of meer overeenkwam met de basis van de Kalksteen van Vijlen zoals die aangetroffen werd in de CPL groeve te Halembaye. Later, na verder onderzoek in de ENCI groeve te Maastricht, werd de top van bioklasten-ecozone III echter arbitrair gelegd tussen foraminiferenpiek J en I in de Kalksteen van Vijlen, dus op de grens tussen Vijlen 5 en Vijlen 6 (= de Horizont van Zonneberg in de ENCI groeve,). Dat het steeds maar wisselen van de grens tussen bioklasten-ecozone III en IV tot verwarring in de loop van de tijd geleid heeft is zelfs nog duidelijk merkbaar in de publicatie van Felder P.J. 2001a. Waarschijnlijk verliep de laatste opvulling van de strandgeulen op diverse plaatsen verschillend, zodat het heel moeilijk zal zijn om een “vaste” grens te bepalen. We zullen het voorlopig moeten doen met de Horizont van Zonneberg of de zwarte vuurstenen.

Dwarsprofielen betreffende de uitspoeling en opvulling van de erosiegeul waarin de afzetting van ecozone III en de Kalksteen van Vijlen plaats vond.

Om een nieuw overzicht te krijgen van de tektonische en eustatische bewegingen van het Ardennen blok tijdens de uitspoeling en de afzettingen van de Kalksteen van Vijlen, was het nodig een aantal dwarsprofielen te tekenen. Hiervoor werden de onderzochte profielen opnieuw geïnterpreteerd. Het eerste dwarsprofiel is een noordoost – zuidwest gericht profiel vanaf de Lousberg te Aken tot bij Mont Rigi in de Ardennen (Fig. 24). In dit profiel zijn alle aangetroffen afzettingen op het Ardennen blok, uit het Boven Krijt aangegeven, alsmede een schatting van de oorspronkelijke dikte van het vuursteeneluvium tot aan de Horizont van Lichtenberg. Deze aangenomen dikte is gebaseerd op de dikten die aangetroffen werden in de omgeving van Halembaye – Maastricht. Als horizontale lijn is de grens tussen ecozone IVa en IVb aangehouden. Dit betekent niet dat deze grenslijn volledig overeenkomt met de Horizont van Lichtenberg, maar met wel met het hiaat van deze Horizont op de Lousberg bij Aken. Op het Ardennen blok zijn, met uitzondering van Maastricht en omgeving, geen restanten van afzettingen gevonden die tot ecozone V behoorden. De determinatie van het bovenste gedeelte van het vuursteeneluvium gaf overal aan dat geen vuurstenen uit ecozone V gevonden werden. Vroegere determinaties die tot de slotsom kwamen dat hier “Maastrichts krijt” afzettingen aanwezig waren (Felder P.J. 1961) zijn gebaseerd op de toenmalige aanname dat de zee-egel *Hemipneustes striatoradiatus* een gidsfossiel was voor het Maastrichts krijt. Later werd echter ontdekt dat deze zee-egel reeds in het Gulpens krijt (Kalksteen van Lanaye) voorkwam. Uitgebreid onderzoek van de vuurstenen op de Ardennen leverde eveneens geen vuurstenen op die afkomstig waren uit lagen van ecozone V. Een herkenbaar horizontaal niveau in dit noordoost – zuidwest profiel (Fig. 24) is de Horizont van Wahlwiller bij Melaten en een conglomeraat op de Ardennen bij Beleu en Mont Rigi. Deze Horizont is de top van de Kalksteen van Vijlen (Vijlen 6). De top van ecozone III (Horizont van Zonneberg top Vijlen 5) werd uitsluitend aangetroffen in de boring Hombourg. De basis van ecozone III (de Horizont van Bovenste Bosch, samen met de Horizont van Böckler) werden op meerdere plaatsen aangetroffen. Tussen de Vaalserberg en de Lousberg bij Aken blijkt dat tijdens het

ontstaan van de Horizont van Bovenste Bosch een diep dal ontstaan is dat later opgevuld is met sedimenten uit ecozone III en de Kalksteen van Vijlen, terwijl bij de Vaalserberg tot bij de Ardennen min of meer een horizontaal erosievlak ontstond. Het dal is een volgend ZZW – NNO dwarsprofiel (Fig. 25) weergegeven met meer ontsluitingen en boringen. Opgemerkt dient te worden, bij dit profiel, dat het bovenste deel van de Vaalserberg niet met behulp van bioklasten onderzocht kon worden, evenals de tijdelijke ontsluitingen Wilkensberg en Schurzelterstrasse en verder de boring Klinikum te Aken.

Uit de twee dwarsprofielen (Fig. 24 en Fig. 25) blijkt dat het Ardennen blok, nadat ecozone II hier afgezet was, tektonische opgeheven werd en dat waarschijnlijk gelijktijdig ook nog eens een daling van het zeeniveau plaats vond, waardoor een erosiegeul ontstond met aan de basis de Horizont van Bovenste Bosch. De erosiegeul is bij Aken mogelijk zelfs 100 meter diep geweest en later pas opgevuld met sedimenten. Deze sedimenten zijn mogelijk voor een groot deel geërodeerd van het hoger gelegen gebied rondom. Hierdoor onstonden zowel op de schouder van de Roerdalslenk en het Ardennen gebied hiaten. Onbekend is welke afzettingen hier oorspronkelijk ooit gelegen hebben. Aan te nemen is in ieder geval dat op het Ardennenblok ecozone IIb overal gelegen heeft maar grotendeels geërodeerd werd.

Een volgend ZZW – NNO dwarsprofiel (Fig. 26) toont het tegenwoordige rivieren/beek landschap (aangegeven door een Tertiair/Kwartair erosievlak, als gekartelde lijn) tussen Moors en de Nyswillerberg. De hoogten tussen deze dalen bevatten de restanten van het aldaar aanwezige Boven Krijt. In dit dwarsprofiel is de grenslijn ecozone IVa – IVb ook horizontaal aangehouden. Verder is de typelokaliteit van de Kalksteen van Vijlen in de ontsluiting Mamelis en de boring te Mamelis aangegeven. De uitgespoelde geul is hier ± 40 meter minder diep geweest dan bij Aken, maar meer uitgewaaid. Dit alles wijst erop dat tijdens het ontstaan van de erosiegeul de opheffing van de bodem bij Aken aanmerkelijk groter was dan bij Mamelis. In dit profiel (Fig. 26) komt de Horizont van Böckler, de top van Vijlen 4 ook overeen met een vrijwel horizontaal erosievlak vanaf Moors tot bij Nyswiller. Duidelijk is ook dat bij de Zeven Wegen het hiaat van Bovenste Bosch min of meer samenvalt met het hiaat van Böckler

Het volgende ZZW – NNO dwarsprofiel, vanaf Bovenste Bosch (de typelokaliteit van de Horizont van Bovenste Bosch) tot bij Benzenrade op de schouder van de Roerdalslenk (Fig. 27) laat eveneens de uitgespoelde en weer opgevulde erosiegeul zien. Evenals in de andere profielen is ook hier aangenomen dat de grens ecozone IVa – IVb horizontaal is geweest. De erosiegeul hier blijkt nog minder diep te zijn dan bij Mamelis (nog maar 55 m) maar nog verder uitgewaaid. Dit bevestigt het vermoeden dat de opheffing van de bodem in de richting van Aken/Mamelis naar Gulpen toe tijdens het ontstaan en het opvullen de erosiegeul geleidelijk aan minder werd. In deze figuur is ook duidelijk te zien dat de Horizont van Bovenste Bosch een hiaat is dat naast de Horizont van Bovenste Bosch ook de Horizonten Böckler en zelfs Zonneberg kan omvatten. Door gebrek aan diepere, onderzochte boringen is het niet bekend of in dit profiel eventueel kleinere breuken aanwezig zijn, of dat de ondergrond hier bewegingen gemaakt heeft tijdens de afzettingen. Duidelijk is in dit profiel te zien dat de omgeving van Benzenrade/Kunrade een geheel andere opbouw heeft. Dit hangt samen met het feit, dat tijdens de uitspoeling van de erosiegeul en de opvulling daarvan, dat dit gebied steeds boven het sedimentatieniveau lag.

Tenslotte is nog een Zuidwest – Noordoost dwarsprofiel samengesteld vanaf Diets Heur tot de schouder van de Roerdalslenk (Fig. 28). In dit profiel zijn de volledige afzettingen van ecozone IVa bewaard gebleven. Verder is in dit profiel te zien dat diverse breuken actief geweest zijn. De diepte van de erosiegeul is hier maar 50 meter hetgeen erop wijst dat het erosiedal naar het westen toe steeds ondieper werd. Uit het breder worden van de de erosiegeul naar het westen toe kan afgeleid worden dat in die richting de stroomsnelheid van

het water afnam. De boring Thermae te Valkenburg ligt aan de rand van de schouder van de Roerdalslenk en is tengevolge van de Anticlinaal van Puth en/of de Klauwpijp breuk tijdens de afzetting van ecozone III omhoog geduwd, waardoor maar weinig sediment van ecozone III hier ontstond. Verder kunnen we in deze figuur zien dat op het Massief van Brabant en de schouder van de Roerdalslenk geen sedimenten zijn afgezet die tot ecozone III en IVa behoren. Aan te nemen is dat deze gebieden te hoog lagen zodat daarop geen sedimenten van ecozone III en IVa gesedimenteerde werden (De afzettingen uit ecozone IVa zullen later beschreven worden). In dit dwarsprofiel (Fig. 28) is ook te zien dat de Horizont van Froidmont bij Halembaye de hiaten omvat van de Horizont van Bovenste Bosch en de Horizont van Böckler.

De looprichting van de erosiegeul tengevolge van de tektoniek

De getekende dwarsprofielen (Figs. 26, 27 en 28) laten zien dat de diepte van de erosiegeul in westelijke richting afneemt maar in de breedte toeneemt. Dit wijst erop dat vooral de Roerdal slenk in het oosten tengevolge van tektonische bewegingen omhoog gekomen is. Dit omhoog komen veroorzaakte (gevolgd door een daling van de zeespiegel) dat de erosie van de geul begon op de scheiding tussen de omhoogkomende Roerdal slenk en het min of meer stabiele Ardennenblok. Naarmate ook de schouder van de Roerdal slenk meegenomen werd met deze opwaartse beweging van de Roerdal slenk boog de stroomrichting van de erosiegeul tussen Aken en Gulpen in zuidoostelijke richting af (Fig. 6).

Vroeger werd aangenomen dat er een tweede erosiegeul ontstaan was bij Oost Maarland. Bij nader inzien wordt nu aangenomen dat maar één erosiegeul ontstaan is. Argumenten daarvoor zijn te vinden in de aanname dat tengevolge van de opheffing van de bodem langs de Anticlinaal van Waubach een nog verdere afbuiging naar het zuiden werd veroorzaakt. Zowel het onderzoek van de boring Thermae in Valkenburg en de boring te Banholt (Felder P.J. 2000), waarbij vastgesteld werd dat de bodem tengevolge van tektonische bewegingen ook daar omhoog kwam (Fig. 21), bevestigde zodoende het vermoeden dat de stroomrichting van de erosiegeul verder afgebogen werd tot in Oost Maarland. Een ander argument daarvoor is het gegeven dat zowel in Mamelis, Gulpen en Oost Maarland alle afzettingen uit ecozone III in dezelfde volgorde zijn aangetroffen. Een vervolg van de erosiegeul tot in Belgisch Limburg kon door mijn onderzoek niet vastgesteld worden omdat tussen Oost Maarland en de Belgische Kempen door mij geen boringen onderzocht werden. Ondertussen is echter door middel van de boorbeschrijving gepoogd een boring in Diepenbeek te correleren met boringen in Nederlands Limburg en België. De grotere dikte van ecozone III in deze boring betekent misschien dat de erosiegeul in de richting naar Diepenbeek toe verder verloopt.

De afzettingen van ecozones IIc en III in de Belgische Kempen.

In de Belgische Kempen bleek een afzetting aanwezig te zijn, die in Nederlands Limburg niet aangetroffen werd, namelijk ecozone IIc. Deze afzetting werd door mij verondersteld te zijn ontstaan volgend op de Beutenakenafzetting in Nederlands Limburg en daarom Beutenaken 2 genoemd (Fig.20). Momenteel wordt echter verondersteld dat deze afzetting ontstaan is tijdens de uitspoeling van de erosiegeul vanaf Aken naar Oost Maarland. De afzettingen uit ecozone IIc kunnen derhalve veel erosieresten bevatten die wegspoelden uit deze erosiegeul. Dat betekent echter dat we ecozone IIc in het vervolg tot de afzettingen van ecozone III moeten rekenen. Vanwege nog bestaande onzekerheden, hoe men deze afzettingen met die uit Nederlands Limburg moet correleren, zijn in de Belgische Kempen daarom andere Horizontbenamingen gegeven dan in Nederlands Limburg. Zo is de basis van ecozone IIc aangegeven met Horizont van Helchteren en de top van ecozone IIc is aangegeven met Horizont van Gruitrode. Het zal duidelijk zijn dat deze Horizonten eventueel gecorreleerd

kunnen worden met de hiaten die gevonden werden bij de Horizont van Froidmont, Bovenste Bosch en of Böckler

De in Nederlands Limburg gebruikte indeling van ecozone III en IV, waarbij ecozone III in Vijlen 0 t/m 6 en ecozone IV in IVa en IVb gedeeld werden bleek in de Belgische Kempen niet uitvoerbaar te zijn. In de Belgische Kempen werd daarom volstaan met het onderscheiden van de ecozones III en IV.

In de dwarsprofielen is de aangenomen grenslijn ecozone III met IV als horizontale lijn aangehouden. Dit leidt echter tot verschillende vraagtekens. Als men de Horizont van Helchteren namelijk gelijk stelt aan de Horizont van Froidmont, Bovenste Bosch en Böckler (zoals gedaan is in Fig. 22) dan moet men de afzettingen uit ecozone IIc in het vervolg inderdaad tot de Kalksteen van Vijlen rekenen, en niet tot de “Beutenakenafzettingen” zoals tot nog toe door mij beschreven. Het is echter op dit ogenblik nog moeilijk uit te maken tot welk gedeelte van de Kalksteen van Vijlen deze afzettingen dan behoren. Rekent men de afzettingen van ecozone IIc boven de Horizont van Helchteren reeds tot ecozone III dan moet men namelijk de Horizont van Gruitrode (Fig. 29) gelijk te stellen aan de Horizont van Böckler. De sedimenten van ecozone IIc behoren dan tot de afzettingen Vijlen 0 tot Vijlen 4. en de afzettingen tussen de Horizonten Gruitrode en Zonneberg tot Vijlen 5.

Omtrent de ligging van de Horizont van Zonneberg in de Belgische Kempen bestaat ook enige twijfel. Momenteel wordt aangenomen dat in ecozone III de Horizont van Zonneberg eventueel aanwezig is maar tot nu toe niet herkend werd. Op veel plaatsen bevindt zich namelijk ongeveer in het midden van ecozone III in de Belgische Kempen een kleine belemnietenpiek die waarschijnlijk met de Horizont van Zonneberg te maken heeft. Vlak onder deze piek is in de boring Opoeteren KS 17, bij 450 meter diepte een conglomeratachtig laag gevonden (Fig. 29). In het vervolg is de onderkant van daarvan aangehouden als de Horizont van Zonneberg terwijl de kleine belemnietenpiek de transgressieve fase na het ontstaan van deze Horizont is.

De vraag waar de Horizont van Wahlwiller/Lixhe, die gebaseerd zijn op het eerste voorkomen van zwarte vuurstenen, in de Belgische Kempen liggen is moeilijk te beantwoorden. Het voorkomen van vuurstenen in de kalksteenafzettingen is namelijk sterk afhankelijk van verontreiniging (Felder P.J. 1961). Vooral als iets klei in de kalkstenen aanwezig is ontbreken de vuurstenen. Dit betekent dat naarmate de verontreiniging, vanaf de opkomende Roerdalslenk afnam, de vuurstenen reeds veel eerder optraden in het sediment. Een dergelijke grens kan men alleen maar als een lithologische grens gebruiken. Verondersteld kan worden dat op veel plaatsen in de Belgische Kempen reeds eerder zwarte vuurstenen aangetroffen werden dan in Vijlen 6 dat volgens de bioklasten tot ecozone IVa behoort.

In een tweetal dwarsprofielen zijn de nieuwe inzichten verwerkt. Ecozone III is in de boring Opoeteren (Fig. 29) in twee gedeeld waarbij het bovenste deel omgenummerd is in ecozone IVa. Hetzelfde is gebeurd in de boringen KS 46, KS 29 en BGD 172 door de Horizont van Zonneberg in ecozone III aan te geven (Fig. 30). Hierdoor is het bovendeele van ecozone III omgenummerd tot ecozone IVa, waarin uiteraard Vijlen 6 aanwezig is.

Enkele algemene opmerkingen betreffende de tektoniek tijdens ecozone III in de Belgische Kempen en Nederlands Zuid Limburg

Door middel van belemnietenpieken was het mogelijk ecozone III en IV in de Belgische Kempen te onderscheiden. Veel moeilijker was het de afzettingen van ecozone III te interpreteren met de indeling zoals die in Nederlands Limburg gemaakt is (zie hierboven). Hoe de afzettingen uiteindelijk ook geïnterpreteerd worden, overduidelijk is het dat zowel het Massief van Brabant en de Roerdal slenk, ten opzichte van de Belgische Kempen, voor het

ontstaan van de afzetting van ecozone III en de Kalksteen van Vijlen tektonisch opgeheven werden.

De tektonische bewegingen, zowel in de Belgische Kempen als in Nederlands Limburg, blijken complex te zijn geweest. Dit alles werd nog versterkt door grote veranderingen in de hoogte van de zeespiegel. Eerst werd het gebied rond Aken sterk opgeheven en spoelde in Zuid Limburg een diepe erosiegeul uit die naar de Belgische Kempen toe minder diep werd. Gezien de opvulling van de erosiegeul moet de noordwestlijke dalende beweging geleidelijk aan omgekeerd zijn in een zuidoostlijke daling en de zeespiegel weer gestegen zijn, zodat de erosiegeul uiteindelijk weer opgevuld werd met sedimenten. Pas na de afzetting van Vijlen 5, was weer een enigszins normaal zeepeil bereikt.

Ecozone IV = Vijlen 6, de Kalkstenen van Lixhe, de Kalksteen van Lanaye en de afzettingen tot aan de Horizont van Enci.

Oorspronkelijk werd de basis en de top van ecozone IV bepaald in boringen van de Belgische Kempen hoofdzakelijk door middel van belemnietenpieken (Fig 31, KS46 en Fig. 32, KS 29). en het voorkomen van pieken in de Crinoidea. Een preciese correlatie naar Nederlands Limburg bleek moeilijk. Pas nadat uitgebreide onderzoeken in de groeve CPL te Halembaye, de ENCI groeve te Maastricht en in ecozone III (zie hierboven) gedaan waren kwam iets meer duidelijkheid. Hieronder zullen we het een en ander in een historisch perspectief plaatsen.

Het bioklasten-onderzoek van de Kalkstenen van Lixhe.

Reeds voor 1985 werden pogingen ondernomen om de typelokaliteiten van de Kalkstenen van Lixhe in de groeve Dierkx te Lixhe met behulp van studenten te bemonsteren. Dit lukte niet naar wens. De typehorizonten van de Kalkstenen van Lixhe, die zich in de verlaten groeve Dierkx bevinden, waren namelijk moeilijk of niet over de volledige lengte te bemonsteren. Daarom werd ervoor gekozen om de afzettingen van de Kalkstenen van Lixhe in de groeve CPL te Halembaye te bemonsteren en deze te gebruiken in plaats van de typelokaliteiten, dit mede omdat Werner Felder (Felder W.M. 1983) deze groeve uitvoerig beschreven had. Besloten werd overigens om de gehele groeve CPL (Fig. 18 en Fig. 33) te bemonsteren.

Na het uitlezen van de bioklasten uit de genomen monsters viel op dat in de afzettingen boven de hardground (Horizont van Froidmont) geen pieken van belemnieten meer aangetroffen werden in de kalkstenen. Dit was de reden om de basis van ecozone IV in Halembaye te leggen aan de top van de hardground (Froidmont) overeenkomstig met het verdwijnen van de belemnietenpieken in de Belgische Kempen. Hogerop in het profiel van de CPL werden pieken van Crinoiden en Pelecypoda aangetroffen. Dergelijke pieken werden ook in de afzettingen uit de ENCI groeve in de Kalkstenen van Lanaye (zie hieronder) aangetroffen. Omdat in de Belgische Kempen ook pieken in de crinoiden aangetroffen waren werd de top van ecozone IV gelegd bij het verdwijnen van deze pieken.

De indeling in ecozone IVa en IVb

Het verdwijnen van belemnietenpieken, de ontwikkeling van de crinoiden en de herkenbare pelecypodapiekken waren aanleiding om de grens bioklasten-ecozone III en IV in het vervolg te leggen aan de basis van de afzettingen van de Kalksteen van Vijlen in de groeve CPL (Fig. 33) en niet bij de Horizont van Lixhe. Omdat nog nergens een zo complete afzetting was aangetroffen werden de aangetroffen pieken van crinoiden, boven de hardground in de CPL groeve en in de ENCI groeve, vanonder naar boven genummerd van Cr1 t/m Cr7. De pelecypoda die in groepjes van twee (eerst aangegeven met a en b maar later met x en y) voorkwamen werden genummerd in het onderste gedeelte van IVa1 t/m IVa 7 (=bioklasten-ecozone IVa). Later werden de eenheden IVa1 t/m IVa 7 veranderd in pelecypoden-eenheden

PIVa 1 t/m PIVa 7. Het boven ecozone IVa liggende gedeelte, van de crinoiden bevattende sedimenten, kon eveneens ingedeeld worden in pelecypoda-eenheden die op hun beurt ook uit een zevental pelecypoden-eenheden opgebouwd waren. Dit werd de bioklasten-ecozone IVb genoemd. De grens tussen IVa en IVb lag bij een grotere piek in de pelecypoda vlak boven de Horizont van Boirs. De top van ecozone IV werd uiteindelijk gelegd bij de Horizont van Enci in de ENCI groeve, namelijk aan de top van de crinoidenpieken.

Nadat de ENCI groeve geleidelijk aan dieper uitgegraven werd konden in deze groeve de Kalkstenen van Lixhe ook onderzocht worden. Het correleren van de in de groeve CPL gecreëerde bioklasten-ecozones IVa en IVb kon pas volledig uitgevoerd worden nadat in de groeve ENCI in 1996 een verkenningsput gegraven werd tot onder de Horizont van Zonneberg in de Kalksteen van Vijlen (Fig. 34). In 2001 (Felder P.J. 2001a) werd uiteindelijk besloten om de basis van ecozone IVa te verleggen naar deze Horizont die de grens tussen Vijlen 5 met Vijlen 6 vormt. Dit betekende dat de onderste crinoiden-eenheid Cr1 en de pelecypoden-eenheid PIVa 1, uit de CPL groeve te Halembaye, in het vervolg geplaatst werden in ecozone III. Ecozone IVa werd vanaf die tijd aan de basis begrensd door de Horizont van Zonneberg in de ENCI groeve, vlak onder grote pieken van de Pelecypoda, kort boven de Horizont van Boirs. De top van ecozone IVb bleef liggen bij de Horizont van Enci in de ENCI groeve.

Na het uitgebreide onderzoek in de ENCI groeve werden dus de lithologische eenheden Vijlen 6, Kalkstenen van Lixhe, Lanaye, Valkenburg, en een gedeelte van de Kalksteen van Gronsveld uit deze groeve in het vervolg als één bioklasten-ecozone IV beschreven die in het midden gedeeld werd in de bioklasten-ecozones IVa en IVb. Daarmee werd in het vervolg bij de bioklasten-indeling geen rekening meer gehouden met de lithologische termen Kalkstenen van Lixhe 1, 2, 3, Kalksteen van Lanay en Kalksteen van Valkenburg en de daarbij behorende horizonten. Dit betekent overigens niet dat de lithologische benamingen in de groeven tussen Halembaye en Maastricht vervallen zijn. Het betekent alleen dat geen van de horizonten nog gebruikt kunnen worden bij de indeling door middel van het bioklasten-onderzoek, met uitzondering van de Horizont van Zonneberg aan de basis, ± de Horizont van Boirs in het midden en de Horizont van Enci aan de top.

Het onderzoek van de Kalksteen van Lanaye

Het bioklastenonderzoek in de Kalksteen van Lanaye begon reeds tijdens de opgraving van de prehistorische vuursteenmijnen in Rijckholt-St.Geertruid (1963 – 1972). Tijdens het Eerste Internationaal Vuursteensymposium (gehouden in Maastricht 1969) werd namelijk besloten om de vuursteenlaag die in de prehistorische mijnen van Rijckholt ontgonnen was, te bemonsteren. Hetzelfde zou gedaan worden in diverse groeven in de omgeving. De genomen monsters werden in 1974 meegenomen naar het British Museum om onderzocht te worden op de aanwezigheid van sporenelementen. Omdat er twijfel bestond of de meegenomen monsters uit de groeven wel uit dezelfde laag afkomstig waren als de laag in de prehistorische vuursteenmijnen, werd besloten om de typelokaliteit van de Kalksteen van Lanaye bij Lanaye, de Kalksteen van Lanaye in de groeve ENCI en het ontsloten gedeelte in de prehistorische vuursteenmijnen alsmede in een gegraven sleuf in de Schone Grub te onderzoeken (Felder P.J. 1981) met wat toen nog mesofossielen heette. Uit het resultaat van dit onderzoek bleek dat verkeerde correlaties gelegd waren. Aangetoond kon worden dat in de vuursteenmijnen, niet zoals verondersteld, vuursteenlaag 13/14 ontgonnen was maar laag 10. In de sleuf die door de Geologische Dienst gegraven werd in de Schone Grub kon Werner vast stellen dat zijn eerste aanname niet juist was (Felder W.M. 1981). Daarmee stond vast dat de monsters, meegenomen naar het British Museum, verkeerd gedetermineerd waren.

Het onderzoek van ecozone IV in de omgeving Maastricht-Halembaye

Nadat de typelokaliteit van de Kalksteen van Lanaye onderzocht was en daarin duidelijke patronen in de bioklasten-samenstelling ontdekt werden, werd het onderzoek tijdelijk toegespitst op het onderzoek van het ontstaan van de vuursteenlagen (Felder P.J. 1986). In 1997 verscheen een vervolg van de studie over het ontstaan van de vuurstenen in Lixhe 3 en de Kalksteen van Lanay (Felder P.J. 1997b en 2005/2006). In deze studies werden de afzettingen uiteindelijk onderzocht door middel van monsters over lengten van vijf, tien en vijftien centimeter. Uit deze onderzoeken bleek dat binnen afstanden van enkele kilometers sedimentdikten van 5-20 cm dikte nauwkeurig met elkaar te correleren waren door middel van de bioklasten. Binnen het gebied Maastricht- Halebaye kon de bioklasten-ecozone IV volledig onderzocht worden in diverse groeven. De bioklasten-ecozone IV werd aldaar uiteindelijk opgesplitst in de crinoiden-eenheden Cr2 t/m Cr8 en de pelecypoda-eenheden PIVa 2 t/m PIVa 7 en PIVb 1 t/m PIVb 7. De pelecypoda-eenheden PIVa 2 t/m PIVa 7 vormden samengevat in de eenheid IVa en de pelecypoda-eenheden PIVb1 t/m PIVb7 de eenheid IVb. De nog kleinere eenheden die onderscheiden zijn worden hier niet opgesomd maar zijn te vinden in de literatuur (Felder P.J. 1997b en 2005/2006).

Het onderzoek van de bioklasten-ecozone IV in het oosten van Nederlands Limburg

Uiteraard werd ook gepoogd de Kalkstenen van Lixhe en Lanaye aan te tonen en te onderzoeken in het oosten van Zuid Limburg. Een eerste poging daartoe vond plaats in 1983 door de student Marnix C. de Vriend die een pakket vuursteenhoudende kalkstenen onderzocht dat ontsloten was in een bouwput (weginsnijding) voor het in aanbouw zijnde ziekenhuis (Klinikum) bij Melaten te Aken. Hij kwam tot de slotsom dat het hier zeer waarschijnlijk om een afzetting handelde die tot de Kalkstenen Lanaye behoorden in verband met de daarin aangetroffen crinoiden (Vriend de, 1983). Verder werd opgemerkt dat stukjes steenkool aangetroffen werden in de genomen monsters. (Waarschijnlijk behoren deze afzettingen (Fig. 25) echter nog tot ecozone IVa). Omdat de onderliggende afzetting volgens de lithologie tot de Kalksteen van Vijlen behoorde, ontbraken hier waarschijnlijk gedeelten van de afzettingen van de Kalkstenen van Lixhe. Later onderzoek op de Lousberg bij Aken toonde aan dat aldaar zelfs de afzettingen van de Kalksteen van Lanaye in de richting naar de Roerdalslenk toe uitwaggen.

Een onderzoek in Nyswiller, alwaar een verlaten groeve en een tijdelijke ontsluiting aanwezig was tijdens het herstel van de weg bij de Nyswillerberg, leverde via de bioklasten geen betere herkenning op dan de lithologie. Een lithologische indeling te maken zoals in Maastricht bleek echter niet mogelijk. De onderzochte afzettingen bevonden zich boven de Horizont van Wahlwiller en bleken ook hier volgens gegevens uit boringen geheel uit te wiggen in de richting naar de Roerdalslenk toe. Waarschijnlijk zijn hier nog wel diepere lagen van ecozone IVa en IVb ontsloten dan op de Lousberg te Aken.

Een uitgebreid onderzoek in de omgeving van Eys (Felder P.J. 1989 tot 1996) gaf inzicht in de sedimentatie langs de schouder van de Roerdalslenk en de opvulling van de strandgeul met de Kalksteen van Vijlen. Zowel de Kalksteen van Vijlen alsmede de Kalkstenen van Lixhe en Lanaye blijken daar uit te wiggen tegen de Roerdalslenk aan (Fig. 27 en 28 en Fig. 2, in Felder P.J., 1996, deel 20, Eys, p. 12). In de ontsluitingen aldaar kon een gedeelte van de Kalksteen van Lanaye nog gedetermineerd worden, vooral de Lanaye-vuursteenlaag 10 was hier als een dikke vuursteenlaag ontwikkeld zoals in de omgeving van Cadier en Keer. Andere vuursteenlagen konden niet herkend worden. Via de bioklasten konden de crinoiden-eenheden Cr 7 en Cr 8 en de pelecypoda-eenheden PIVb 5, PIVb 6 en PIVb 7 uit de bioklasten-ecozone IVb herkend worden. Ook hier bleek de Kalksteen van Lanaye uit te wiggen in de richting naar de Roerdalslenk toe.

In boringen bij Cadier en Keer en Valkenburg kon de bioklasten-ecozone IV nog in IVa en IVb onderscheiden worden, maar in de boring Hulsberg bleek maar een klein gedeelte van de

bioklasten-ecozone IV b aanwezig te zijn, (Fig.35) dus ook hier wigt deze afzetting uit in de richting naar de Roerdalslenk toe.

Het onderzoek van de Kalkstenen van Lixhe en Lanaye in Gulpen door middel van monsters was moeilijk te verwezenlijken. In de Gulperberg werd nog wel gepoogd monsters te nemen maar tengevolge van te kleine ontsluitingen kon dit niet over voldoende dikte uitgevoerd worden. In de boring Crapoel die boven op de berg gemaakt werd bleken maar enkele meters van de Kalksteen van Lixhe/Lanaye aanwezig te zijn (Fig. 36).

Op de Ardennen en bij Aken-Vaals Vijlen en Epen tenslotte zijn alle Kalkstenen van Lixhe en Lanaye opgelost tot een vuursteeneluvium. Tijdens een uitgebreid onderzoek van de daarin aanwezige vuurstenen kon wel vastgesteld worden dat er fossielen in te vinden waren die overeenkwamen met die uit Lixhe en Lanaye afzettingen. Opgemerkt werd tevens dat er vuurstenen te vinden waren met een andere textuur (Felder P.J. 1961). Vroegere determinaties die tot de slotsom kwamen dat hier “Maastrichts krijt” afzettingen aanwezig waren (Felder P.J. 1961) zijn gebaseerd op de toenmalige aanname dat de zee-egel *Hemipneustes striatoradiatus* een gidsfossiel was voor het Maastrichts krijt. Later werd echter ontdekt dat deze zee-egel reeds in het Gulpens krijt (Kalksteen van Lanaye) voorkwam. Uitgebreid onderzoek van de vuurstenen op de Ardennen gaf het resultaat dat aldaar geen vuurstenen te vinden waren uit de Formatie van Maastricht.

Dit alles overziende betekende dat op het Ardennen blok alleen in de omgeving van Halembaye-Maastricht (Fig. 28) en Cadier en Keer-Valkenburg (Fig. 35) ecozone IV in zijn geheel vertegenwoordigd was door sedimenten. Op het overgrote deel van het Ardennen blok zijn de sedimenten verweerd tot een vuursteeneluvium. Naar de schouder van de Roerdalslenk toe wiggen de afzettingen uit en blijken uitsluitend de bovenste afzettingen (Fig. 28) uit ecozone IVb aanwezig.

Onderzoek van de bioklasten-ecozone IV naar het westen toe en in de Belgische Kempen

Onderzoek naar het westen toe vanaf Maastricht toonden aan dat de hiaten op het Massief van Brabant steeds groter worden zodat bij Diets Heur en Hoepertingen de afzettingen van de bioklasten-eenheid IVa volledig afwezig zijn (Fig. 37). Dit betekent dat de bioklasten-eenheid IVa binnen een beperkte oppervlakte afgezet is. In de Belgische Kempen waar de boormonsters om de 3 tot 5 meter genomen werden was het indertijd onmogelijk om de bioklasten-ecozone IV te splitsen in IVa en IVb (Felder P.J. 2001a).

Mogelijke indeling van ecozone IV in de Belgische Kempen

Bij het bespreken van ecozone III (zie hierboven) werd verondersteld dat de kleine piek van belemnieten en de rolsteenlaag bij 450 m boordiepte in de boring KS 17 overeen kwamen met de Horizont van Zonneberg. Bij nader inzien bleek dat in diverse boringen in ecozone III een belemnietenpiek plus minus in het midden van ecozone III aangetroffen werd (o.a. in de KS boringen 17, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 34, 35, 36, 37, 45, 46 en 47, de BGD boringen 165, 168, 169, 170, 172 en 203). Aangenomen wordt nu dat deze piek inderdaad kan overeenkomen met de Horizont van Zonneberg en dat de grens tussen ecozone III en IVa gelegd moet worden zoals aangegeven is in Fig. 29 en 30. De grens tussen ecozone IVa en IVb wordt aan de top in het vervolg op de plaats gelegd waar voorheen de top van ecozone III gelegd is.

De top van ecozone IVb, blijft liggen bij het verdwijnen van de Crinoiden-pieken in de Belgische Kempen en bij de Horizont van Enci in Zuid Limburg. Alle onderzoeken van de bioklasten-ecozone IV lieten via het bioklasten-onderzoek zien dat de gebruikte lithologische benamingen maar een lokale waarde bezitten en niet over grote oppervlakte tussen oost en west gebruikt kunnen worden. In de bioklasten-ecozone IV moesten uiteindelijk sedimenten verenigd worden die zowel gedeelten van de Kalksteen van Vijlen, de Kalkstenen van Lixhe,

de Kalksteen van Lanay uit de Formatie van Gulpen, en de Kalksteen van Valkenburg en een gedeelte van de Kalksteen van Gronsvelt uit de Formatie van Maastricht omvatten.

Tektonische en eustatische bewegingen gedurende de afzetting van bioklasten-ecozone IV

De aangetroffen pieken van crinoiden, die toenemen in ecozone IV, bevestigen dat de zeespiegel geleidelijk aan steeg, crinoiden houden immers van iets dieper water. Deze toename van de diepte begon overigens reeds na de erosiefase van Böckler in Vijlen 5. Geleidelijk aan werd toen de uitgespoelde erosie geul verder opgevuld. Tijdens Vijlen 6 ging de opvulling, zover er nog iets op te vullen was verder, maar daarna overspoelde de gestegen waterstand geleidelijk aan het gehele gebied van de Ardennen

Gedurende de afzetting van de bioklasten-ecozone IV steeg de Roerdal slenk geleidelijk aan minder, tenslotte tegen het einde van ecozone IVb zou de omkering (inversie) afgelopen zijn en begon de Roerdal slenk te dalen en ontstonden er weer sedimenten op de schouder. In Fig. 16 kunnen we zien dat bij Kunrade en de Lousberg uitsluitend het bovenste deel van ecozone IVb op de schouder van de Roerdal slenk afgezet werd (boven de Horizont van Lichtenberg). Meer in het noordwesten, en meer in het centrale deel van de Roerdal slenk werd bij Opieter (Fig. 38) misschien al in ecozone IVa iets sediment afgezet.

Het Ardennengebied dat gedurende de afzetting van ecozone IVa steeds overstroomd werd door de gestegen zee kwam tegen het einde van ecozone IVb echter omhoog waardoor op de hoogste gedeelten van de Ardennen de sedimentatie ophield. Het omhoogkomen van de Ardennen was tevens het tijdstip waarop de inversie van de Roerdal slenk eindigde en op de schouder daarvan weer sedimenten afgezet werden. Het zuidwest – noordoost profiel dat samengesteld werd vanaf Aken tot op de top van de Ardennen (Fig. 24) laat zien dat uitsluitend bij Aken, Lousberg en Melaten nog iets van het oorspronkelijke sediment uit ecozone IVb en IVa is aangetroffen. Elders werd uitsluitend vuursteeneluvium aangetroffen dat vuurstenen bevatte uit Ecozone IV tot aan de Horizont van Lichtenberg. Vuurstenen uit het hoogste gedeelte van de Kalksteen van Lanaye (de vuursteenlagen 20 t/m 23) werden nergens aangetroffen. Dit wijst er mijns inziens op dat de Ardennen tegen het einde van ecozone IV omhoog kwamen en wel tijdens het ontstaan van de Horizont van Lichtenberg, waarna de sedimentatie in dat gebied ophield.

Een zuidwest-noordoost profiel, meer naar het noordwesten toe, van Diets Heur naar Valkenburg (Fig. 28) laat zien dat aldaar de sedimenten van ecozone IVa naar het Massief van Brabant toe uitwiggen. Pas tijdens ecozone IVb werd bij Diets Heur, op de neus van het Massief van Brabant, weer sediment afgezet. Dit wijst erop dat dit Massief, tijdens de afzetting van ecozone IVa, nog steeds een hoog was.

In een noord-zuid profiel vanaf Banholt naar Valkenburg toe (Fig. 39) is te zien dat aldaar alle bekende sedimenten uit ecozone IVa en IVb zijn afgezet, tot aan de Horizont van Enci. Verder blijkt uit dit profiel dat de opwelling bij Valkenburg min of meer gelijktijdig begon te dalen (zie Fig. 21 en Fig. 39) met het dalen van de schouder van de Roerdal slenk en het ontstaan van de Horizont van Lichtenberg. Tegelijkertijd nam de hoogte van de ondergrond bij Banholt echter toe tengevolge van het omhoog komen van de Ardennen.

Het Massief van Brabant dat gedurende lange tijd (vanaf bioklasten-ecozone IIa) een hoog was begon geleidelijk aan opnieuw te dalen. Waarschijnlijk hebben de gestegen waterstand en de neerwaartse bewegingen van de twee grote tektonische eenheden Roerdal slenk en Massief van Brabant, veroorzaakt dat tijdens bioklasten-ecozone IVb hier weer sedimenten afgezet werden.

Eozone V (de Formatie van Maastricht).

De Formatie van Maastricht bestaat lithologisch uit twee verschillende afzettingen. In de omgeving van Maastricht uit Maastrichtse kalksteen en in de omgeving van Kunrade uit Kunrader kalksteen. De basis van deze afzettingen is de Horizont van Lichtenberg en de top de Horizont van Vroenhoven.

Ecozone V, Maastrichtse kalksteen

Het bioklasten-onderzoek van de Formatie van Maastricht in de groeve van de ENCI.

Het bioklasten-onderzoek van de Formatie van Maastricht vond plaats in de groeve ENCI te Maastricht, dus in de typelokaliteit. De bioklasten-indeling van de Formatie van Maastricht in de ENCI groeve was niet moeilijk. Crinoidenpieken werden gevolgd door serpuliden- en bryozoa-pieken en tenslotte door pieken van grootforaminiferen (Fig. 40). Deze volgorde gaf een duidelijk beeld van de afname in de diepte van de zee tijdens het ontstaan van de Formatie van Maastricht. Een beschrijving van alle onderzoeken, die in de ENCI groeve heeft plaats gevonden in het tijdschrift "Sprekende Bodem" van de afdeling Limburg van de Ned. Geol. Ver. (Felder P.J 2005 en 2006).

Ook de afzonderlijke typelokaliteiten van de Afzettingen (members) werden onderzocht. De Kalksteen van Valkenburg (Felder P.J. et al 1985a), de Kalksteen van Gronsveld (Houben 1985), de Kalksteen van Schiepersberg (Felder P.J. 2001c), de Kalksteen van Emael (Houben 1985), de Kalksteen van Nekum (Snelling 1985) en de Kalksteen van Meerssen (Paffen 1982).

Bij pogingen de diverse Horizonten van de typelokaliteiten te correleren met de Horizonten in de ENCI groeve ontstonden moeilijkheden. Zo ligt de Horizont van Lichtenberg in de typelokaliteit van de Kalksteen van Lanaye (61H-36) volgens de bioklasten (Fig. 41) op een andere plaats dan in de ENCI groeve (Felder P.J. & Bless 1985b). De Horizont van St. Pieter in de groeve NEKAMI ligt op een ander niveau dan in de ENCI groeve (Fig. 42). In de groeve Schiepersberg (62A-26), de typelokaliteit van de Kalksteen van Schiepersberg, zijn de Horizonten van Schiepersberg en Romontbos (Fig. 43) op een ander niveau gelegd dan in de ENCI groeve (Felder P.J. 1997c) en ontbreekt volgens de lithologie de Horizont van Lava. Tenslotte is de Horizont van Laumont in de typelokaliteit van de Kalksteen van Emael in de groeve Marnebel (61A-7 en 61H-37) ook op een ander niveau gelegd dan in de ENCI groeve (Houben 1985). Dit alles leidde tot het besluit om in het vervolg uitsluitend de lithologische Horizonten zoals die gegeven werden in de ENCI groeve aan te houden bij het bioklasten-onderzoek. Hieronder zullen de diverse Horizonten uit de ENCI groeve besproken worden.

De Horizont van Lichtenberg: De basis van de Formatie van Maastricht

In de ENCI groeve ligt boven de Horizont van Lichtenberg een duidelijk conglomeratachtig laagje dat oorspronkelijk Coprolithenlaagje genoemd werd vanwege het grote aantal coprolithen dat erin aangetroffen werd. Later werd ontdekt dat op andere plaatsen het conglomeratachtige laagje niet aanwezig was maar soms een fossielgruislaagje en/of dat de overgang te zien was tussen witte kalksteen met zwarte vuurstenen en geelgrijze kalksteen zonder of met grijze vuurstenen. Deze overgang werd gelijkgesteld met de scheiding tussen de Formatie van Gulpen en Maastricht, dus Horizont van Lichtenberg genoemd. Mijns inziens is dit een correcte lithologische correlatie. Er wordt namelijk een verschil beschreven tussen sedimenten. Moeilijker is het in het zuiden van de ENCI gelegen groeven op Belgisch gebied. Zowel in de typelokaliteit (61H-36) van de Kalksteen van Lanaye alsmede in diverse boringen in België is het verschil in de kleur van de kalksteen en de vuurstenen nagenoeg niet meer

waarneembaar. De mogelijkheid om hier de lithologische Horizont van Lichtenberg te bepalen is mijns inziens moeilijk en soms niet meer aanwezig.

Uit alle beschikbare gegevens blijkt dat de Horizont van Lichtenberg een lithologische grens is die ontstond door tektonische bewegingen die tot gevolg hadden dat twee verschillende sedimenten afgezet werden in een brede strook langs de Roerdal slenk. Dit was enerzijds het gevolg van het omhoog komen van de Ardennen en anderzijds het dalen van de Roerdalslenk tijdens het begin van de afzetting van de Formatie van Maastricht. In een brede strook langs de Roerdal slenk ontstonden hierdoor vervuilde sedimenten tot bij Maastricht (Kalksteen van Valkenburg), terwijl verder zuidwestelijk de kalkige sedimenten nauwelijks of niet vervuild werden. De vervuiling van de sedimenten gebeurde stapsgewijs als gevolg van de stapsgewijze tektonische veranderingen. Naarmate de Roerdal slenk verder zakte werd de strook met vervuilde sedimenten kleiner. Bij Maastricht hield de vervuiling, bij de top van de Kalksteen van Valkenburg, grotendeels op (zie hieronder bij de Horizont van St. Pieter en Enci). Op andere plaatsen zou de afzetting van vervuilde sedimenten nog doorgaan.

Een dwarsprofiel door boringen en ontsluitingen, waarin de Horizont van Lichtenberg aangetroffen werd, vanaf Lanaye tot bij Kunrade (Fig. 44), laat duidelijk het diachrone verloop van deze Horizont zien. Omdat de Horizont van Lichtenberg een lithofaciële grens is die diachroon verloopt werd deze grens niet gebruikt om de bioklasten in te delen. De bioklasten indeling werd gebaseerd op het voorkomen van pieken in de crinoiden. De laatste piek van de crinoiden lag in de ENCI groeve niet bij de Horizont van Lichtenberg maar bij de Horizont van Enci (zie hieronder). De Horizont van Lichtenberg is dus ook niet aangehouden als de grens tussen bioklasten-ecozone IV – V, maar de Horizont van Enci.

De Horizont van St. Pieter of de Horizont van Enci?

In de groeve van de ENCI liggen enkele vervuilde lagen boven de Horizont van Lichtenberg die lithologisch als Kalksteen van Valkenburg gedetermineerd werden en waarvan de top bij de Horizont van St. Pieter gelegd is (Fig. 40). Iets hoger is echter nog een Horizont aanwezig, namelijk de Horizont van Enci. De Horizont van St. Pieter is overal in de ENCI groeve duidelijk ontwikkeld, terwijl de Horizont van Enci lithologisch minder duidelijk is. Daarom is de Horizont van St. Pieter als top van de vervuilde kalksteen gekozen. Van uit het bioklastenonderzoek gezien had men echter beter de Horizont van Enci kunnen nemen. De Horizont van Enci die gekenmerkt wordt door het verdwijnen van crinoidenpieken is binnen het gehele onderzochte gebied via de bioklasten-inhoud gemakkelijk te herkennen, hetgeen niet het geval is met de Horizont van St. Pieter. De grens tussen ecozone IV en V is daarom gelegd bij de Horizont van Enci (Fig. 40 en 44).

Ecozone Va: de Horizont van Enci, Schiepersberg en Romontbos

Ecozone Va (Fig. 40 en 44), met aan de basis de Horizont van Enci, is gekenmerkt door het verdwijnen van pieken van crinoidea. Lithologisch is deze grens in de ENCI groeve niet duidelijk ontwikkeld. In het midden van ecozone Va bevindt zich de Horizont van Schiepersberg, deze Horizont is gebruikt om ecozone Va in PVal en PVal2 te verdelen (Fig. 44). Ook deze Horizont is in de groeve ENCI lithologisch soms moeilijk te onderscheiden, omdat het dikteverschil in de vuursteenlagen niet opvallend is. Via de bioklasten is de plaats van de Horizont van Schiepersberg in de ENCI groeve echter bepaald door pieken van pelecypoda, serpula en bryozoa (Fig. 40). De top van ecozone Va is in de ENCI groeve lithologisch gekenmerkt door de Horizont van Romontbos. Deze Horizont is lithologisch in de ENCI groeve gemakkelijk te herkennen aan de erboven liggende plaatvormige dikke vuurstenen en via de bioklasten door grote pieken (BV3 en BV4) van de bryozoa (Fig. 40).

De bioklasten, die het ondieper worden van de zee, tengevolge van tektonische bewegingen weerspiegelen, laten zien dat de milieu-omstandigheden veranderden in ecozone Va. De

plaats van de crinoiden in bioklasten-ecozone IV werd ingenomen door bryozoa en serpuliden, vooral daar waar de diepte van het zeewater afnam. De opheffing van de Ardennen en anderzijds de daling van de Roerdalslenk veroorzaakten echter dat over korte afstanden grotere verschillen in de afgezette sedimenten ontstonden. Hierdoor zijn lithologische correlaties moeilijk uit te voeren. De Horizont van Romontbos, zoals die in de ENCI groeve is aangetroffen en die de top van ecozone Va vormt was over grotere afstanden, ook daar waar de grote vuurstenen ontbreken of op meerdere plaatsen aanwezig zijn, gemakkelijk door bioklasten te correleren (Fig. 44) door middel van de grote bryozoa pieken. Lithologisch is het echter moeilijk om de Horizont van Romontbos te onderscheiden, bijvoorbeeld in de NEKAMI groeve (Fig. 42) en in de Schiepersberg groeve (Fig. 43) waar lithologisch de gesteenten anders van opbouw zijn.

Ecozone Vb: De Horizont van Romontbos, Lava en Laumont

De sedimenten boven de Horizont van Romontbos bevatten in de ENCI groeve duidelijk zichtbare dikke plaatvormige vuurstenen die gevolgd worden door pijpvormige vuurstenen (Fig. 40). De horizont van Lava is binnen de ENCI groeve vrij gemakkelijk te herkennen als serpulidenlaag met iets daarboven harde banken. Ook de Horizont van Laumont is lithologisch in de ENCI groeve gemakkelijk te herkennen aan de onderliggende harde banken en de erboven liggende afzettingen met serpuliden. De Horizont van Laumont bleek in de ENCI groeve lithologisch gesitueerd te zijn juist boven een harde bank, en bioklastisch precies in een dal van de grote serpuliden-piek (SV 4), dus daar waar boven en onder de omstandigheden voor de serpuliden optimaal waren geweest (Fig. 40).

De Horizonten Lava en Laumont lithologisch naar elders correleren is echter bijzonder moeilijk. De opheffing van de Ardennen veroorzaakte dat de afzettingen vanaf Maastricht in zuidwestelijke richting zich anders ontwikkelden dan in noordoostelijke richting. Plaatselijk nam de dikte van de lagen toe en de vuursteenlagen ontwikkelden zich anders. Moeilijkheden met het correleren ontstonden bijvoorbeeld daar waar de Horizont van Lava ontwikkeld is met een harde bank met daarop een serpulidenlaag, zoals in de groeve Marnebel. Aldaar zijn geen vuurstenen aanwezig en de harde banken op de plaats waar men de Horizont van Laumont verwacht ontbreken (Houben 1985, pag 59,). Tijdens het nemen van de monsters in deze groeve was het onmogelijk vast te stellen waar de Horizont van Laumont in het serpulidenrijke gedeelte lag. Later bleek, na het bekijken van lithologische profielen, dat in deze groeve de Horizont van Laumont gelegd was onder vuurstenen aan de top van het serpulidenrijke gedeelte, dus op een andere plaats dan in de ENCI groeve, alwaar de Horizont gelegd is in het serpulidenrijke gedeelte van de serpuliden-piek SV 4. Een correlatie van de Horizont van Lava/Laumont vanuit de groeve Marnebel (of andersom) bleek dus moeilijk te zijn. Op andere plaatsen (o.a. in de Schiepersberggroeve (Fig. 43), de groeve 't Rooth (Fig. 42) en de groeve Dolekamer Fig. 45) ontstonden op de plaats rond de Horizont van Lava regelmatige dikke vuursteenlagen die lithologisch als Horizont van Romontbos aangezien werden (Felder P.J. & Bless 1985b).

De basis van de bioklasten-ecozone Vb is in de ENCI groeve bij de Horizont van Romontbos gelegd (zie hierboven) terwijl de Horizont van Lava is aangehouden als scheidslijn tussen de pelcypoda eenheden PVb 1 en PVb 2 (Fig. 40). De top van de bioklasten-ecozone Vb werd niet bij de Horizont van Laumont gelegd maar bij het minimum aan serpuliden boven de serpulidenpiek SV 4. Lithologisch omvat de bioklasten-ecozone Vb derhalve de Kalksteen van Emael en een gedeelte van de Kalksteen van Nekum.

Ecozone Vc: en de Horizont van Kanne en Caster.

Boven de basis van ecozone Vb (top serpulidenpiek SV4, Fig. 40) bevindt zich een serpulidenarme afzetting die eindigt ongeveer bij de Horizont van Kanne. De Horizont van Kanne wordt in de ENCI groeve bedekt door een fossielgruislaag (soms enkele laagjes) die

hoofdzakelijk uit vergruisde brokstukjes van zee-egels bestaat. Deze Horizont is vooral in de omgeving van Maastricht ontwikkeld. Elders echter soms moeilijk te herkennen. De Horizont van Caster, de top van ecozone Vc, is in de ENCI groeve lithologisch te herkennen aan een harde bank met daarboven een fossielgruislaag met zeer veel bryozoa.

In de ENCI groeve worden de afzettingen in bioklasten-ecozone Vc gekenmerkt door de serpuliden-pieken SV 5 en SV 6 en de bryozoa-pieken BV 7 en BV 8 (Fig. 40). Met behulp van de bioklasten was het niet moeilijk de Horizont van Caster te bepalen omdat hier de laatste serpuliden-pieken verdwijnen en de bryozoa- en foraminiferen pieken heel sterk toenemen. Ecozone Vc bestaat dus uit het bovenste deel van de Kalksteen van Nekum. De Horizont van Kanne ligt binnen de bioklasten-ecozone min of meer aan de top van de pelecypodapieken x en y van de eenheid PVc 1. Naar het zich laat aanzien is de erboven liggende pelecypoda eenheid PVc 2 niet volledig ontwikkeld in de ENCI groeve. In de bioklasten-ecozone Vc worden regelmatig de resten gevonden van vrijlevende crinoiden, deze werden crinoiden-eenheid Cr 9 genoemd.

De Horizont van Caster is door het abrupt afbreken van de serpuliden (piek SV 6) en de toename van de bryozoa niet alleen in ENCI groeve maar overal in Nederlands Limburg en directe omgeving gemakkelijk te herkennen als top van de bioklasten-ecozone Vc. De Horizont van Caster vormt hier zodoende zowel een lithologische als een bioklastische grens. Dit blijkt echter niet het geval te zijn in de Belgische Kempen. In de Belgische Kempen werd een hiaat gevonden tussen de bioklasten-ecozone Vb (Serpuliden pieken) en de Dano Montien afzettingen uit het Tertiair (ecozone VI, met bryozoa pieken). De bryozoa en foraminiferenrijke lagen van bioklasten-ecozone Vd ontbreken daar dus (zie verderop).

Ecozone Vd: De Horizont van Caster, Berg Terblijt en Vroenhoven

De twee bovenste horizonten zijn niet aangetroffen in de ENCI groeve. Er zijn nog wel enkele gesteentelagen boven de Horizont van Caster ontsloten. Pas nadat de Kalksteen van Meerssen in de groeve Curfs onderzocht was (Fig. 46) konden deze lagen, ook met behulp van de bioklasten, beschreven worden als behorend bij de Kalksteen van Meerssen. In de ENCI groeve (Fig. 40) werden de bryozoa pieken BV 9 t/m BV 11 aangetroffen, de crinoiden eenheid Cr10, de grootforaminiferen pieken FV1 t/m FV4, en mogelijk de slecht ontwikkelde pelecypoda-eenheden PVd 1 t/m PVd 4. De volledige afzetting van de Kalksteen van Meerssen werd onderzocht in de groeve Curfs.

Het onderzoek in de groeve Curfs (speciaal ecozone Vd = de Kalksteen van Meerssen)

De groeve Curfs is de typelocatie van de Kalksteen van Meerssen. De Kalksteen van Meerssen wordt begrensd aan de basis door de Horizont van Caster en aan de top door de Horizont van Vroenhoven. Lithologisch was de Horizont van Caster en Vroenhoven in de groeve Curfs gemakkelijk te onderscheiden. De Horizont van Caster was door een hardground en het erboven liggende fossielgruis met veel bryozoa en foraminifera te herkennen en de Horizont van Vroenhoven was eveneens te herkennen aan een onderliggende hardground en de erboven liggende enigszins vervuilde lagen met iets glauconiet. De groeve Curfs werd in 1972 reeds bemonsterd. De genomen monsters werden door de student Roelofs uitgelezen op bioklasten en gepoogd werd de verkregen resultaten te vergelijken met die uit andere groeven (Roelofs 1980). Het onderzoek van Roelofs werd in de loop van de tijd nog door mij aangevuld zodat in 2001 een volledig gedetermineerd profiel van de groeve gegeven kon worden (Fig. 46). De Kalksteen van Meerssen die gelijk is aan de bioklasten-ecozone Vd, werd gekenmerkt door de bryozoa pieken BV 9 t/m BV 13, de crinoiden-eenheid CR 10, en de pelecypoda-eenheden PVd 1 t/m PVd 5. Elk van deze pelecypoda-eenheden is opgebouwd uit een x en een y piek. De bioklasten-eenheid PVd 5 komt overeen met de afzetting tussen de Horizont van Berg Terblijt en de Horizont van Vroenhoven. Deze afzetting (PVd 5) zou volgens de laatste onderzoeken niet meer tot het Maastrichtien behoren maar tot het

Danien. Via de bioklasten is daar echter geen uitspraak over te doen (Felder P.J. 1998). Hoe dan ook, de gevonden resultaten via het bioklastenonderzoek uit de groeve ENCI en de groeve Curfs, zoals hier beschreven, zijn door mij gebruikt bij het correleren van andere groeven en boringen.

Ecozone V, Kunrader Kalksteen (Formatie van Maastricht).

Het onderzoek van de Kunrader kalksteen was een van de onderwerpen die reeds in 1967 ter hand genomen werden om met behulp van fossielen aan de weet komen welke overeenkomsten-verschillen er waren tussen de afzettingen in Maastricht en Kunrade. Begonnen werd met het nemen van monsters in Kunrade om mesofossielen te verzamelen (Weijs 1967, Cupedo 1970, Kessels 1971, Coenders 1982). In 1985 en 1989 konden reeds overzichten samengesteld en beschreven worden (Felder P.J. et al. 1985b en 1989). De gegevens van deze onderzoeken werden later aangepast aan de bioklasten-indeling zoals die opgesteld werd in de groeve ENCI (Felder P.J. 2001a). Een drietal groeves in de buurt van Kunrade konden bioklastisch gedetermineerd worden (Fig. 47). In de ontsluiting, de bouwput voor de RW 76 (62B-293) werd de crinoideneenheid CR 8 aangetroffen waarvan de top overeenkomt met de grens van de bioklasten-ecozone IV en V (= Horizont van Enci in de ENCI groeve). Daarboven werd nog een gedeelte van de pelecypoda-eenheid PVa 1 aangetroffen en de bryozoa-piek BV1. In de groeve Curvers (62B-36) werd het vervolg van de pelecypoda-eenheid PVa 1 aangetroffen evenals in de groeve Kunderberg (62B-9). Boven deze pelecypoda-eenheid PVa 1 (= Horizont van Schiepersberg in de ENCI groeve) in de groeve Kunderberg werd de Pelecypoda-eenheid PVa 2 aangetroffen met de bryozoa-piek BV 3. Boven de top van de bioklasten-eenheid PVa2 (= Horizont van Romontbos in de ENCI groeve) werd nog een gedeelte van de pelecypoda-eenheid PVb 1 aangetroffen en de bryozoa-piek BV 4.

De overgang van Maastrichtse kalksteen in Kunrader kalksteen in de Formatie van Maastricht.

Deze overgang is lithologisch reeds vroeg vastgesteld en beschreven in ontsluitingen aan de oppervlakte. Afgezien van een aantal andere lokale namen werden de kalkstenen uit het Krijt bij Maastricht, Maastrichtse kalksteen, bij Valkenburg Valkenburger- en Schaelsberger kalksteen en bij Kunrade, Kunrader kalksteen genoemd. In de oudere literatuur is veel geschreven over de plaats die de Kunrader kalksteen zou innemen in de stratigrafische opeenvolging van de gesteentelagen. Het is aan Werner Felder te danken dat hij door nauwkeurig onderzoek kon vaststellen dat de top van de Kunrader kalksteen overeenkwam met de Horizont van Romontbos in de ENCI groeve. Het bioklasten-onderzoek kon deze determinatie reeds in 1985 bevestigen (Felder P.J. et al. 1985b).

Het ontwikkelde bioklasten-onderzoek maakte het mogelijk om niet alleen uit ontsluitingen maar ook uit gruisboringen gegevens te verkrijgen betreffende de bioklasten-samenstelling. De veranderingen van Maastrichtse kalksteen naar Kunrader kalksteen beginnen niet in de ENCI groeve maar reeds in de typelokaliteit van de Kalksteen van Lanaye (61H-36) te Lanaye (Fig. 42 en 45). Na het onderzoek van de bioklasten in de groeve Lanaye (61H-36) en de ENCI groeve werd uiteindelijk vastgesteld dat in Lanaye de lithologische Horizont van Lichtenberg samenviel met de Horizont van Enci. In de ENCI groeve werd echter vastgesteld dat daar een aantal vuursteenlagen ontbraken ((Fig. 40 en 44) en de twee Horizonten hier gescheiden van elkaar waren door vervuilde sedimenten (± 3 meter). Deze vervuilde sedimenten werden oorspronkelijk aangezien als “het uitwiggen van de Kunrader kalksteen” (zie bij het hoofdstuk, Nieuwe zekerheid). Deze oorspronkelijke mening bleek achteraf bevestigd te worden door het bioklastenonderzoek.

In de NEKAMI (groeve 't Rooth) was na onderzoek van de groeve, en een aldaar gemaakte boring tot aan de Horizont van Lichtenberg (Fig. 42), al duidelijk dat in de NEKAMI alle kalkstenen beneden de Horizont van Laumont zodanig van samenstelling waren veranderd ten opzichte van de ENCI groeve dat een correlatie op grond van de lithologie in feite niet meer uitgevoerd kon worden. De Horizont van Lichtenberg vormde daarop echter een uitzondering. Deze Horizont liet lithologisch zien dat daar het begin van de verandering van het sediment optrad. Aangezien deze Horizont echter een lithofaciele, diachrone grens is, die niet herkenbaar is in de bioklasten, werd deze grens niet gebruikt bij de indeling volgens de bioklasten. De bioklasten-inhoud in de NEKAMI groeve bleek weinig te veranderen ten opzichte van de ENCI groeve zodat de diverse eenheden die in de ENCI benaamd waren ook te herkennen zijn in de NEKAMI groeve (Fig. 42 en 48). De lithologisch bepaalde Horizonten in de groeve NEKAMI (lithologische kolom Fig. 42), zoals de Horizont van St. Pieter, Horizont van Schiepersberg en Horizont van Romontbos, lagen echter volgens het bioklasten-onderzoek (bioklasten kolom Fig. 42) op andere plaatsen dan in de ENCI groeve.

De veranderingen van het sediment nemen vanaf Maastricht naar het oosten steeds meer en meer toe. Uiteraard zijn de bewegingen die breuken maakten tijdens de afzetting van de sedimenten belangrijk geweest (Fig 44).

Ecozone V, (Formatie van Maastricht) in de Belgische Kempen.

In de Belgische Kempen kon het onderzoek van afzettingen uitsluitend plaats vinden door middel van boormonsters, die afkomstig waren uit boringen. De monsters die in deze boringen werden genomen, meestal om de vijf meter en soms om de drie meter, waren meestal vervuild, soms heel sterk, door papier- of plastic snippers, waardoor de lithologie moeilijk te bepalen was. Uit het onderzoek van 32 boringen in de Belgische Kempen kwam het beeld naar voren dat de bioklasten-ecozone V gekenmerkt werd door serpuliden en oesters. Opmerkelijk genoeg werden de bovenste afzettingen uit de Formatie van Maastricht, met pieken van bryozoa en grootforaminiferen (*Orbitoides* en *Calcarina*,) nergens in de boringen aangetroffen. Daaruit werd afgeleid dat in de Belgische Kempen alleen de bioklasten-ecozones Va en Vb aanwezig zijn en de ecozones Vc en Vd ontbreken. De top van ecozone V vormt daar dus mogelijk een hiaat in de sedimentatie. Overigens mag men niet uitsluiten dat de zeediepte in de Belgische Kempen nog te diep was zodat bryozoa en foraminiferen niet tot ontwikkeling konden komen. Tektonisch daalden de Belgische Kempen niet uitzonderlijk gedurende de afzetting van ecozone V (Fig. 49 en 50) met uitzondering van het Hoog van Bree (boring Opitter) dat vooral gedurende ecozone Vb een duidelijk grotere daling onderging.

Tektonische bewegingen gedurende de Formatie van Maastricht

Als we een overzicht willen samenstellen van de tektonische bewegingen tussen Valkenburg en Kunrade dan moeten we vaststellen dat we weinig afweten van eventuele opwellingen van de bodem en breuken in dat gebied. Het ligt immers buiten het eigenlijke Mijngebied. Hoe moeilijk het een en ander is kunnen we zien bij de interpretatie van een aantal boringen door Kuyl in de omgeving van Walem (Kuyl 1983). Kuyl had in die tijd alleen de lithologie en de determinatie van de profielen door middel van foraminiferen ter beschikking. Verder nam hij aan dat in het gebied alleen de Schin op Geul breuk actief geweest was. Hij concludeerde dan ook "The section across the Schin op Geul Fault gives a thickness of over 100 m of the Vaals Formation south of the fault and only 10 m north of it. The Maastricht Formation (Kunrade facies) has a thickness of more than 100 m north of the fault while there remains only 8 m south of the fault. Although there may have been a considerable erosion south of the fault, it means the inversion has been discontinued at the beginning of the Maastricht Formation (Maastrichtian)."

Nu zoveel later beschikken we over meer profielen in de omgeving, die gedetermineerd werden door middel van de bioklasten. Tevens weten we ondertussen dat we niet alleen rekening moeten houden met de Schin op Geul breuk maar ook met bewegingen van de bodem en langs zogenaamde oude breuken. Een dwarsprofiel van Valkenburg (boring Thermae en de ontsluiting Schaelsberg), over Hulsberg en Walem naar Kunrade (Fig. 51), waarin uit alle onderzochte boringen en groeven de gegevens betreffende de lithologie, foraminiferen en de bioklasten verwerkt zijn, laat de nu verkregen resultaten zien. Uit de gegevens blijkt namelijk de boring in Walem (62A-309) eenzelfde opbouw heeft als op het blok van de groeven en boringen in Kunrade (boring Kunderberg en boring De Dael). Duidelijk is dat de boring (62A-306 in Walem, Kuyl 1983) niet op hetzelfde blok ligt als de boring Thermae in Valkenburg ligt maar op het blok dat ik het “Hoog van Hulsberg” genoemd heb aan de hand van de boring Hulsberg (62A-444) die eenzelfde opbouw vertoont als de boring 62A-306. Op het “Hoog van Hulsberg” ontbreken namelijk alle afzettingen vanaf ecozone I tot en met ecozone IVa met uitzondering van een dunne laag uit de de Formatie van Vaals, maar die mogelijk tot de bioklasten-ecozone IIa*? gerekend mag worden. Het is duidelijk dat tussen de boring 62A-309 en de boring 62A-306 een breuk aanwezig is, zoals verondersteld door Kuyl. Als we vervolgens de boring Walem (62A-306 in Walem, Kuyl 1983) vergelijken met de ontsluitingen bij Schaelsberg (Fig. 51) dan lijkt het erop dat ook deze min of meer op het Hoog van Hulsberg liggen. Jammer genoeg beschikken we hier niet over diepere boringen. De verschillen tussen de boring te Hulsberg en de ontsluitingen bij Schaelsberg wijzen erop dat er hoe dan ook bewegingen van de bodem hebben plaats gevonden. Hoe die bewegingen gewerkt hebben is moeilijk te reconstrueren. In de tekening (Fig. 51) is de Horizont van Romontbos gelijk gesteld aan de Horizont van Romontbos in de boring Thermae 2000 te Valkenburg. Met evenveel recht had men de Horizont ook op dezelfde hoogte kunnen plaatsen als in de boring Hulsberg (in de tekening gestippeld aangeduid). Het ligt voor de hand om ook tussen de ontsluitingen bij Schaelsberg en de boring Hulsberg en de boring Thermae te Valkenburg een of meerdere onregelmatigheden, zoals breuken en/of ondergrondse opwelvingen aan te nemen waaronder de Schin op Geul breuk. Hoe de breuken precies verlopen is mij onbekend. Het meest waarschijnlijke is echter dat de Laurensberg breuk, die een afschuiving is met een lage schol in het zuiden, veel verder naar het noordwesten verloopt als aangegeven op de geologische kaart (1: 50 000, Pré-Kwartair 1984). De Schin op Geul breuk, die een lage schol aan de noordkant heeft (het Hoog van Hulsberg), verloopt zich misschien ergens tegen deze Laurensberg breuk aan. Maar omdat er ook opwelvingen kunnen hebben plaats gevonden is het uiteraard bijzonder moeilijk vast te stellen waar precies, welke breuk en welke opwelving ligt. Tijdens het schrijven van het artikel over de tektonische bewegingen gedurende het Krijt heb ik aangenomen dat de Schin op Geul breuk het Hoog van Hulsberg naar het zuiden toe begrensd (Felder P.J. 2003/2004). Misschien zou het beter geweest om ook de Laurensberg breuk daarbij te betrekken en eventueel er rekening mee te houden dat de Schin op Geul breuk een jongere breuk is die pas ontstond nadat de inversie ten einde liep dus tijdens de afzetting van de bioklasten-ecozones IVb en Va. De Laurensberg breuk daarentegen is een ietwat oudere breuk die ontstond gedurende de inversie, dus tijdens de afzetting van de bioklasten-ecozones I, II en III. Om het een en ander te ontrafelen is verder onderzoek echter noodzakelijk. Hieronder worden voorlopig de mogelijke tektonische bewegingen tijdens de verschillende onderscheiden afzettingen in de Formatie van Maastricht afzonderlijk besproken.

Tektonische bewegingen tijdens de afzettingen in het bovenste gedeelte van de bioklasten-ecozone IVb (= tussen de Horizont van Lichtenberg en de Horizont van Enci)

Tijdens de afzetting van het bovenste gedeelte van ecozone IVb begonnen de Ardennen omhoog te komen en tegelijkertijd liep de inversie van de Roerdal slenk ten einde. Hierdoor

ontstonden de Horizonten van Lichtenberg, St. Pieter en Enci. Diverse breuken, die de schouder vormen van de Roerdal slenk, kwamen ook in beweging. Het omhoog komen van het Ardennen blok wordt fraai gedocumenteerd door de dikte toename van de afzettingen tussen Lanaye en Kunrade (Fig. 45). De Horizont van Lichtenberg en de Horizont van ENCI, die bij de ontsluiting Lanaye (61H-36) samenvallen, zijn in de ENCI groeve reeds ± 3 meter van elkaar gescheiden. In de boring Kastanjelaan is de afstand tussen beide Horizonten ± 6 meter, terwijl in de NEKAMI de afstand reeds 14 meter bedraagt en in Valkenburg achter de Klauwpijp breuk zelfs 20 meter (Fig. 44). Waarschijnlijk is de dikte toename van de afzettingen bij Valkenburg mede toe te schrijven aan het inzakken van de verhoging bij de Anticlinaal van Waubach (Figs. 35, en 39). Vanaf Valkenburg naar Kunrade neemt de afstand tussen beide Horizonten weer af. De afstand is bij Hulsberg nog 17,5 meter en bij Kunrade maar ± 12 meter. Hieruit kan afgeleid worden dat de schol Valkenburg, tussen de Klauwpijp breuk en de Schin op Geul breuk de grootste daling ondergaan heeft. Uit de dikte verschillen van de afzettingen tussen de Horizont van Lichtenberg en de Horizont van Enci kan verder afgeleid worden dat de vervuiling van de sedimenten een gevolg is van de tektonische bewegingen.

Tektonische bewegingen gedurende de afzetting van de pelecypoden-eenheid PVa 1 (= tussen de Horizont van Enci en de Horizont Schiepersberg)

De afzetting van de bioklasten-eenheid PVa 1 is in de omgeving van Kunrade veel dikker dan normaal. De precisie dikte is niet bekend maar bedraagt meer dan 30 meter. Een nog grotere dikte van deze eenheid werd aangetroffen in de boring te Hulsberg, waar de dikte zelfs ruim 55 meter bedraagt (Fig. 44). Duidelijk is dat deze grote dikten samenhangen met stapsgewijze tektonische bewegingen van de schollen die begrensd worden door breuken. Als we ervan uitgaan dat de top van de pelecypoda-eenheid PVa 2 (= Horizont van Romontbos in de ENCI groeve), een min of meer horizontale lijn gevormd heeft tijdens de afzetting (Fig. 44) dan kunnen we de verschillende bedragen die de schollen afzonderlijk neerwaarts bewogen hebben vaststellen. Tussen de Klauwpijp breuk en de Schin op Geul breuk, de schol Valkenburg, bedraagt de neerwaartse beweging 17.5 meter meer dan in Maastricht. Tussen de Schin op Geul breuk/Laurensberg breuk en de Kunrader breuk, de schol Hulsberg, bedraagt de neerwaartse beweging 55 meter en de schol Kunrade had een neerwaartse beweging van ± 30 meter. Dat betekent dat de schol Hulsberg gedurende de afzetting van de pelecypoden-eenheid PVa 1 het meeste gezakt is. Deze bewegingen van de schollen hingen nog steeds samen met de hernieuwde daling van de Roerdalslenk en de opwaartse bewegingen van de Ardennen.

Tektonische bewegingen tijdens de afzetting van de pelecypoden-eenheid PVa 2, (= tussen de Horizont van Schiepersberg en de Horizont van Romontbos)

Gedurende de afzetting van de pelecypoden-eenheid PVa 2 verminderde de daling langs de breuken (Fig. 51). De grootste daling vond nog steeds plaats bij Hulsberg, namelijk 17.5 meter. Bij Kunrade en Valkenburg bedroeg de daling maar ongeveer 6 meter.

Tektonische bewegingen tijdens de afzettingen uit de pelecypoden-eenheid PVb1 tot en met ecozone Vd (= tussen Horizont van Romontbos en de zandige afzettingen uit het Tertiair, (Fig. 52)

In het dwarsprofiel (Fig. 52), waarin aangenomen is dat het zandige Tertiair een horizontale lijn gevormd heeft, zijn diverse tektonische bewegingen waar te nemen die plaats vonden tijdens de afzettingen PVb1 t/m Vd. Vooral de verdere opheffing van de Ardennen en de daling van de omgeving van Maastricht veroorzaakte dat bij Maastricht (Kastanjelaan) duidelijk meer sedimenten afzet werden dan bij 't Rooth. Tussen 't Rooth en Valkenburg bevindt zich de Klauwpijp breuk die zeer waarschijnlijk actief is geweest. Het is echter

moeilijk te bepalen in welke mate dat plaats gevonden heeft. De Schin op Geul/Laurensberg breuk en de Kunrader Breuk zijn vooral actief geweest gedurende de afzetting van de pelecypoden-eenheid PVa 1 (zie ook Fig. 51). Na de afzetting van PVa 2 verminderde deze activiteiten.

Bekijken we nu de afzonderlijke eenheden (Fig. 52) dan kunnen we zien dat de pelecypoden-eenheid PVb 1, tussen de Horizont van Romontbos en Lava, bij Lanaye vrij dun ontwikkeld is en dikker wordt in oostelijke richting. Na deze afzetting stopt waarschijnlijk de sedimentatie op het oostelijke deel van de schouder van de Roerdalslenk. Dit wijst erop dat de daling van de schouder van de Roerdalslenk ten einde liep en weer omgekeerd werd. Het opnieuw omhoog komen van de Roerdal slenk in het zuidoosten zou er voor zorgen dat de schouder zo hoog kwam te liggen dat er geen sediment meer op afgezet werd, of dat er erosie op plaats vond. Bij Maastricht daarentegen zou de noordwestelijke daling tengevolge van de opheffing van de Ardennen verder doorgaan. Bij Maastricht werden zodoende de volledige Maastrichtse kalkstenen, zoals de Kalkstenen van Emael, de Kalkstenen van Nekum en gedeelten van de Kalksteen van Meerssen afgezet die bij Kunrade ontbreken en evenmin bij Vaals, Epen en op de Ardennen aangetroffen werden.

Een overzicht van de tegenwoordige ligging t.o.v. het NAP van alle afzettingen die aangetroffen werden tussen Banholt en Boring 67, (Fig. 53) laat zien dat vooral in het Tertiair de opheffing van de Ardennen en de hernieuwde daling van de Roerdalslenk invloed hadden op de diepte waarop de sedimenten aangetroffen werden.

Het dwarsprofiel (Fig. 38) door het noordwestelijk gedeelte van de schouder van de Roerdalslenk laat zien dat aldaar maar op enkele plaatsen sedimenten aangetroffen zijn van de ecozones Vc en Vd, namelijk in de boring bij Kemperkoel en mogelijk ook nog bij Raath. Dit kan erop wijzen dat uitsluitend in een kleine strook tussen het Ardennenblok en het Massief van Brabant een volledig profiel van de Formatie van Maastricht aanwezig is. Naast de omgeving van Maastricht en rond Valkenburg werden verder alleen bij Vechmaal en op de schouder van de Roerdalslenk sedimenten uit de ecozones Vc en Vd aangetroffen. Zowel in de Belgische Kempen en op het Massief van Brabant werden geen sedimenten meer uit deze ecozones aangetroffen. Dit betekent dat aldaar een hiaat aanwezig is vanaf ecozone Vb tot ecozone VI.

De smalle strook met sedimenten uit ecozone Vc en Vd (Kalksteen van Nekum en Meerssen)

Sedimenten van ecozone Vc en Vd werden uitsluitend aangetroffen in een relatief smalle strook vanaf Vechmaal over Maastricht, Geulhem, naar de boring Kemperkoel toe bij Sittard. Ze ontbreken op het Massief van Brabant en op het Ardennen blok, evenals op het grootste gedeelte van de Roerdalslenk. Het lijkt erop dat we hier te doen hebben met een mogelijk lokale erosiegeul tussen het Massief van Brabant en de Ardennen die gedurende een regressie van de zee afwaterde in de richting naar de Roerdalslenk toe. Op plaatsen waar nog ecozone Vc aanwezig is bevindt zich aan de top de Horizont van Caster, die plaatselijk heel duidelijke erosieverschijnselen vertoont. Waarschijnlijk ontstond dus door de afwatering een geul die tijdens de daarop volgende transgressie opgevuld met werd sedimenten van ecozone Vd (zie Fig. 46). Aan de top van deze afzetting bevinden zich de Horizonten van Berg Terblijt en de Horizont van Vroenhoven. Plaatselijk vertoont de Horizont van Berg Terblijt erosieverschijnselen terwijl de Horizont van Vroenhoven een duidelijke hardground is. Deze Horizonten komen waarschijnlijk overeen met het hiaat dat aangetroffen werd in de Belgische Kempen.

De breedte van de geul waarin de sedimenten van ecozone Vc en Vd afgezet zijn is mij onbekend. Op de schouder van de Roerdalslenk worden ze begrensd door breuken (Fig. 38).

Ecozone VI = Formatie van Houthem

In Nederlands Limburg is de Formatie van Houthem, die reeds tot het Dano-Montien gerekend wordt, maar op enkele plaatsen aan de oppervlakte ontsloten. In de groeve Curfs te Geulhem, alwaar de Kalksteen van Geulhem ontsloten is, werd afzetting door middel van monsters per 50 cm onderzocht (Fig. 46). Tijdens het uitlezen van de bioklasten werden nog regelmatig ingespoelde restanten gevonden van bioklasten uit ecozone Vd. Dit wijst er mijns inziens op dat tijdens de afzetting van ecozone VI in de groeve Curfs nog steeds opvulling plaats vond van de erosiegeul die voorheen ontstond. De grootste dikte van ecozone VI, in Nederlands Limburg, werd in de boring Kemperkoel onderzocht (Fig. 54). In de boringen van Belgische Kempen werden nog grotere dikten van de Formatie van Houthem doorboord, maar uitsluitend bemonsterd door middel van monsters per 3 – 5 meter. Een eerste overzicht van de onderzoeken werd gepubliceerd in 1988 (Felder P.J. 1988a). De bioklasten-ecozone VI in de Belgische Kempen, is gekenmerkt door grote pieken van bryozoa en foraminifera (*Rotalia* en *Valvulammina*) hetgeen erop wijst dat dit een andere afzetting is dan die in de groeve Curfs. Waarschijnlijk is er in de Belgische Kempen tussen ecozone Vb en ecozone VI een groter hiaat ontstaan. Het was niet mogelijk in de Belgische Kempen de lithologische indeling zoals die in Nederlands Limburg opgesteld is (Felder W.M. en P. Bosch 2000) te vervolgen. De resultaten van de onderzoeken in de Belgische Kempen zijn door middel van de figuren 54 t/m 86 weergegeven in Felder P.J. 2001a. Om de tektonische bewegingen te verduidelijken zijn een tweetal dwarsprofielen getekend (Figs. 49 en 50) waarbij de basis van het zandig en kleiig Tertiair horizontaal aangehouden is.

Slotconclusie

In de loop van de laatste vijftig jaar van de twintigste eeuw is opnieuw in Nederlands Zuid Limburg een gecompliceerde lithologische indeling van het Boven-Krijt tot stand gebracht. Om dit te bereiken zijn honderden groeven zeer nauwkeurig opgenomen. Alle ontsluitingen, ook tijdelijke, werden daartoe gebruikt. Later werd gepoogd om in alle lithologische typelokaliteiten monsters te nemen om de mesofossiel-inhoud (= bioklasten-inhoud) te bepalen. Hierbij bleek dat men door middel van de bioklasten tot een gedeeltelijk andere indeling kwam dan via de lithologie. Een voordeel van het bioklasten-onderzoek was dat men ook de boorgruismonsters uit boringen kon onderzoeken op de inhoud aan bioklasten. Gunstig was het dat in de periode 1970 tot 2000 vele boringen gemaakt werden in een gebied dat zich vanaf de Ardennen tot in Antwerpen en de Noordzee uitstrekte. Uiteindelijk kwam via het bioklasten-onderzoek ook een gecompliceerd beeld van de diverse lagen uit het Boven Krijt te voorschijn.

Uiteindelijk werd in de tweede helft van de twintigste eeuw opnieuw indelingen gemaakt waarin nog meer onderscheid vastgesteld werd dan in de negentiende eeuw. De tijd lijkt dus weer rijp om een eenvoudige indeling te maken. Ik weet echter niet precies hoe men dit zou kunnen uitvoeren. Voorlopig is geprobeerd om de in de lithologie gebruikte namen ook te gebruiken bij de bioklastenindeling en met behulp van enkele essentiële profielen een dwarsdoorsnede door het onderzochte gebied te maken (Fig. 55). Beginnende bij een boring in Helchteren (KS 29) alwaar de grootste dikte van de Krijtsedimenten aangetroffen werd die door middel van de bioklasten in dertien ecozones verdeeld werden. Tussen de Krijtsedimenten en de kalkige sedimenten uit het Tertiair is aldaar een hiaat aanwezig. Zeer waarschijnlijk bevindt zich in deze boring een hiaat tussen de ecozones IIb en IVa. Meer naar het centrum toe van het Massief van Brabant (bij Diepenbeek) neemt de dikte, vooral van de onderste sedimenten af en bij Velm zijn uiteindelijk nog maar twee ecozones vertegenwoordigd namelijk ecozone IIa en IVb. Tussen deze afzettingen bevindt zich een

groot hiaat dat de afzettingen omvat vanaf de Horizont van Froidmont tot \pm de Horizont van Boirs. Naar boven toe is hier een groot hiaat aanwezig vanaf ecozone IVb.

Literatuur

ADRICHEM BOOGAERT H.A VAN & W.F.P. KOUWE, 1993 compilers: Stratigraphic nomenclature of the Netherlands, revision and update by RGD and NOGPA. *Meded. Rijks Geologische Dienst*, Nr 50.

ALBERS H.J., W.M. FELDER, P.J. FELDER, O.S. KUYL, H.J.W. VAN AMERONG, P.W. BOSCH & J.P.M.T. MEESSEN, 1978a: Lithology and Stratigraphy of Upper Cretaceous of Eastern South Limburg and neighbouring Belgium and Germany. *Excursion guide, Excursion A, Joint annual meeting Paläontologische Gesellschaft/Paleontological Association*, Maastricht 25-09-01-10-1978, pp 1 – 49.

ALBERS H.J., W.M. FELDER, P.J. FELDER, O.S. KUYL, H.J.W. VAN AMERONG, P.W. BOSCH & J.P.M.T. MEESSEN, 1978b: Lithology and Stratigraphy of Upper Cretaceous of the Belgian-Dutch borderland west of the river Meuse. *Excursion guide, Excursion C, Joint annual meeting Paläontologische Gesellschaft/Paleontological Association*, Maastricht 25-09-01-10-1978, pp 49 – 100.

ALBERS H.J. & W.M. FELDER, 1979: Litho- Biostratigraphie und Palökologie der Oberkreide und des Alttertiärs (Präobersanton-Dan/Paläozän) von Aachen-Südlimburg (Niederlande, Deutschland, Belgien). *Aspekte der Kreide Europas, IUGS Series A*, 6, pp 47 – 84

BLESS Martin M.J., P.J. (Sjeuf) FELDER & Jan P.M. Th MEESSEN, 1986a: Late Cretaceous sea level rise and inversion: Their influence on the depositional environment between Aachen and Antwerp. *Annal. de la Soc. Géol. de Belg.* T 109, 1986, pp.333 – 355.

BLESS M.J.M., J. BOUCKART, P.J. FELDER, H.R. LANGGUTH & J.P.M.Th. MEESSEN, 1986b: Gesteenten, fossielen en water van de proefboring Thermae 2000 te Valkenburg aan de Geul. Uitgave *Valdruk, Valkenburg aan de Geul i.s.m. Natuurhistorisch Museum Maastricht*, 1986, pp. 1-40. ISBN 90-6190-025-6

BLESS Martin J.M., P.J. (Sjeuf) FELDER, 1989: Note on the Late Cretaceous of Hockai (Hautes Fagnes, NE. Belgium). *Annal. de la Soc. Géol. de Belg.* T 112 (1), pp. 47 – 56.

BLESS M.J.M., A. Demoulin, P.J. FELDER, J.M.W. JAGT & J.P.H. REYNDERS, 1990a: The Hautes Fagnes Area (NE Belgium) as a Monadnock during the Late Cretaceous. *Annal. de la Soc. Géol. de Belg.* T 113 (2) 1990, pp. 75 – 101.

BLESS M.J.M., P.J. FELDER & J.W.M. JAGT, 1990b: Repeated Tethyan influences in the Early Campanian to Middle Late Maastrichtian successions of Folx-Les-Caves and Orp-Le-Petit (Eastern Brabant Massif, Belgium). *Annal. de la Soc. Géol. de Belg.* T 113 (2) 1990, pp. 179 – 197.

BLESS M.J.M., M.DUSAR, P.J. FELDER & R. SWENNEN. 1993: Lithology and biostratigraphy of Upper Cretaceous-Paleocene carbonates in the Molenbeersel borehole (NE Belgium). *Geologie en Mijnbouw*, 71, 1993, pp. 239 – 257.

BLESS Martin J.M., Rabah DJAIZ, P.J. (Sjeuf) FELDER, John W.M. JAGT & Wil ROEBROEK. 1987: “Session extraordinaire” of the two Belgian Geological Societies on the Late Cretaceous and Quaternary in the Liège-Maastricht-Heerlen area, 12-14 June 1987. *Bulletin de la Soc. Belge de Géol.*, T 96 (4) 1987, pp. 309 – 323.

BRAAT P. 1983: Fossielenanalyse van een profiel bestaande uit een gedeelte van de Formatie van Gulpen en een gedeelte van de Formatie van Maastricht. Tevens herbewerking van de profielen van W.A. Schenk (1971). *Doctoraalverslag, Afd. Biogeologie, Sectie Biologie Kath. Universiteit Nijmegen*, 198 pp. 1 – 50.

COENDERS B. 1982: Fossielanalyse in de Kunrader kalken en een literatuurstudie van de Ophiuroidea. *Doctoraalverslag, Afd. Biogeologie, Sectie Biologie Kath. Universiteit Nijmegen*, 198 pp. 1 – 63.

CUPEDO D.F. 1970: Fossielanalyses in het Kunrader Krijt. *Doctoraalverslag, Afd. Biogeologie, Sectie Biologie Kath. Universiteit Nijmegen*, 198 pp. 1 – 93.

FELDER, P.J. 1961: Het vuursteeneluvium in Zuid Limburg. *Grondboor en Hamer* 1961, pp 337 – 344.

FELDER P.J., 1962: Profielen van het Gulpens Krijt, opgenomen door de “Werkgroep Krijtonderzoek” in 1961. . *Jaarboek 1961 Ned. Geol. Ver. Afd. Limburg*, pp 11 – 18.

FELDER P.J., 1963: Publicatie van de boringen verricht door de Afdeling Limburg van de Ned. Geol. Vereniging. *Jaarboek 1962 Ned. Geol. Ver. Afd. Limburg*, pp 48 – 56.

FELDER, P.J. 1981: Correlatie van de ontgonnen vuursteenlagen Ryckholt – St. Geertruid met vuursteenlagen uit de type-lokaliteiten, door middel van mesofossielen . *Staringia Ned. Geol. Ver.* No 6, pp 28 – 30.

FELDER, P.J. 1986: Rythms, flint and mesofossils in the Cretaceous (Maastrichtian) of Limburg The Netherlands. In: *The Scientific study of flint and chert: Proceedings of the fourth international Symposium held at Brighton Polytechnic 10-15 april 1983* (edited by G de C. Sieveking & M.B. Hart, pp 83 – 87.

FELDER, P.J. 1986 tot 1996: Krijt onderzoek in Eys. *Sprekende Bodem*: Deel 1, 1986 (3/4) pp. 59 – 60, deel 2, 1990 (2), pp 11 – 13, deel 3 1990 (2), pp 33 – 36, deel 4+5 1990 (3), pp 61 – 64, deel 6 1990 (4), pp 17 – 20, deel 7 1991 (2) pp 37 – 40, deel 8 1992 (1) pp 14 – 18, deel 9 1992 (2) pp 43 – 44, deel 10 1992 (3/4) pp 73 – 76, deel 11 1993 (1) pp 17 – 21, deel 12 1993 (3) pp 51 – 54, deel 13 1993 (4) pp 73 – 75, deel 14 1994 (1) pp 17 – 21, deel 15 1994 (3) pp 57 – 59, deel 16 1995 (1) pp 11 – 16, deel 17 1995 (2) pp 42 – 45, deel 18 1995 (3) pp 55 – 57, deel 19 1995 (4) pp 79 – 82, deel 20 1996 (1) pp 11 – 14, deel 21 1996 (2) pp 37 – 41, deel 22 1996 (3) pp 61 – 66, deel 23 1996 (4) pp 93 – 94.

FELDER P.J. 1988a: Maastrichtian-Early Tertiary strata in the SE Netherlands (Curfs quarry, Rur Valley Graben) and the Campine Mining district (NE Belgium): Lithologie, Gamma radiation and Bioclast Assemblages. *Meded. Werkgr. Tert. Kwart. Geol.*, 25 (2-3) 1988, pp. 115 – 125.

FELDER P.J. (Sjeuf), 1988b: Lithologic and bioclastic aspects of the Maastrichtian type area between Maastricht (The Netherlands) and Halembaye (Belgium). In: *The Chalk District of the Euregio Meuse-Rhine*, M. STREEL & M.J.M. BLESS (editors) 1988, pp. 41 – 55.

FELDER P.J. (Sjeuf) 1994a: Bioklasten in het Krijt van West- en Oost Vlaanderen. *Prof. Paper* 1994/3 No 270, pp 1-86.

FELDER P.J. (Sjeuf) 1994b: Bioklasten-onderzoek van Boven-Krijt en Dano-Montiaan afzettingen uit boringen in de Belgische Kempen. *Prof. Paper*, 1994/8 No 275, pp. 1 – 240.

FELDER P.J. Sjeuf 1996: Late Cretaceous (Santonian-Maastrichtian) Sedimentationrates in the Maastricht (NL), Liège/Campine (B) and Aachen (D) area. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 1994, 117 (2), pp. 311 – 319 (Verschenen in 1996).

- FELDER P.J.(Sjeuf), 1997a: The Vijlen Chalk Member (Maastrichtian, Late Cretaceous) in the Meuse-Rhine Euregio. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 119, pp. 119 – 133.
- FELDER, P.J. (Sjeuf), 1997b: Flint, bioclats, sequences and cycles in Upper Maastrichtian deposits between Maastricht (The Netherlands) and Liège Belgium. In: *Man and Flint*, Institute of Archeology and Etnology, Polish Academy of Sciences (editors A. Ramos-Milan & M A. Bustillo) Warszawa 1997, pp. 143 – 150.
- FELDER P.J. (Sjeuf) 1997c: Het geologisch monument groeve Schiepersberg (62A-26) te Cadier en Keer. *Sprekende Bodem* 1997 (3) pp 51 - 61
- FELDER, P.J. (Sjeuf) 1998: Bioklasten en de Krijt/Tertiair grens. *Sprekende Bodem* 1998 (3/4) pp. 65 – 73.
- FELDER P.J. (Sjeuf) 1999: Een boring bij Hulsberg, Zuid Limburg, Nederland. *Sprekende Bodem* 1999, (3) pp 57 – 63.
- FELDER, P.J. (Sjeuf) 2000: Onderzoek van boormonsters uit een putboring te Banholt-Reijmerstok. Deel 1: in *Sprekende Bodem* jaargang 46 , No 1, 2000, pp 17 – 22. Deel 2: in *Sprekende Bodem* jaargang 46, No 2, 2004, pp 57 – 64. Deel 3, *Sprekende Bodem* jaargang 46, No 3, 2000, pp 86 – 91.
- FELDER P.J., 2001a Bioklasten-stratigrafie of ecozonatie voor het krijt (Santoniaan-Campaniaan-Maastrichtiaan) van Zuid-Limburg en oostelijk België. *Memoirs of the Geological survey of Belgium*, N 47-2001, pp 1 – 141.
- FELDER P.J. (Sjeuf), 2001b: Bioklasten uit het Boven-Krijt (Campanien-Maastrichtien) van boringen in Nederlands Limburg, de Belgische Kempen en de Noordzee. *Natuurhistorisch Maandblad*, 90, 2001, pp. 28 – 34.
- FELDER, P.J. (Sjeuf) 2001c: Delfstoffen in Cadier en Keer. *Uitgave Ver. Tot. Natuurbehoud Cadier en Keer*, 2001, pp 1 – 128.
- FELDER P.J. (Sjeuf) 2001d: Een boring op de Heereberg (62A-444) te Cadier en Keer. *Sprekende Bodem* 2001 (3) pp 66 - 71
- FELDER P.J. (Sjeuf) 2001e: Putboring op de Schoppemerheide (B). *Sprekende Bodem* 2001 (3) pp 101 – 106.
- FELDER P.J.,(Sjeuf), 2003/2004: Tectonische bewegingen in Limburg tijdens en na het Krijt. Deel 1: in *Sprekende Bodem* jaargang 47 , no 3-4, 2003. pp 87 – 99. Deel 2: in *Sprekende Bodem* jaargang 48, No 3, 2004. pp 69 – 88.
- FELDER, P.J., M.J.M. BLESS, R. DEMYTTENAERE, M. DUSAR, J.P.M.Th. MEESSEN & F. ROBAZYNSKI. 1985a: Upper Cretaceous to Early Tertiary deposits (Santonian – Paleocene) in northeastern Belgium and South Limburg (the Netherlands) with reference to the Campanian – Maastrichtian. *Prof. Paper*1985/1, Nr 214, pp 1 – 151.
- FELDER P.J., M.J.M. BLESS & J.P.M.TH. MEESSEN, 1985b: Bioklasten, Ostracoden en Foraminiferen in het Campanien en Maastrichtien van Zuid Limburg en Noord Oost België. *Grondboor en Hamer* 1985, 6 pp 163 – 198.
- FELDER, P.J. & L.G.M. BOONEN 1988: Gamma-ray measurements of Upper Cretaceous to Pleistocene deposits in South Limburg (SE Netherlands) and northern Liège (NE Belgium). In: *The chalk district of the Euregio Meuse-Rhine*. Edited by M. Streel & M.J.M Bless. 1988 pp 17-24. ISBN 90-70705-04-4.

FELDER P.J. (Sjeuf) & M.J.M. BLESS, 1989: Biostratigraphy and ecostratigraphy of Late Cretaceous deposits in the Kunrade area (South Limburg, SE Netherlands). *Annal. de la. Soc. Géol. de Belg.* T 112 (1), pp. 31 – 45.

FELDER P.J. (Sjeuf) & M.J.M. BLESS 1994: The Vijlen chalk (Early Early to Early Late Maastrichtian) in its type area around Vijlen Mamelis (South Limburg, The Netherlands). *Annal. de la. Soc. Géol. de Belg.* T 116 (1), pp. 61 – 85.

FELDER P.J, E. KEPPENS, B. DECLERCQ, S. NORMAND & M. STREEL, 2003: Faunal/floral and isotopic responses to Milankovitch precession cycles and environmental changes in the upper Gulpens Formation (Upper Maastrichtian) at the CBR-Lixhe and ENCI-Maastricht bv quarries. *Netherlands Journal of Geosciences/ Geologie en Mijnbouw*, 2003, 82 (3): pp 275 - 281

FELDER W.M., 1960: Het Belemnitenkerkhof in het Gulpens Krijt. *Grondboor en Hamer* 1960, pp 89 – 105.

FELDER W.M., 1964: Geologie van het Gulpdal. *Jaarboek 1962 Ned. Geol. Ver. Afd. Limburg*, pp 39 – 66.

FELDER W.M., 1972: Ons Krijtland Zuid-Limburg. I, van Epen naar Vaals. De Geologie van een toeristenweg. *Wetenschappelijke meded. K.N.N.V.*, No 55, 1972, pp 1 – 32.

FELDER W.M., 1975: Lithostratigrafie van het Boven Krijt en het Dano-Montien in Zuid Limburg en het aangrenzende gebied. *Rijks Geologische Dienst*, Haarlem pp 63 – 72.

FELDER, W.M. 1981: De stratigrafische plaats van de vuurstenen in het prehistorisch mijnveld van Ryckholt – St. Geertruid. *Staringia Ned. Geol. Ver.* No 6, pp 25 – 28.

FELDER, W.M., 1983: De kalksteengroeve Ciments Portland Liègeois bij Halembaye, gem. Visé, prov. Liège, België. *Grondboor en Hamer* 1983, 37: pp 122 – 138.

FELDER W.M., P.J. FELDER, J. MEESSEN, F. BODELIER, H. SIPMAN, J. H. WILLEMS, P.C.M. RADEMAKERS, & H. ALBERS 1962: Overzicht van de ontsluitingen van het Akens zand. Gelegen op de Nederlandsche topografische kaart schaal 1 : 25 000. En een aanhangsel bevattende de voornaamste ontsluitingen gelegen buiten dit kaartgebied. *Grondbooren Hamer* 1962, pp 177 – 247.

FELDER W.M., P.J. FELDER, O.S. KUYL, H.J.W. VAN AMERONG, P.W. BOSCH & J.P.M.T. MEESSEN, 1978a: Facies changes lithology and stratigraphy of the Maastrichtian between Maastricht and Aix-la-Chapelle. *Excursion guide, Excursion E, Joint annual meeting Paläontologische Gesellschaft/Paleontological Association*, Maastricht 25-09-01-10-1978, pp 1 – 64.

FELDER W.M., P.J. FELDER, O.S. KUYL, H.J.W. VAN AMERONG, P.W. BOSCH & J.P.M.T. MEESSEN, 1978b: Lithology and Stratigraphy of the Maastrichtian chalks in the type areal on both sides of the River Meuse. *Excursion guide, Excursion G, Joint annual meeting Paläontologische Gesellschaft/Paleontological Association*, Maastricht 25-09-01-10-1978, pp 65 – 94. .

FELDER W.M. & ALBERS H.J., 1980: De lithostratigrafische plaats van het vuursteeneluvium in de spoorweg insnijding van Hockay. *Grondboor en Hamer*, 1980 (6), pp 201 – 206.

FELDER W.M., & P.W. BOSCH 1984: Geologische kaart van Zuid Limburg en omgeving, 1 : 50 000, Pré Kwartair. *Rijks Geologische Dienst, District Zuid Heerlen*. 1984

- FELDER W.M., & P.W. BOSCH 2000: Geologie van Nederland deel 5: Krijt van Zuid-Limburg. *Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen* Delft/Utrecht, pp 1 – 192.
- HOFKER J. 1956: Les foraminifères de la zone de contact Maestrichtien-Campanien dans l'Est de la Belgique et le Sud des Pays Bas. 1956 *Ann. Soc. Géol. Belg.*, (80) pp 191 – 233.
- HOFKER J. 1958: Foraminifera from the Cretaceous of South Limburg, Netherlands. XXXVIII the gliding change in *Bolivinoïdes* during time. *Natuurhistorisch Maandblad* 47, pp 145 – 159.
- HOFKER J. 1961: Foraminifera from the Cretaceous of South Limburg, Netherlands LII. Stratigraphy of the Gulpen Chalk in South Limburg established by means of the Orthogenesis of *Bolivinoïdes*.. *Natuurhistorisch Maandblad* 50, pp 37 – 40.
- HOFKER J., 1966: Maestrichtian, Danian and Paleocene Foraminifera. *Palaeontographica* (A), Suppl. 10, 1966, pp 1 – 376.
- JAGT J.W.M., P.J. FELDER, J.P.M. MEESSEN, 1987: Het Boven-Campanien in Zuid-Limburg (Nederland) en Noordoost België. *Natuurhistorisch Maandblad*, 76 (4), 1987, pp. 94 – 110.
- HAQ B.U., J. HARDENBOL & P.R. VAIL 1988: Mesozoic en Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea level change. In: Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, S.G.S.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A., & Van Wagoner J.C. (eds): Sea-level changes – An integrated approach, pp 71 – 108. *Soc. of Economic Paleontologists and Mineralogists*, Special Publ. 42
- HOUBEN, A.J.H.M., 1985: Mesofossiel-analytisch onderzoek in de kalken behorende tot de Formatie van Maastricht; De groeve Dolekamer en de groeve Marnebel. *Doctoraalverslag, Afd. Biogeologie, Sectie Biologie Kath. Universiteit Nijmegen*, 1985 pp. 1 – 86.
- JONGMANS R.W., 1948: Geologische bezienswaardigheden in Epen en omgeving. 2^{de} druk, Maastricht.
- KENNEDY, W.J., 1986: The Campanian-Maastrichtian ammonite sequence in the environs of Maastricht (Limburg, the Netherlands), Limburg and Liège provinces (Belgium). *Newsl. Stratig.* 16 (3) 1986: pp 25 – 83.
- KESSELS J.E. 1971: Fossielanalyses in het Kunrader Krijt. *Doctoraalverslag, Afd. Biogeologie, Sectie Biologie Kath. Universiteit Nijmegen*, 198 pp. 1 – 57.
- KEUTGEN N. & L.A. VAN DER TUUK, 1990: Belemnites from the Lower Maastrichtian of Limburg, Aachen and Liège. *Med. Rijks Geol. Dienst*, 44-4, pp 1 – 39.
- KUYL, O.S., 1983: The inversion of part of the southern border of the Central Graben in South Limburg during the Late Cretaceous. *Geologie en Mijnbouw*. Special issue in the honor of J.D., De Jong: Editors M.W. Van de Berg & R. Felix, 1983 pp 401 – 408.
- MULLER J.E., 1945: De Post-Carbonische tektoniek van het Zuid-Limburgse Mijngedied. *Meded. Van de Geol. Stichting*. Serie C – 1 – 1 – No 2.
- PAFFEN, B.G.P., 1982: Meso-fossielenanalyses in de kalken behorende tot de Formatie van Maastricht en de Formatie van Gulpen. *Doctoraalverslag, Afd. Biogeologie, Sectie Biologie Kath. Universiteit Nijmegen*, 1982 pp. 1 – 88.
- REUBSAET F. & SCRABANJA A. 1980: Fossielenanalytische vergelijking van de Maastrichtse en de Kunrader kalken. *Doctoraalscriptie, Afd. Biogeologie, Sectie Biologie Kath. Universiteit Nijmegen*, 1980 pp. 1 – 40.

- ROELOFS, M., 1980: Een vergelijkend fossielanalytisch onderzoek naar de “Meerssener kalksteenformatie” in Zuid-Limburg en een literatuurstudie naar de manifestatie van de serpulidae in de kalksteen van Maastricht. *Doctoraalverslag, Afd. Biogeologie, Sectie Biologie Kath. Universiteit Nijmegen*, 1980 pp. 1 – 69.
- RUYTERS H.M.J., P.W. BOSCH, P.J.M. KISTERS & W.M. FELDER 1995: Geologische kaart van Zuid Limburg en omgeving 1 : 50 000 Paleozoïcum. *Rijks Geologische Dienst, District Zuid, Heerlen* 1995.
- SCHENK W.A. 1971: Onderzoek naar een methode voor een betere karakterisering van de krijten, d.m.v. Fossielanalyses uitgevoerd in het Maastrichtse Krijt. *Doctoraalverslag, Afd. Biogeologie, Sectie Biologie Kath. Universiteit Nijmegen*, 1971 pp. 1 – 90.
- SNELLING H.L.M., 1985: Een mesofossiel-analytisch onderzoek in de Formatie van Maastricht, met name in de Kalksteen van Nekum. . *Doctoraalverslag, Afd. Biogeologie, Sectie Biologie Kath. Universiteit Nijmegen*, 1985 pp. 1 – 124.
- STARING W.C.H., 1860: De Bodem van Nederland, deel II, pp 1 – 467.
- UBAGHS C., 1879: Description géologique et paléontologique du sol de Limbourg avec catalogue général des fossiles du terrain Crétacé, coupe de la superposition des couches, et description de quelques grands vertébrés de la craie supérieure de Maastricht. *J.J. Romen et fils, Ruremonde*, 1879, pp 1 – 275.
- UHLENBROEK G.D., 1912: Het Krijt van Zuid Limburg. Toelichting bij een geologische kaart van het Krijtgebied van Zuid Limburg door G.D. Uhlenbroek met bijbehorende kaart en profielschetsen (pl III/IV). *Jaarverslag der Rijksopsporing van delfstoffen over 1911*, pp 48 – 57.
- VRIEND de, Marnix C., 1983: Een mesofossiel-analytisch onderzoek van een pakket kalken uit het Krijt te Aken en een standarisering van het fossiel-analytisch werk van H.A.J. Weijs (1967). *Doctoraalverslag, afd. Biogeologie sectie Biologie, Katholieke Universiteit Nijmegen*. 1983 , pp 1 – 56.
- WEYS H.A.J., 1967: Een fossielen-analytisch onderzoek in de type-localiteit van het Kunrader Krijt. *Doctoraalverslag, afd. Biogeologie sectie Biologie, Katholieke Universiteit Nijmegen*. 1967 , pp 1 – 81.

Figuren behorende bij: Zoektocht naar grenzen in het Krijt.

Figuur 1:

Indeling van het onderste Gulpenskrijt, Felder W.M. (1962).

Figuur 2:

Opgenomen profielen in het Gulpenskrijt, Felder P.J. (1963).

Figuur 3:

Lithostratigrafische indeling van het Boven-Krijt en het Dano-Montiaan in Zuid- Limburg en het aangrenzende gebied, Felder, W.M. (1975).

Figuur 4:

Schema van de Kunrader Facies in de Formatie van Maastricht, Felder W.M. (1975),

Figuur 5:

Overzicht van de belangrijkste tektonische eenheden, het Massief van Stavelot, het Massief van Brabant en de Roerdalslenk en de plattegrond van belangrijke ontsluitingen, groeven en boringen die gebruikt werden voor het maken van diverse dwarsprofielen.

Figuur 6:

Breuken, overschuivingen, anticlinalen en de loop van een erosiegeul in zuiden van de provincie Limburg (NL) en de noordkant van de provincie Luik (B) met daarop aangegeven de gebruikte ontsluitingen en boringen bij het maken van dwarsprofielen.

Figuur 7:

Een poging tot het inpassen van de Boven-Krijt afzettingen in Limburg in de “*Geological Times Scale for the Netherlands*”, Adrichem Bogaert (1993) door Felder P.J. (2001).

Figuur 8:

Legenda van de gebruikte symbolen en een poging tot het samenstellen van een overzicht van de onderscheiden ecozones en de lithostratigrafische Horizonten en Formaties.

Figuur 9:

Indeling van de bioklasten in het onderste gedeelte van de boring 123W-735 te Hombourg (Felder P.J. 2001), maar nu met daarop aangegeven de Horizonten van Terstraten, Benzenrade en de Zeven Wegen en de eenheid ecozone IIa*.

Figuur 10:

Dwarsprofielen door de boring 67, 55, De Dael, Schacht Sophia en de Lousberg te Aken op de schouder van de Roerdalslenk

Onderste gedeelte, hierin is aangenomen dat de Horizont van Raren ooit een horizontaal vlak geweest is.

Bovenste gedeelte, hierin is aangenomen dat de Horizont van Benzenrade een horizontaal vlak geweest is. Voor het vervolg zie figuur 16.

Figuur 11:

Dwarsprofiel van de afzettingen op het Ardennen blok vanaf de Lousberg bij Aken, over de ontsluitingen bij Vaals en de boringen Hombourg en Moors tot bij Hockay in de Ardennen. Aangenomen is dat de Horizont van Benzenrade een horizontale lijn is geweest. Boven deze Horizont ligt bij de boring Moors ecozone IIa (Kalksteen van Zeven Wegen) en bij de boring Hombourg en Vaals ecozone IIa* (Zand van Benzenrade) en bij de Lousberg het bovenste gedeelte van ecozone IVb (is kunrader Kalksteen). Het Lichtenberg hiaat bij de Lousberg hoeft overigens niet overeen te komen met de Horizont van Benzenrade.

Figuur 12:

Indeling van het te ontsluiten gedeelte van de Formatie van Vaals in de typelokaliteit te Vaals, met behulp van de bioklasten.

Figuur 13:

Indeling van de Formatie van Vaals, met behulp van de bioklasten, in de boring 61F-296 Kastanjelaan te Maastricht, met daarop aangegeven de ligging van de Horizont van Terstraten

bij de belemnietenpiek Bel6 en de Horizont van Loën bij de belemnietenpiek Bel7. De Horizont van Loën komt niet overeen met de Horizon van Zeven Wegen, maar is een erosieniveau.

Figuur 14:

Indeling van de afzettingen in de boring 62B-862 aan de Kunderberg te Kunrade, met behulp van de bioklasten. Zandig krijt van Benzenrade = het Zand van Benzenrade (Felder en Bosch 2000). In dit profiel is nu de lithologische Horizont van Slenaken en het Lichtenberg hiaat aangegeven

Figuur 15:

Indeling van de afzettingen in de boring 62B-450, De Dael, te Benzenrade, met behulp van de bioklasten. De Horizont van Benzenrade is aangegeven bij de belemnietenpiek Bel7 en de Horizont van Terstraten ligt waarschijnlijk bij de belemnietenpiek Bel6?

Figuur 16:

Vervolg van de dwarsprofielen in figuur 10, in deze figuur is het Lichtenberg hiaat als een horizontale lijn aangehouden. Dit hiaat omvat bij de Lousberg bij Aken alle afzettingen tussen ecozone Ib? tot het bovenste deel van ecozone IVb. Bij de Kunderberg is het hiaat kleiner en omvat de afzettingen vanaf ecozone IIb tot het bovenste gedeelte van ecozone IVb.

Figuur 17:

Indeling van de afzettingen in ontsluiting 62D-15 + een boring, met behulp van bioklasten, in de lithologische typelokaliteit van de Kalksteen van Zeven Wegen bij de Zeven Wegen. In tegenstelling tot eerdere interpretaties zijn nu de Horizont van Bovenste Bosch, en de Horizont van Böckler in dit profiel aangegeven. Deze Horizonten vormen hier een hiaat vanaf ecozone IIa tot en met de afzettingen van Vijlen 0 tot en met Vijlen 4 van ecozone III. Verder is Formatie van Vaals onder de Horizont van Zeven Wegen, nu gelijk gesteld aan ecozone IIa*, het Zand van Benzenrade.

Figuur 18:

Indeling van de Kalksteen van Zeven Wegen (ecozone IIa), met behulp van bioklasten, in de groeve CPL 61H-9 te Halembaye (B). Dit profiel is gebruikt om ecozone IIa te definiëren. Voor de hogere lagen uit deze groeve zie figuur 33.

Figuur 19:

Indeling van de Kalksteen van Beutenaken in de typelokaliteit te Beutenaken met behulp van bioklasten. De Formatie van Vaals onder ecozone IIa wordt nu ook tot ecozone IIa* = Zand van Benzenrade gerekend.

Figuur 20:

Een eerste poging tot het correleren van de Boven-Krijt afzettingen in Nederlands Limburg met de afzettingen in de Belgische Kempen, Felder P.J. (1997).

Figuur 21:

Tektonische bewegingen van de ondergrond tengevolge van hernieuwde opheffingen van de bodem bij de in de ondergrond aanwezige anticlinalen.

Onderste gedeelte, hierin is aangenomen dat de Horizont van Benzenrade, de Horizont van Böckler en het Lichtenberg Hiaat (= bovenkant Formatie van Vaals), ooit een horizontale lijn waren.

Bovenste gedeelte, hierin is aangenomen dat de Horizont van Zonneberg en Lichtenberg ooit een horizontale lijn waren. Uit deze figuren blijkt dat de opheffing van de bodem bij Banholt reeds plaats vond tegen het einde van de afzetting van ecozone Ia, de Formatie van Aken en zijn maximum van 37 meter bereikte tijdens de afzetting van de Formatie van Vaals. Bij Valkenburg werd de bodem na de afzetting van ecozone Ia, de Formatie van Aken minimaal 22 meter opgeheven. De grootste opheffing vond echter plaats na de afzetting van ecozone IIa, IIb en III, tot een totaal van 50 meter. Voor het vervolg zie de figuren 35, 39 en 53.

Figuur 22:

Onderste gedeelte, een zuidwest noordoost dwarsprofiel vanaf Landen naar Molenbeersel van de afzettingen uit ecozone I, (Ia, Ib, Ic en Id) en II, (IIa*, IIa en IIb) in de Belgische Kempen. Voor het vervolg zie de figuren 29 en 49.

Bovenste gedeelte, een west oost dwarsprofiel vanaf Dendermonde naar Molenbeersel van de afzettingen uit ecozone I, (Ia, Ib, Ic en Id) en II (IIa* IIa en IIb).in de Belgische Kempen

Voor het vervolg zie de figuren 30 en 50.

In beide profielen is aangenomen dat de Horizonten van Froidmont, Bovenste Bosch, Böckler en Helchteren een horizontale lijn vormden, terwijl het Hoog van Bree en de Roerdalslenk ruim boven het sedimentatieniveau lagen.

Figuur 23:

Indeling van de Kalksteen van Vijlen met behulp van foraminiferen, ostracoden en bioklasten (Felder P.J. et al 1994) waarin nu aangegeven is waar de Horizonten van Bovenste Bosch, Mamelis, Böckler, Zonneberg en Wahlwiller liggen.

Figuur 24:

Dwarsprofiel van alle afzettingen die aangetroffen werden op het Ardennen blok vanaf de Lousberg bij Aken tot bij Beleu/Mont Rigi op het Massief van Stavelot. Als bovenkant van de afzettingen is in deze figuur de Horizont van Lichtenberg aangehouden omdat in het vuursteen eluvium geen vuurstenen aangetroffen werden uit de Formatie van Maastricht. (Zie figuur 12 vóór het uitspoelen van de erosiegeul bij Aken Vaals en figuur 25 voor een meer gedetailleerd beeld van de erosiegeul).

Figuur 25:

Een ZZW NNO dwarsprofiel door de uitgespoelde erosiegeul bij Vaals Aken tijdens de erosiefase van de Horizont van Bovenste Bosch en de opvulling daarvan in de fasen Vijlen 0 tot en met Vijlen 4 tot na de erosiefase van de Horizont van Böckler, die duurde tot aan de Horizont van Böckler toen de sedimentatie van Vijlen 5 inzette. Als bovenkant van alle afzettingen is in deze figuur de Horizont van Lichtenberg aangehouden omdat in het vuursteen eluvium geen vuurstenen aangetroffen werden uit de Formatie van Maastricht

Figuur 26:

Een ZZW NNO dwarsprofiel door de uitgespoelde erosiegeul bij Vijlen-Mamelis en Nyswiller tijdens de erosiefase van de Horizont van Bovenste Bosch en de opvulling daarvan. In deze figuur is met een gekartelde lijn de oppervlakte van het aanwezige Boven-Krijt aangegeven. Als bovenkant van de afzettingen is in deze figuur ook de Horizont van Lichtenberg aangehouden omdat in het vuursteen eluvium geen vuurstenen aangetroffen werden uit de Formatie van Maastricht.

Figuur 27:

Een ZZW NNO dwarsprofiel door de uitgespoelde erosiegeul tussen het Bovenste Bosch en Eys tijdens de erosiefase van de Horizont van Bovenste Bosch en de opvulling daarvan. In deze figuur is met een gekartelde lijn de bovenkant van het nog aanwezige Boven-Krijt aangegeven. Als bovenkant van alle afzettingen is in deze figuur ook de Horizont van Lichtenberg aangehouden omdat in het vuursteen eluvium geen vuurstenen aangetroffen werden uit de Formatie van Maastricht.

Figuur 28:

Een zuidwest noordoost dwarsprofiel door de uitgespoelde erosiegeul tussen Diets Heur, Oost Maarland en Valkenburg tijdens de erosiefase van de Horizont van Bovenste Bosch, eventueel reeds voorafgegaan door de erosiefase van Froidmont en gevolgd door de erosiefase van Böckler. De scheidslijn tussen ecozone IVa en IVb is als horizontale lijn aangehouden. In deze figuur zijn de diverse breuken aangegeven.

Figuur 29:

Vervolg van het zuidwest noordoost dwarsprofiel figuur 22, vanaf Landen naar Molenbeersel waarbij hier aangenomen is dat de grens tussen ecozone IVa-IVb een horizontaal vlak is geweest. Voor het vervolg zie figuur 49.

Figuur 30:

Vervolg van het zuidwest noordoost dwarsprofiel figuur 22, vanaf Dendermonde naar Molenbeersel waarbij hier aangenomen is dat de grens tussen ecozone IVa-IVb een horizontaal vlak is geweest. Voor het vervolg zie figuur 50.

Figuur 31:

Nieuwe indeling van de doorboorde afzettingen in de boring KS 46, 62E-282 te Helchteren met behulp van bioklasten, waarbij ook de lithologische horizonten aangegeven zijn.

Figuur 32:

Nieuwe indeling van de doorboorde afzettingen in de boring KS 29, 63E-280 te Helchteren met behulp van bioklasten, waarbij ook de lithologische horizonten aangegeven zijn.

Figuur 33:

Vervolg van figuur 18, indeling van de afzettingen boven ecozone IIa in de groeve CPL, 61H-9 te Halembaye met behulp van de bioklasten.

Figuur 34:

Indeling van de afzettingen uit de Formatie van Gulpen in de groeve ENCI, 61F-19 volgens de lithologie en met behulp van bioklasten.

Figuur 35:

Vervolg van figuur 21, hierin is aangenomen dat de Horizont van Enci een horizontale lijn is geweest. Tengevolge van Tertiaire/Kwartaire erosie kan de boring Banholt niet op de hoogte van de Horizont van Enci ingepast worden. Deze is zoals in figuur 21 op 37 meter boven het diepste punt bij Cadier en Keer ingetekend. Tengevolge van de daling van de schouder van de Roerdalslenk, bij de boring te Hulsberg, blijkt de opwelling van de bodem bij de boring Thermae te Valkenburg eveneens is begonnen met het terugzakken (van 50 m naar 40 m).

Figuur 36:

Hernieuwde indeling van de afzettingen doorboord in de boring 62C-74 te Crapoel met behulp van de bioklasten.

Figuur 37:

Dwarsprofiel vanaf het Massief van Brabant tot bij Kunrade.

Figuur 38:

Dwarsprofiel door de afzettingen op het noordelijk gedeelte van de schouder van de Roerdalslenk. Als horizontale lijn is de grens met het kleig-zandig Tertiair aangehouden.

Figuur 39:

Vervolg van de figuren 21 en 35. Hierin is aangenomen is dat de Horizont van Romontbos een horizontale lijn gevormd heeft. Verder is aangenomen dat bij de boring van Banholt de bodem weer opgeheven werd tengevolge van de opheffing van de Ardennen. Duidelijk is verder dat de schouder van de Roerdalslenk flink gedaald is (53 m). De daling van de bodem bij Valkenburg, die reeds eerder inzette (volgens figuur 35), vond voortgang (17 m). Voor het vervolg zie figuur 53.

Figuur 40:

Indeling van de Formatie van Maastricht in de groeve ENCI, 61F-19 volgens de lithologie en met behulp van de bioklasten.

Figuur 41:

Indeling van de afzettingen in de ontsluiting 61H-36 te Lanaye, de typelokaliteit van de Kalksteen van Lanaye, volgens de lithologie en met behulp van bioklasten.

Figuur 42:

Indeling van de afzettingen in de groeve NEKAMi (nu de groeve 't Rooth) 62A-7 te Bemelen volgens de lithologie en met behulp van de bioklasten.

Figuur 43:

Indeling van de afzettingen in de groeve Schiepersberg 62A-26 te Cadier en Keer volgens de lithologie en met behulp van de bioklasten.

Figuur 44:

Dwarsprofiel vanaf Lanaye tot bij Kunrade/Benzenrade, waarbij aangenomen is dat de Horizont van Romontbos een horizontale lijn is geweest. De correlaties zijn gebaseerd op de indeling volgens de bioklasten. Voor het vervolg zie figuur 52.

Figuur 45:

Indeling van de afzettingen in de groeve Dolekamer 62A-163 te Gronsveld, volgens de lithologie en met behulp van de bioklasten.

Figuur 46:

Indeling van de afzettingen in de groeve Curfs 62A-13 te Geulhem, volgens de lithologie en met behulp van de bioklasten.

Figuur 47:

Indeling van de afzettingen in ontsluitingen van de Kunrader kalksteen met behulp van de bioklasten.

Figuur 48:

Correlaties met behulp van de indeling via de bioklasten tussen de groeve ENCI te Maastricht en de groeve NEKAMI (nu groeve 't Rooth) te Bemelen.

Figuur 49:

Vervolg van de figuren 22 en 29, vanaf Landen tot bij Molenbeersel waarbij hier aangenomen is dat het zandig/kleilig Tertiair een horizontale lijn is geweest.

Figuur 50:

Vervolg van figuren 22 en 30, vanaf Dendermonde tot bij Molenbeersel waarbij hier aangenomen is dat het kleilig en zandig Tertiair een horizontale lijn is geweest.

Figuur 51:

Dwarsdoorsnede door diverse breuken tussen Valkenburg en Kunrade.

Figuur 52:

Vervolg van figuur 44, vanaf Lanaye tot bij Kunrade waarbij hier aangenomen is dat het zandig Tertiair een horizontale lijn is geweest.

Figuur 53:

Vervolg van de figuren 21, 35 en 39, waarbij de profielen ingetekend zijn volgens de tegenwoordige NAP hoogten. Duidelijk is hier te zien dat de boring te Banholt tengevolge van de opheffing van de Ardennen hoger is gelegen. De boringen Valkenburg, Hulsberg en 67 zijn daarentegen verhoudingsgewijs sterk gedaald.

Figuur 54:

Dwarsprofiel door de onderzochte groeven en boringen tussen Halembaye en de Kemperkoel bij Sittard.

Figuur 55:

Eenvoudig dwarsprofiel door de onderzochte gebieden tussen Helchteren en de Ardennen.

INDELING VAN HET ONDERSTE GULPENSKRUT

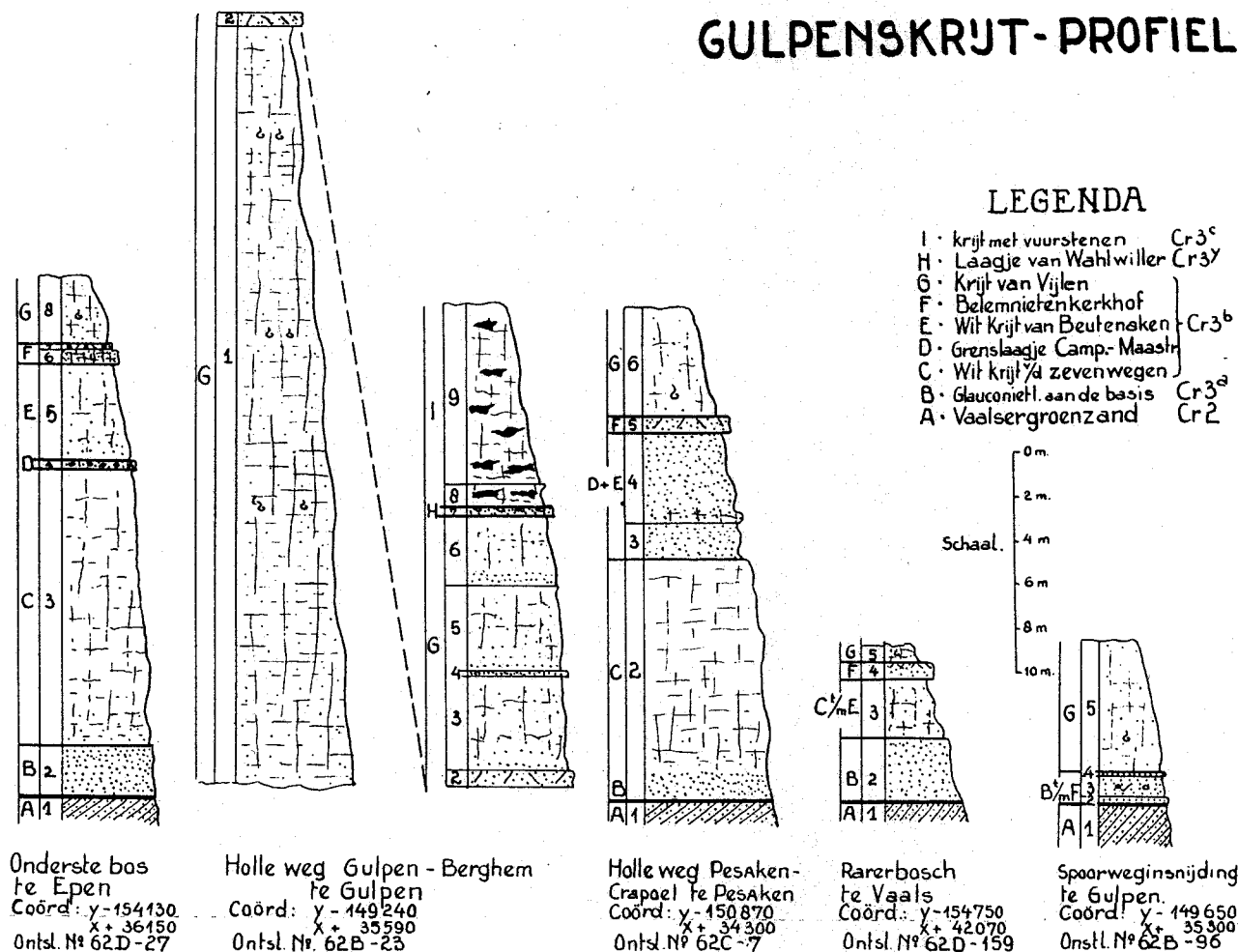
NAAR
STARING 1860 UHLENBROEK 1911

BOVEN - SENOON	22	GRINDKRUT	BOVEN - SENOON	Cr3 ^y	GRINDKRUT	MAASTRICHTIEN	LAAGJE VAN WAHLWILLER	
	23	KRUT ZONDER VUURSTEENEN (BAKOVENSTEEN)		Cr3 ^b	KRUT ZONDER VUURSTEENEN (BAKOVENSTEEN)		GRUS KRUT	
	24	GLAUKONIETKRUT		Cr3 ^a	GLAUKONIETKRUT		BELEMNIETENKERKHOF	
ONDER- SENOON		ZAND VAN HERVE	ONDER- SENOON		GROENZAND VAN HERVE OF GROENZAND VAN VAALS		KRUT VAN BEUTENAKEN	
							WIT KRUT	
						CAMPANIËN	GLAUKONIETKRUT	
							VAALSERGROENZAND OF HERVEN'S KRUT	

TABEL I

Figuur 1

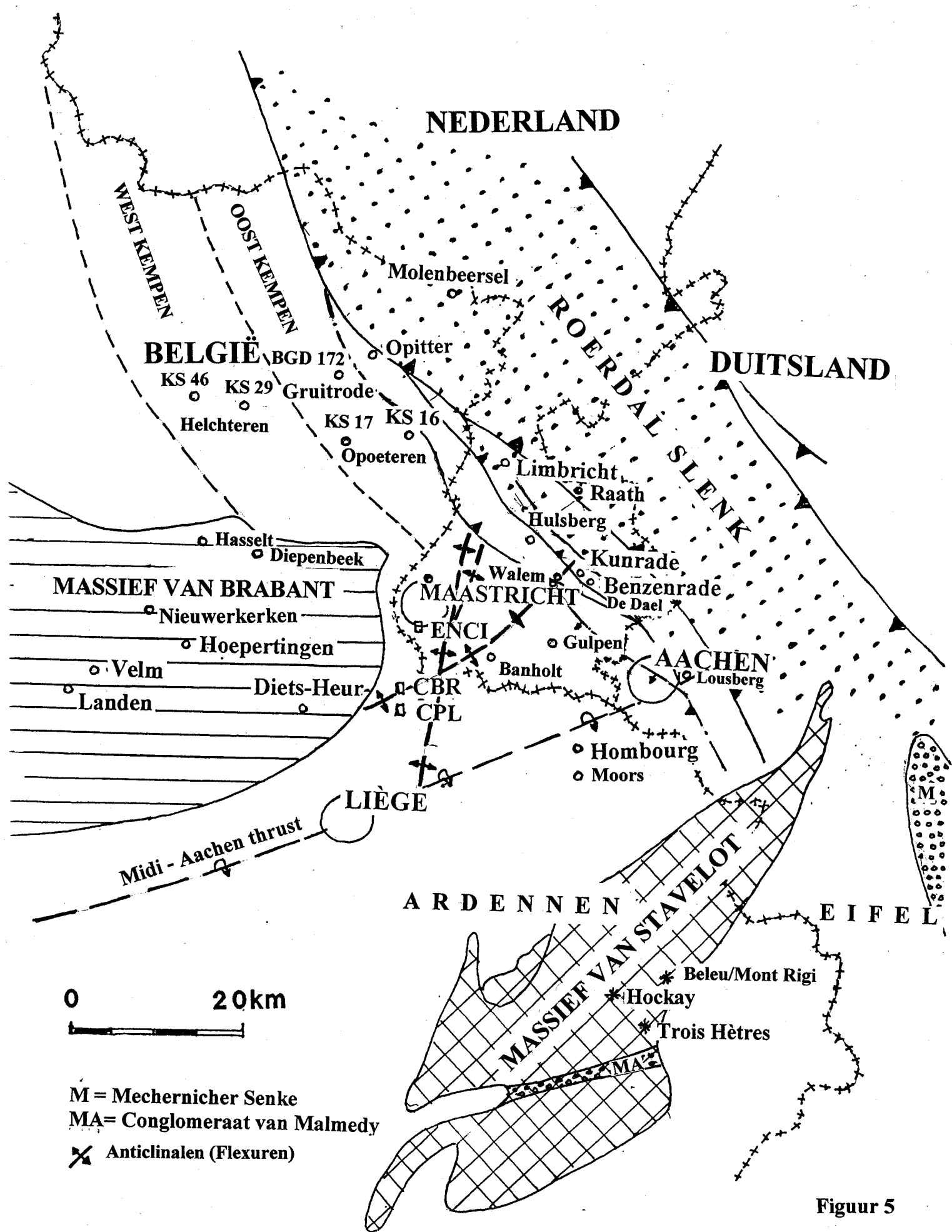
GULPENSKRUT-PROFIELEN



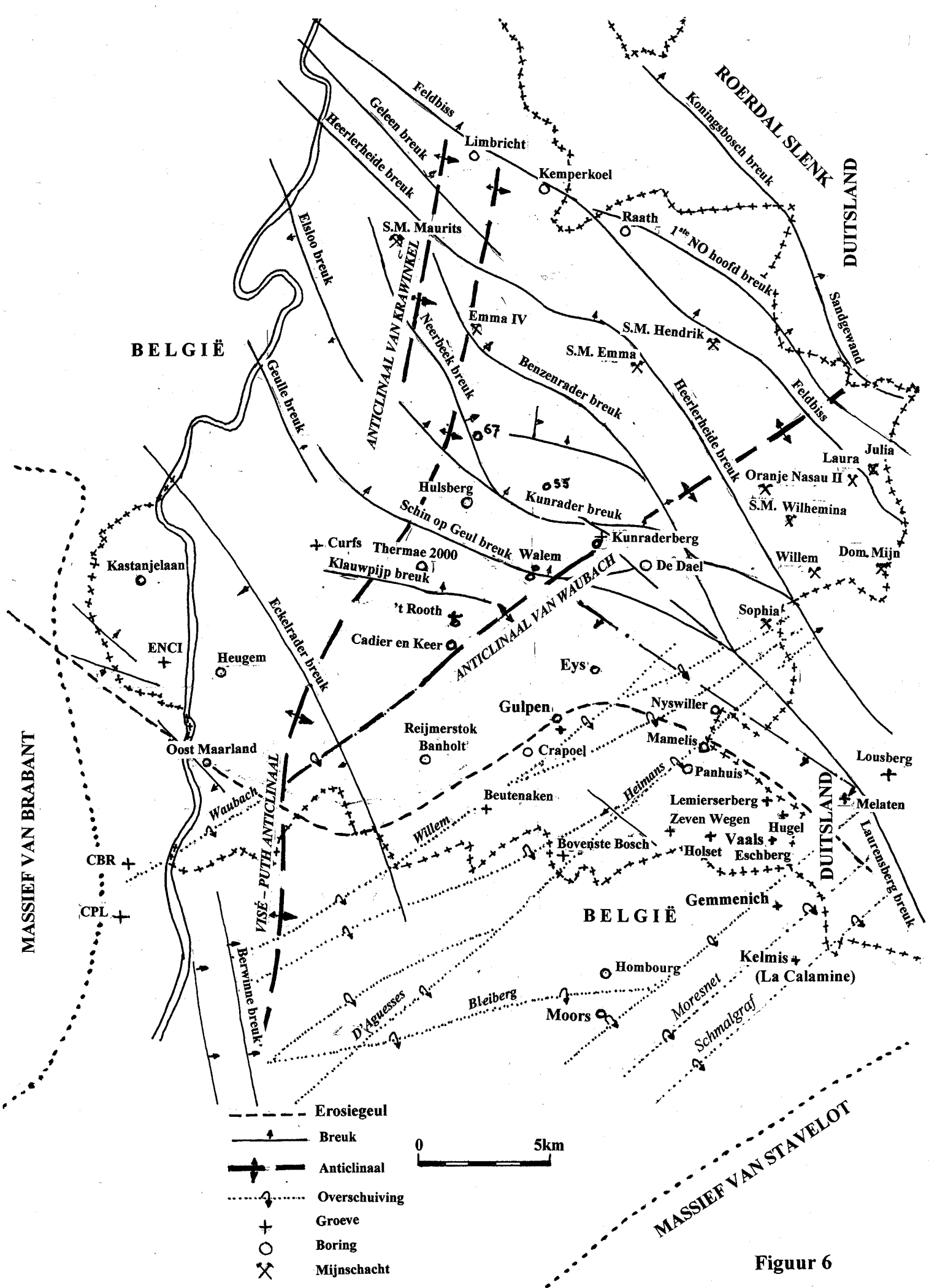
Figuur 2

Oost West van de Maas					Uhlenbroek (1912)	Hofker (1966)
Formatie v. Houthem		Kalksteen van Geleen	Vc	Xlw	Md	R
		Kalksteen van Bunde	Vb			Q
		Kalksteen van Geulhem	Va			P
Formatie v. Maastricht	Boven	Kalksteen van Meerssen	IVf	Xw		Mc
		Kalksteen van Nekum	IVe	IXw	K	
	Onder	Kalksteen van Emael	IVd	VIIIw	Mb	I
		Kalksteen van Schiepersberg	IVc			H
		Kalksteen van Gronsveld	IVb			G
		Kalksteen van Valkenburg	IVa			
Formatie v. Gulpen	Boven	Kalksteen van Lanaye	IIIg	VIIw	Cr4	F
		Kalksteen van Lixhe 3	III f	VIw		
		Kalksteen van Lixhe 2	IIIe	Vw	Cr3c Cr3y	E
		Kalksteen van Lixhe 1	IIId	IVw		
	Onder	Kalksteen van Vylen	IIIc	IIIw		
		Kalksteen van Beutenaken	IIIb			
		Kalksteen van Zeven Wegen	IIIa	IIw		
Formatie v. Vaals	Boven	Zand van Terstraeten	II f	Iw	Cr2	A'
		Zand van Beusdal	IIe			
	Onder	Zand van Vaalsbroek	II d			
		Zand van Grenspaal 7	II c			
		Zand van Cottessen	II b			
		Zand van Raren	II a			
Formatie v. Aken		Zand van Aken	Ib		Cr1	
		Klei van Hergenrath	Ia			
Horz. van Lutterade						
Horz. van Geleen						
Horz. van Bunde						
Horz. van Vroenhoven						
Horz. van Caster						
Horz. van Kanne						
Horz. van Laumont						
Horz. van Lava						
Horz. van Romontbos						
Horz. van Schiepersberg						
Horz. van St. Pieter						
Horz. van Lichtenberg						
Horz. van Nivelle						
Horz. van Boirs						
Horz. van Halembaye 2						
Horz. van Halembaye 1						
Horz. van Wahlwiller						
Horz. van Bovenste Bos						
Horz. van Slenaken						
Horz. van Zeven Wegen						
Horz. van Terstraten						
Horz. van Beusdal						
Horz. van Vaalsbroek						
Horz. van Overgeul						
Horz. van Grenspaal 7						
Horz. van Cottessen						
Horz. van Raren						
Horz. van Schampelheide						
Horz. van Hergenrath						

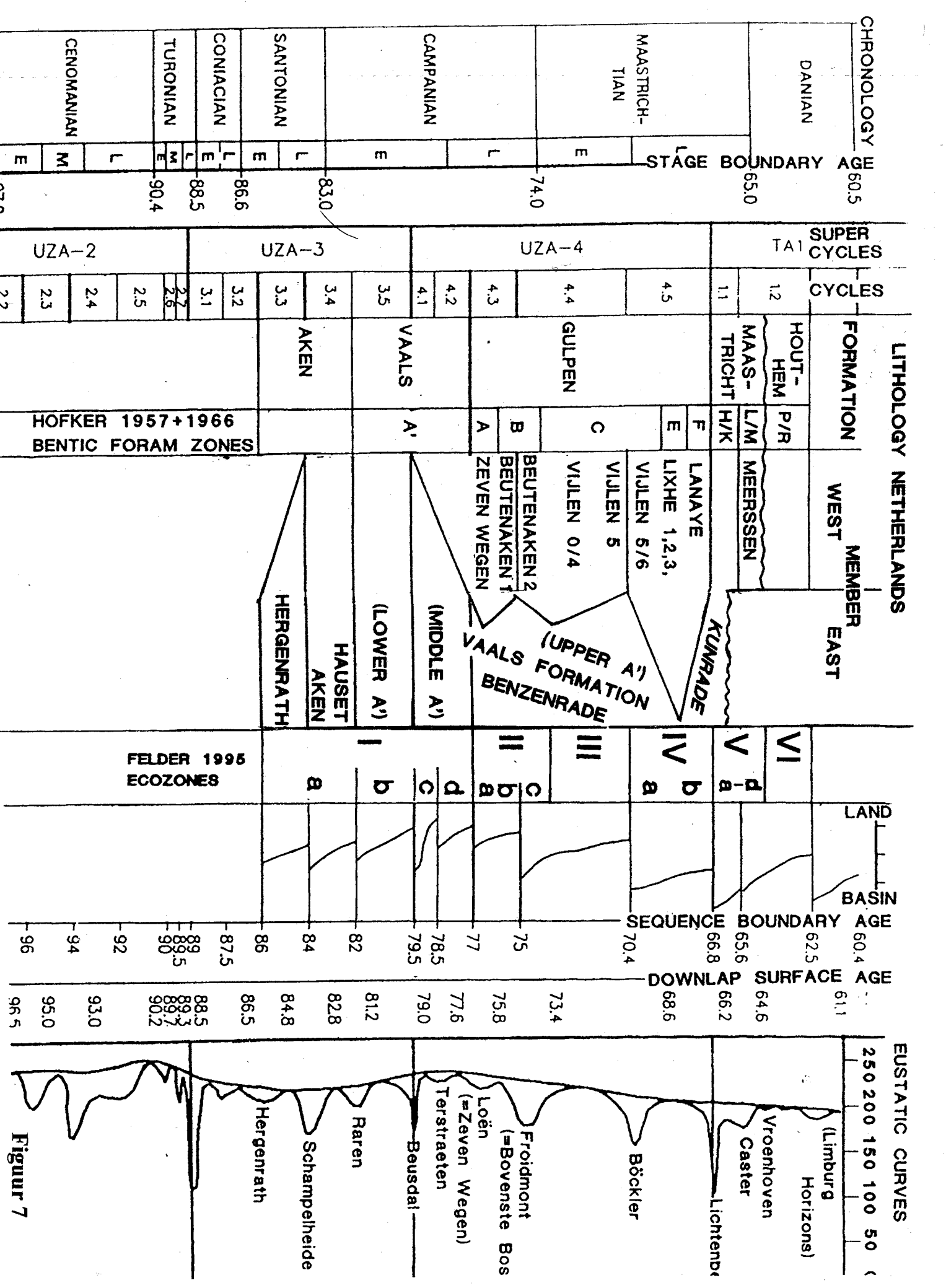
fig. 2.3.1 Lithostratigrafische indeling van het Boven-Krijt en het Dano-Montien in Zuid-Limburg en het aangrenzende gebied



Figuur 5



Figuur 6



















LEGENDA

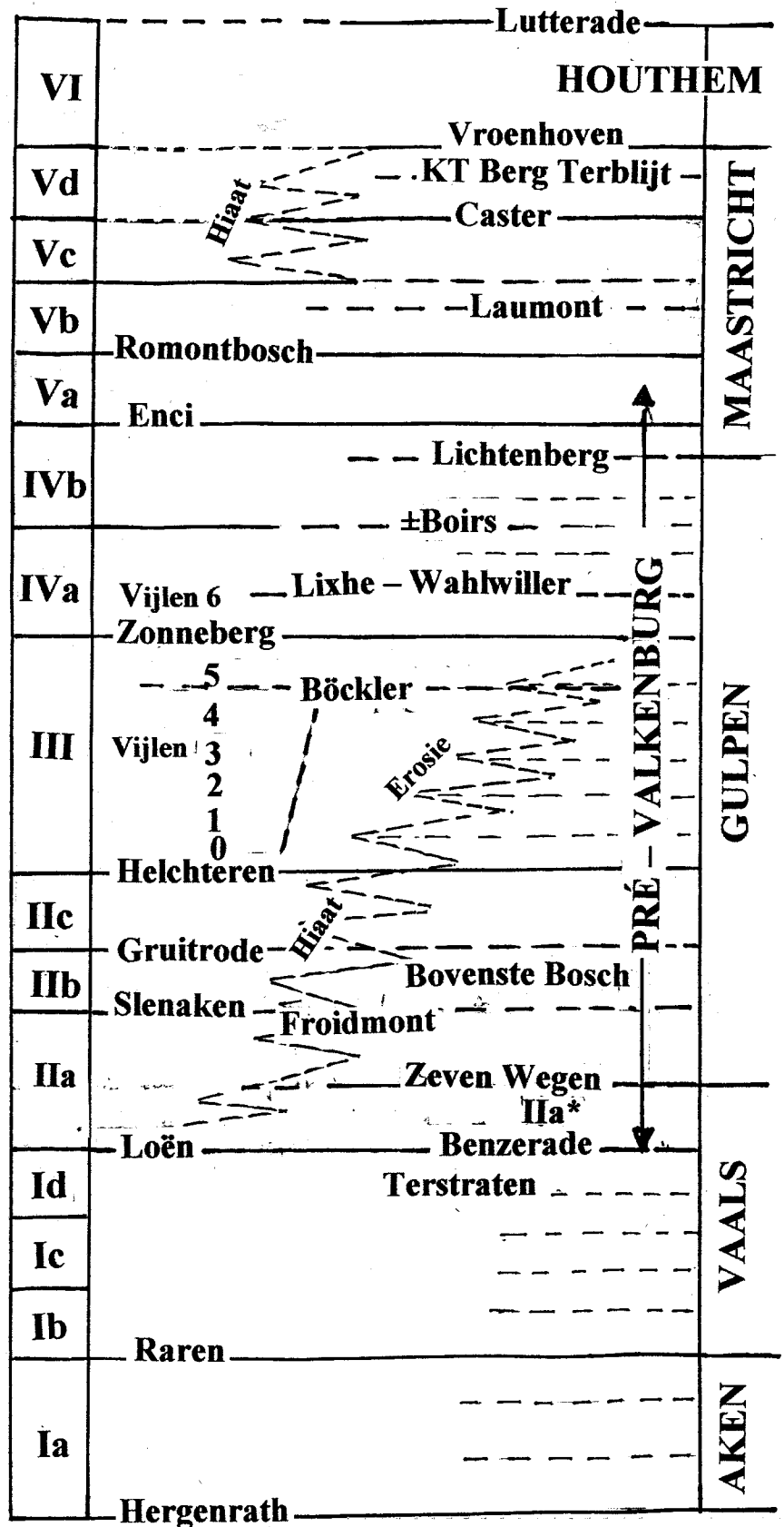
LITHOLOGIE

ECOZONES

HORIZONTEN

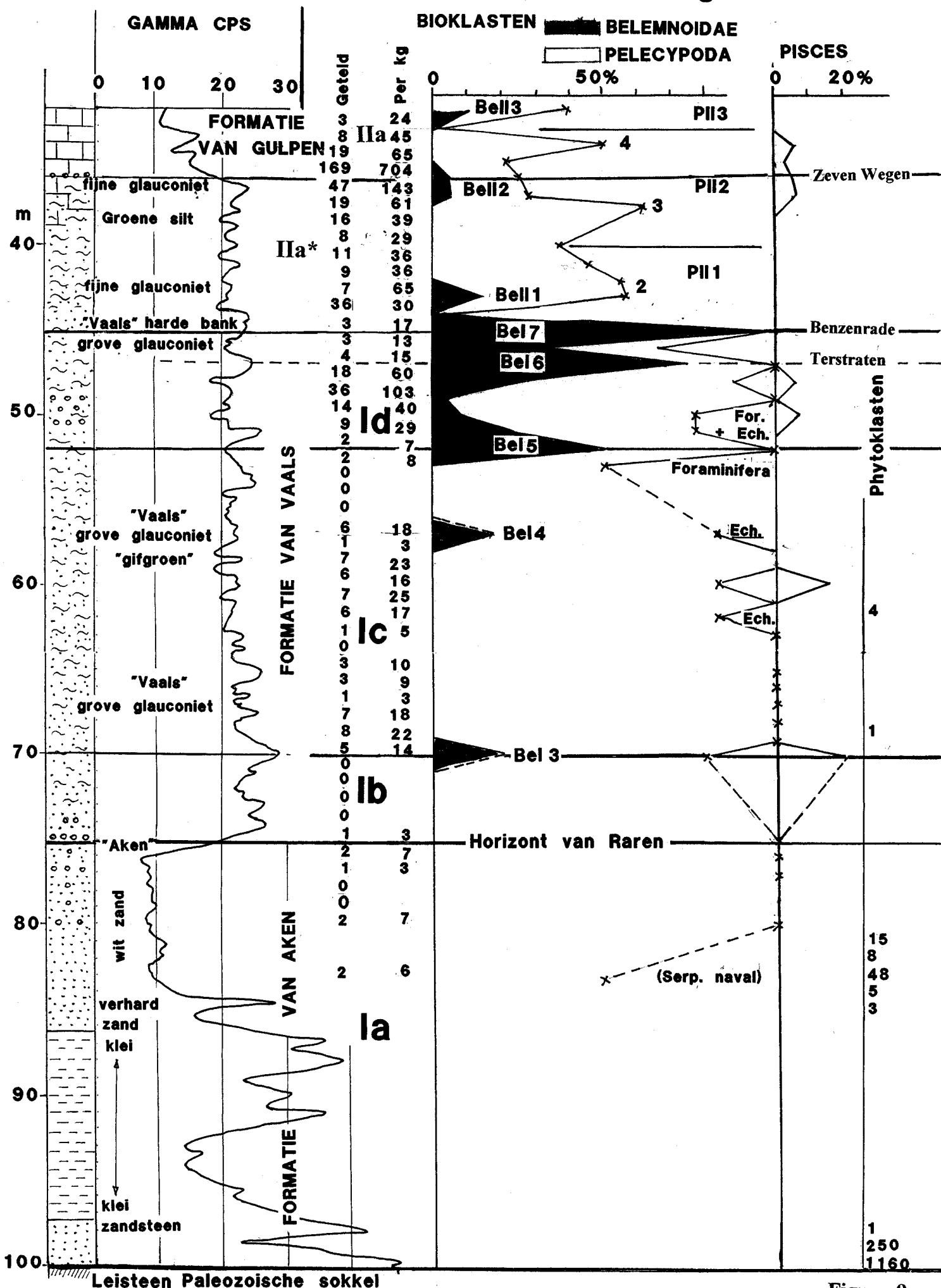
FORMATIES

-  **Kalksteen**
-  **met harde lagen**
-  **met vuurstenen**
-  **Hardground**
-  **Rolsteentjes**
-  **Faunaresten**
-  **Floraresten**
-  **Zand**
-  **Kalkrijk zand**
-  **Siltig zand**
-  **Kalkig silt**
-  **Kleiig silt**
-  **Klei**
-  **+314 = m ANP**
-  **450 = m boordiepte**
-  **Paleozoicum**



Figuur 8

BORING 123W-735, HOMBOURG (Vervolg) ECOZONE I

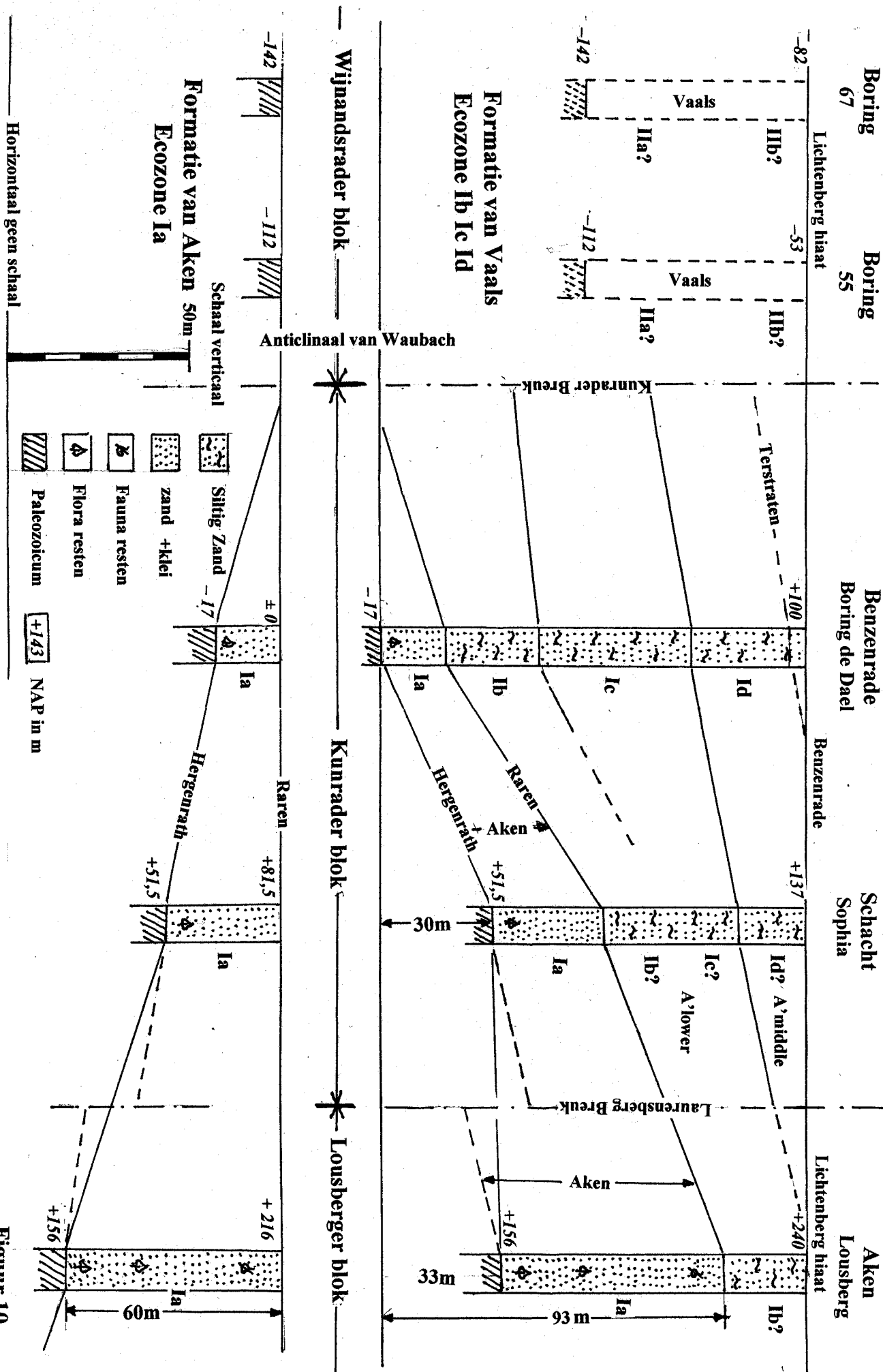


Figuur 9

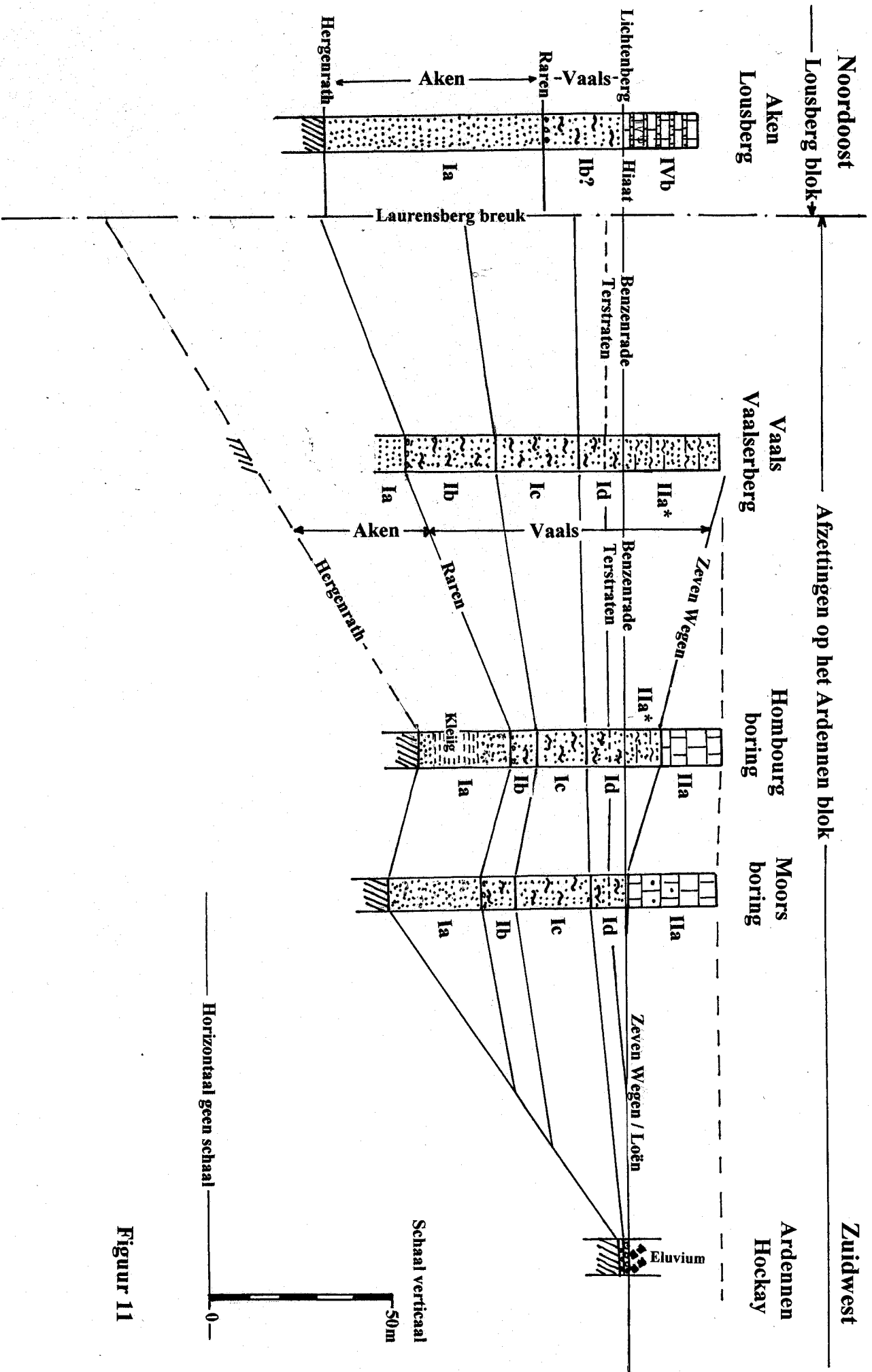
Noordwest

Afzettingen op de schouder van de Roerdalslenk

Zuidoost



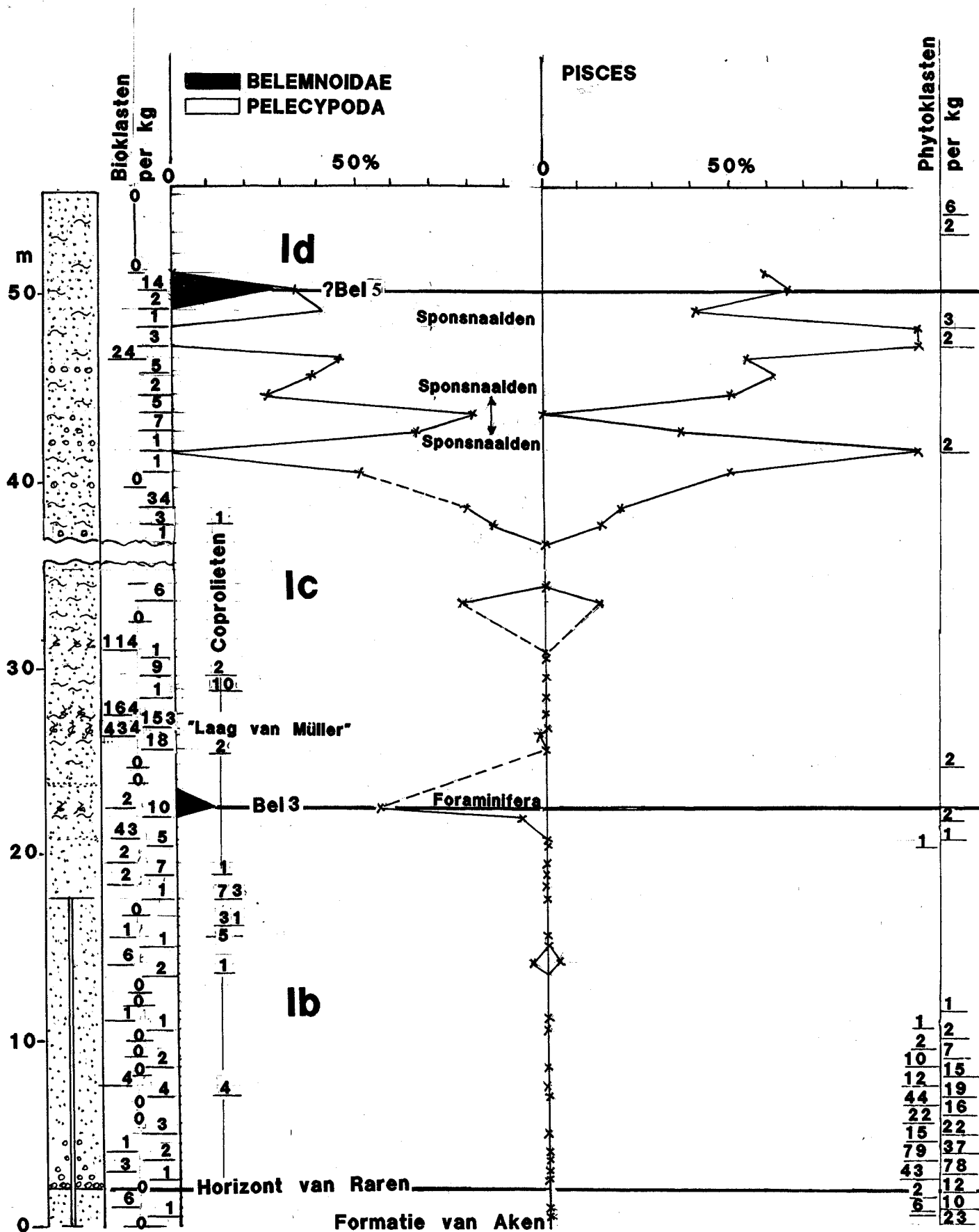
Figuur 10



Figuur 11

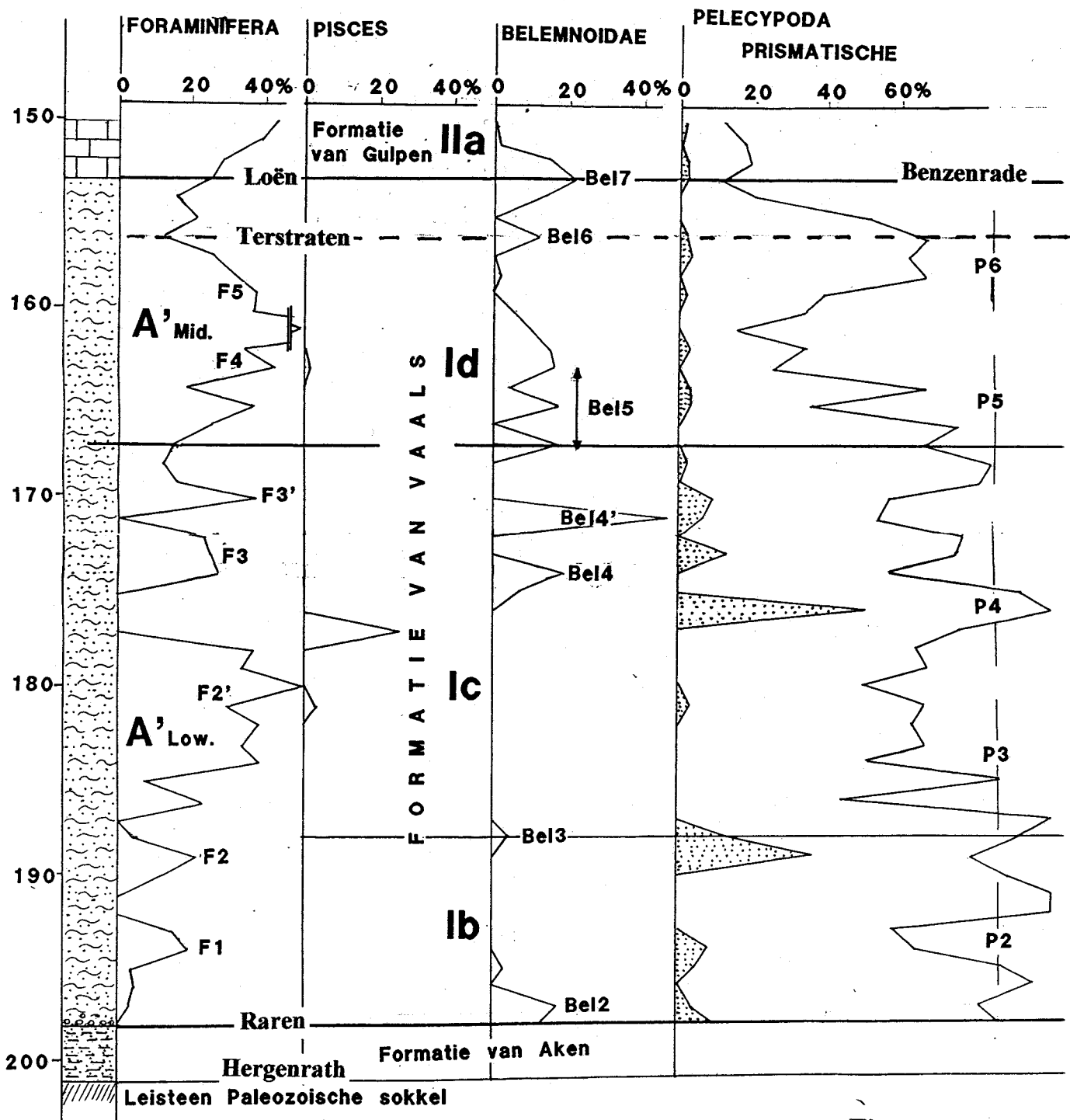
VAALS: VIADUCT 62D-529, ESCHBERG, 62D-96 en BORING KB 527

(TYPELOKALITEIT FORMATIE VAN VAALS)



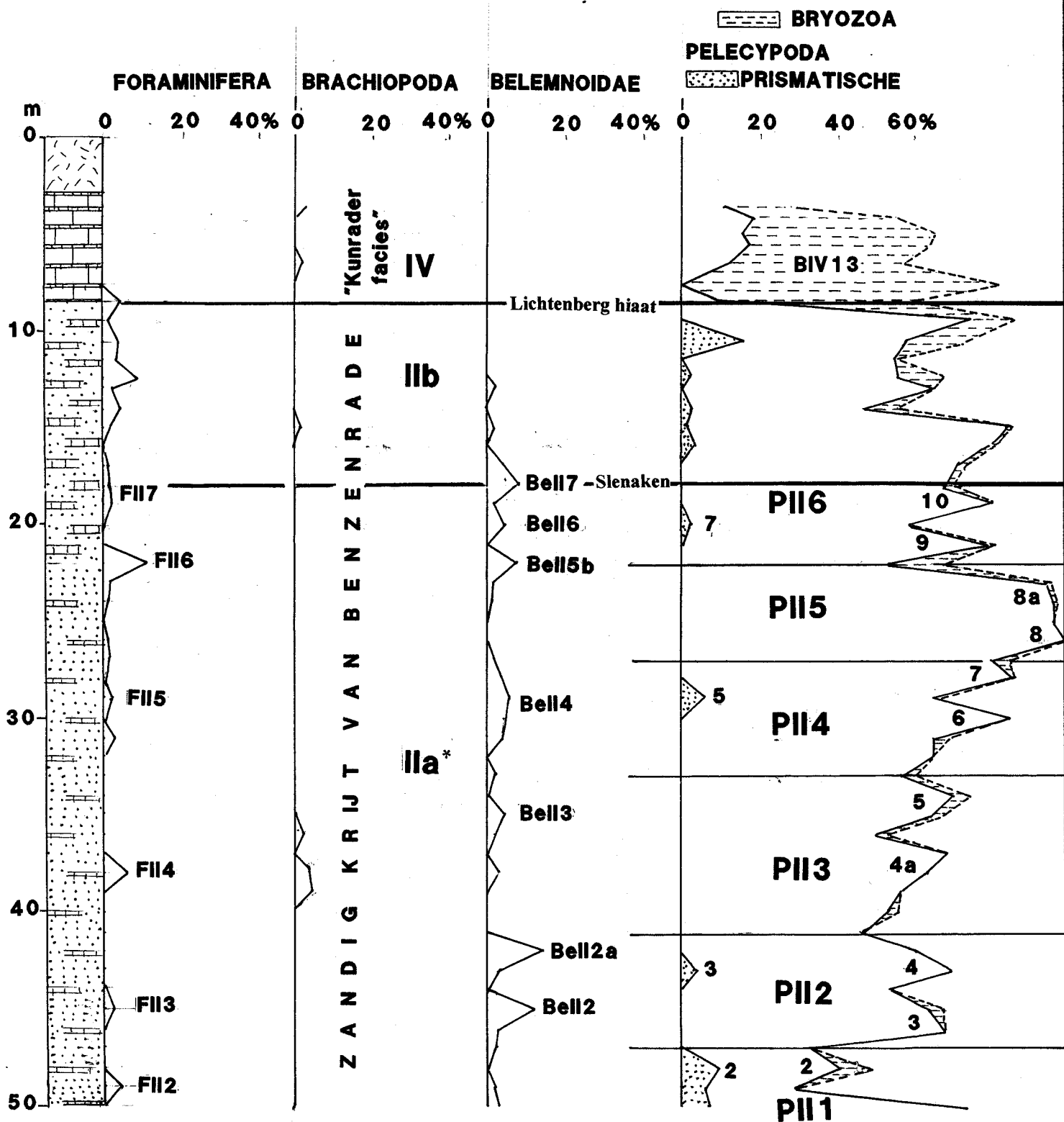
Figuur 12

BORING 61F-296, Kastanjelaan MAASTRICHT



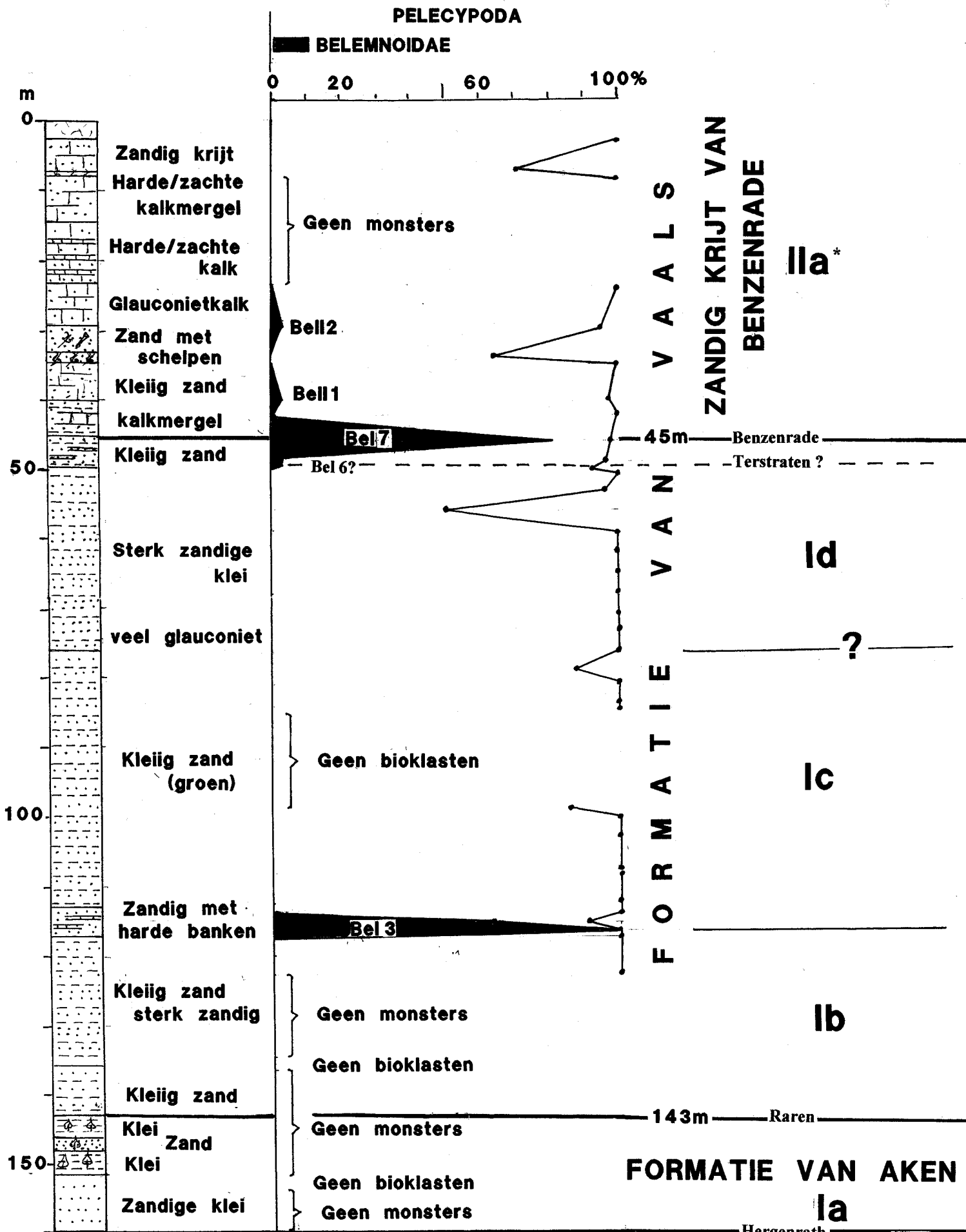
Figuur 13

BORING 62B-862, KUNDERBERG, KUNRADE



Figuur 14

BORING 62B-450, DE DAEL, BENZENRADE

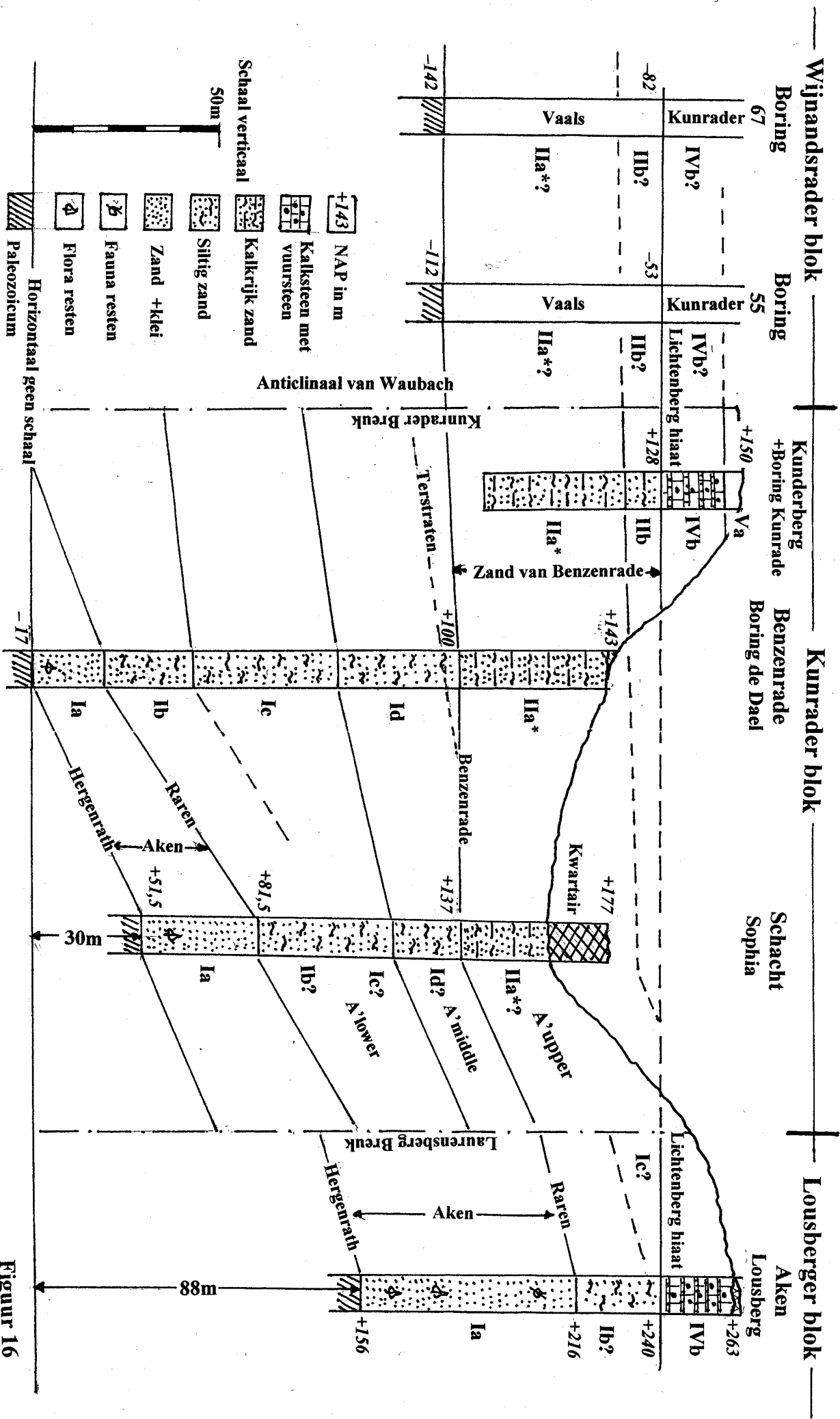


Figuur 15

Noordwest

Afzettingen op de schouder van de Roerdalslenk
Ecozone Ia Ib Ic Id IIa IIb IVb en Va

Zuidoost



Figuur 16

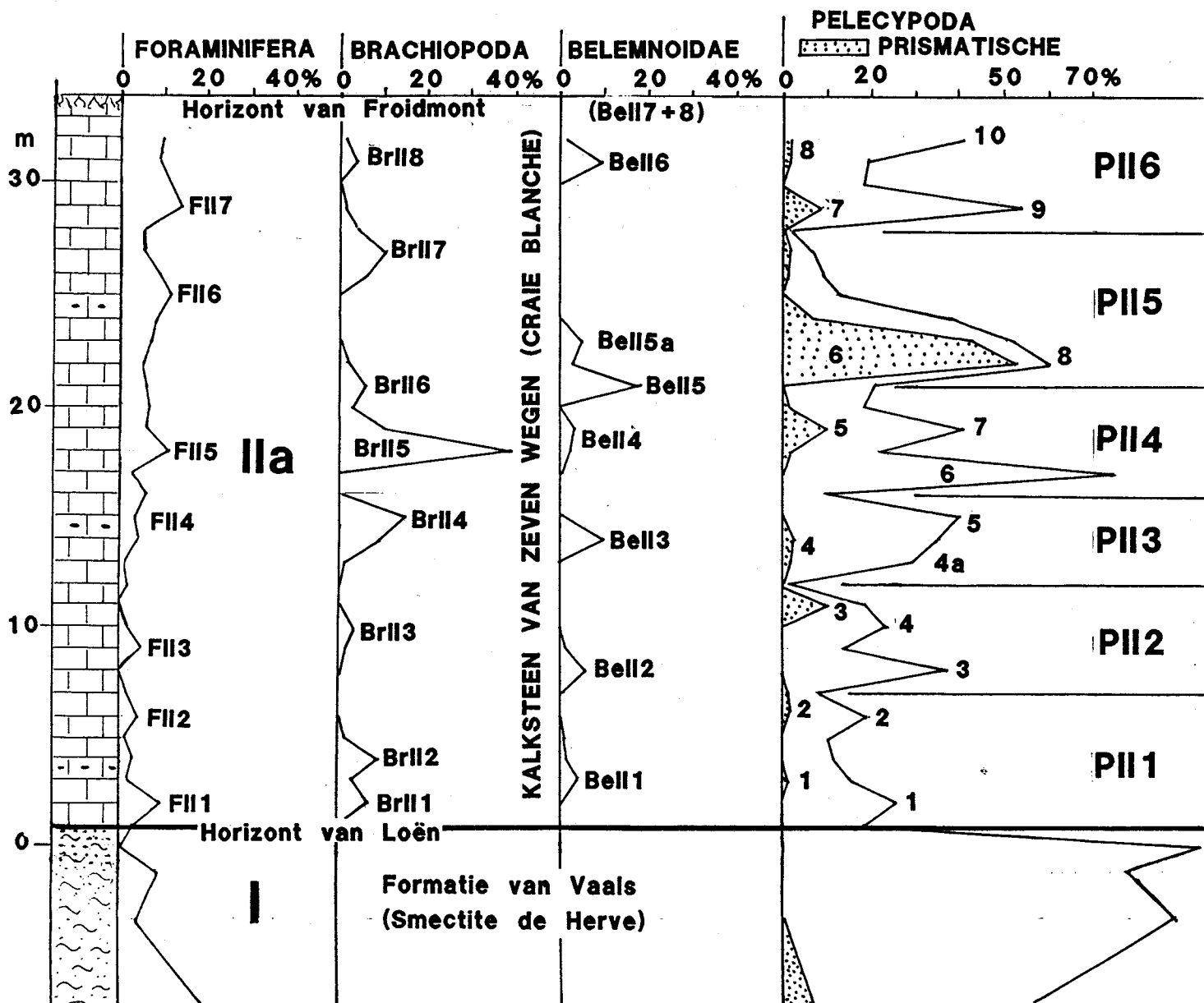
VAN ZEVEN WEGEN)



Figur 17

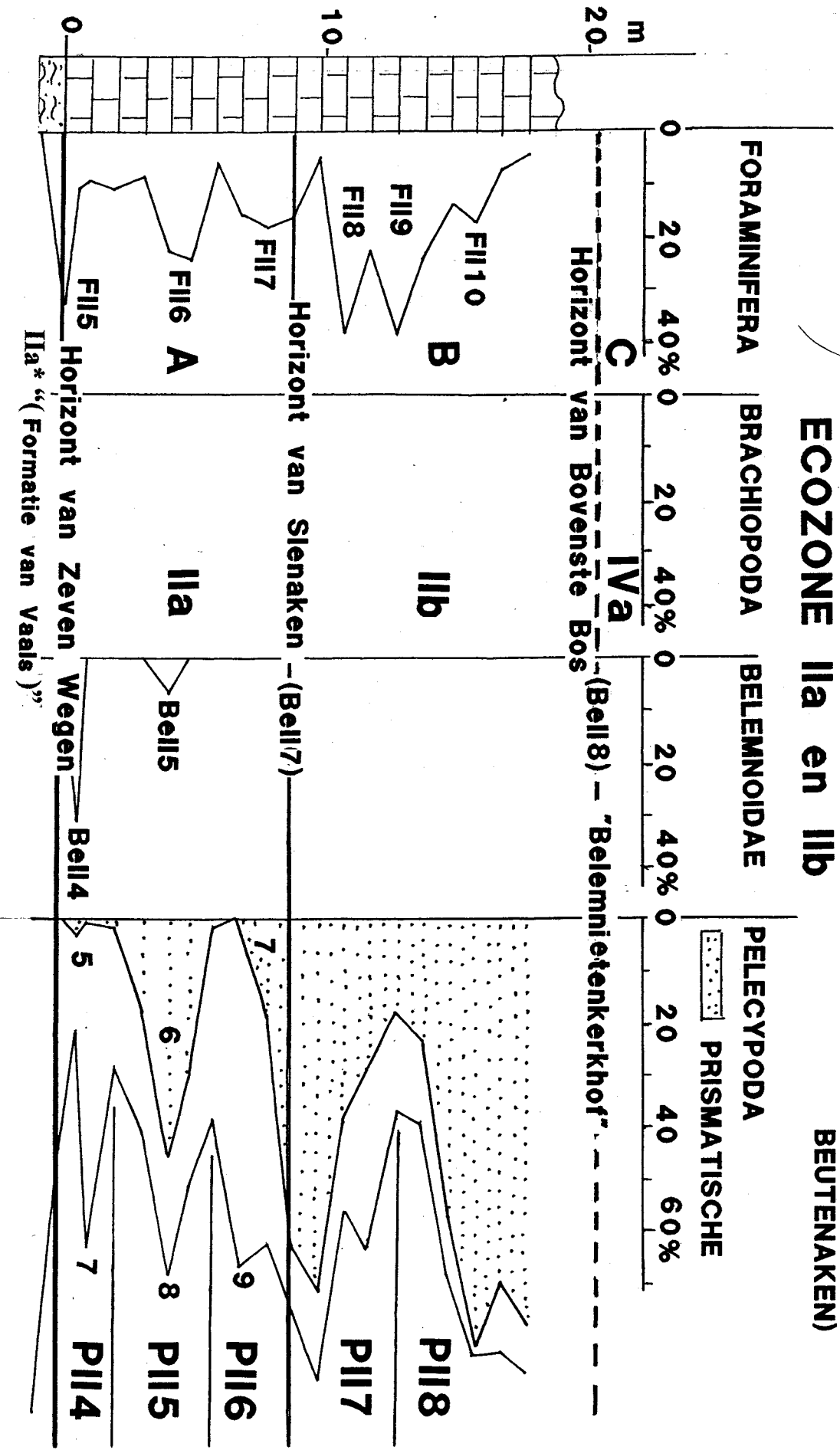
CPL 61H-9, HALEMBAYE

ECOZONE IIa (KALKSTEEN VAN ZEVEN WEGEN) (CRAIE BLANCHE)



Figuur 18.

BEUTENAKEN 62C-22 (TYPELOKALITEIT KALKSTEEN VAN ECOZONE Ila en IIb BEUTENAKEN)



Figuur 19

Zuid

Noord

Banholt
Boring

Cadier en Keer
Boring

Valkenburg
Boring Thermane

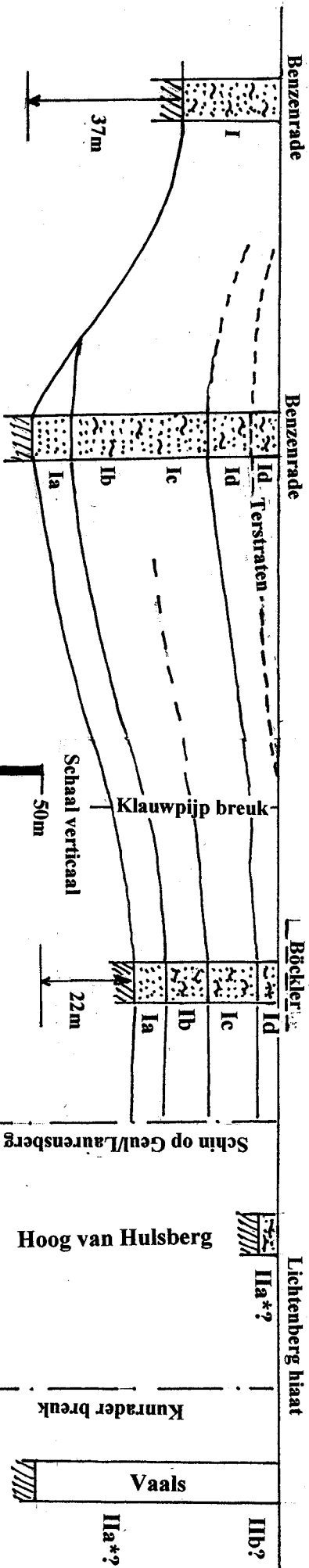
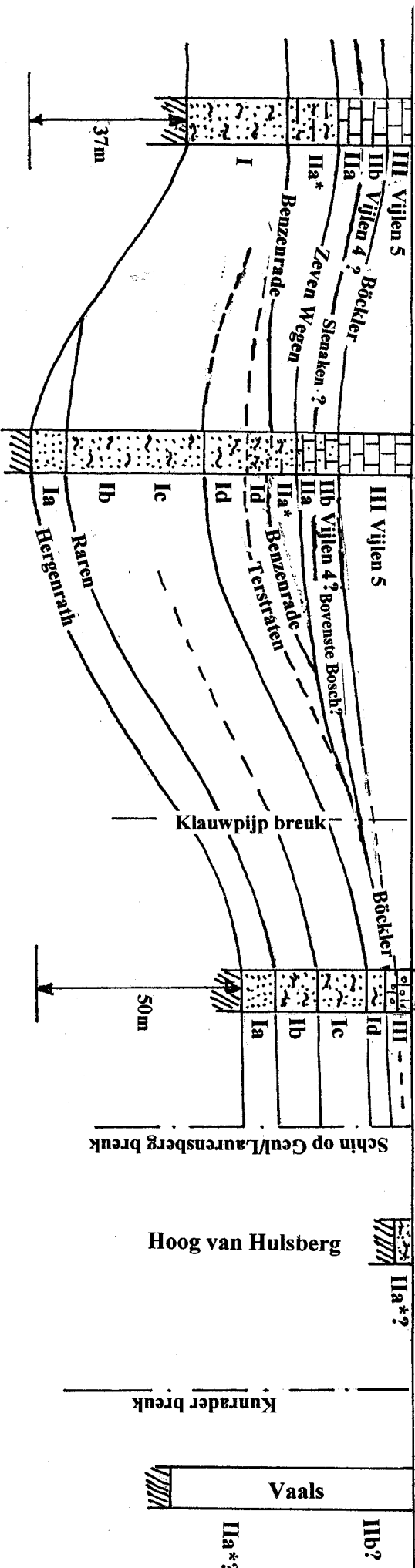
Hulsberg
Boring

Boring 67

Zonneberg

Zonneberg

Lichtenberg haat



Anticlaal van Waubach

Anticlaal van Puth

Schouder van de Roerdal slenk

Horizontaal geen schaal

Figuur 21

West Oost

Dendermonde

KS 46

KS 29

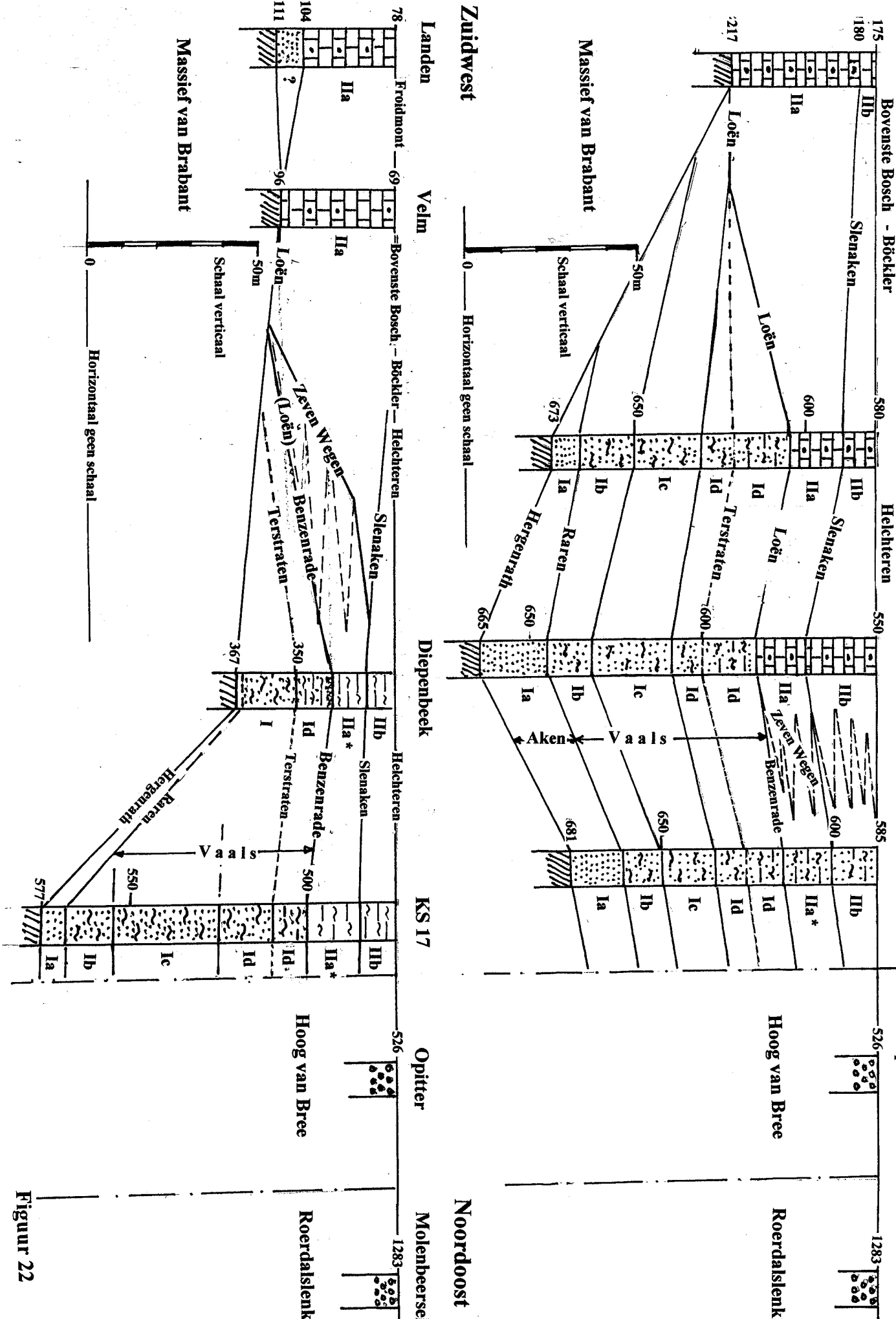
BGD 172

Opitter

Molenbeersel

Zuidwest

Noordoost



Figuur 22

MAMELIS 62D-79 (Typelokaliteit Kalksteen van Vijlen)

FORAMINIFERA

BRACHIOPODA

BELEMNOIDAE

PELECYPODA

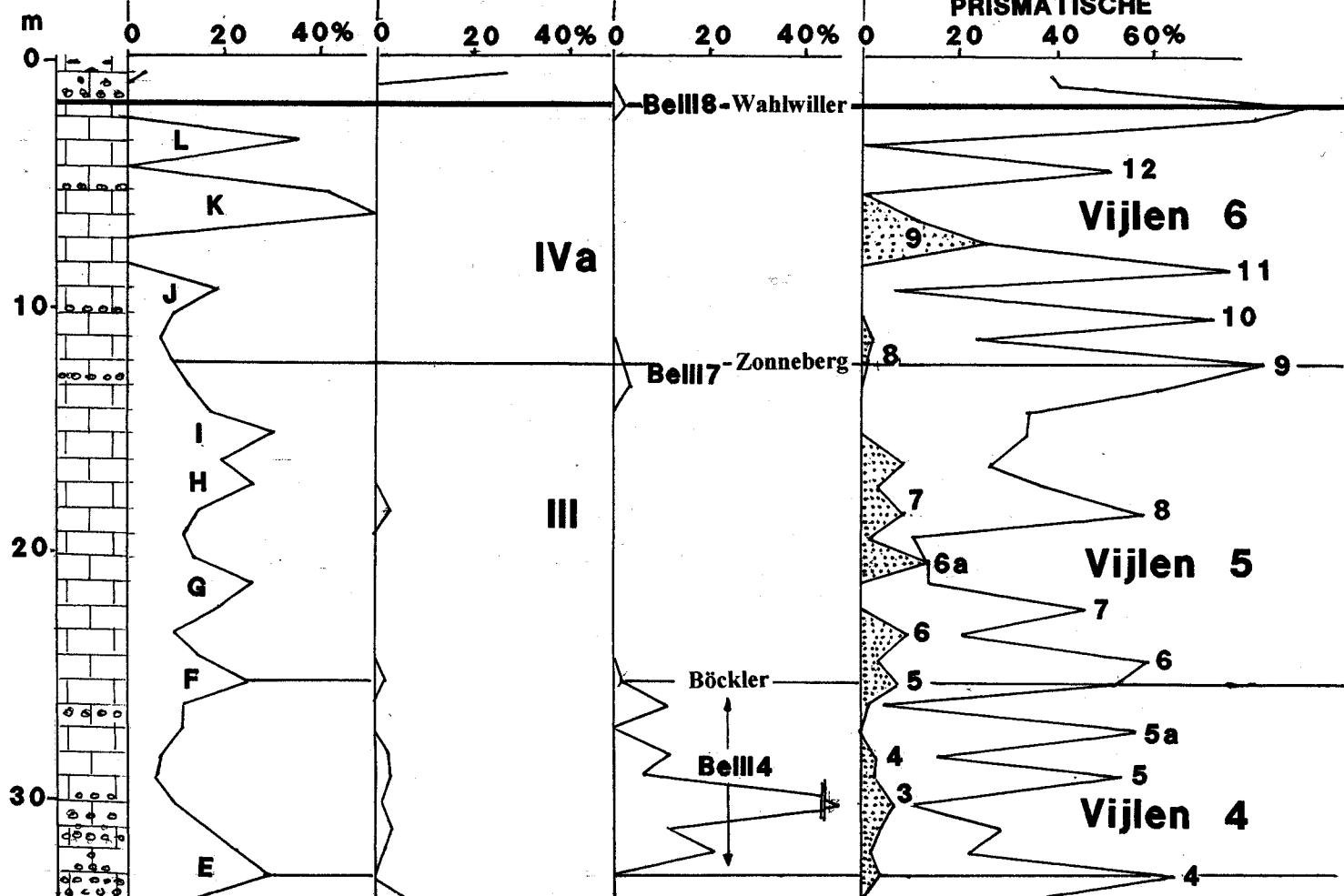
PRISMATISCHE

0 20 40%

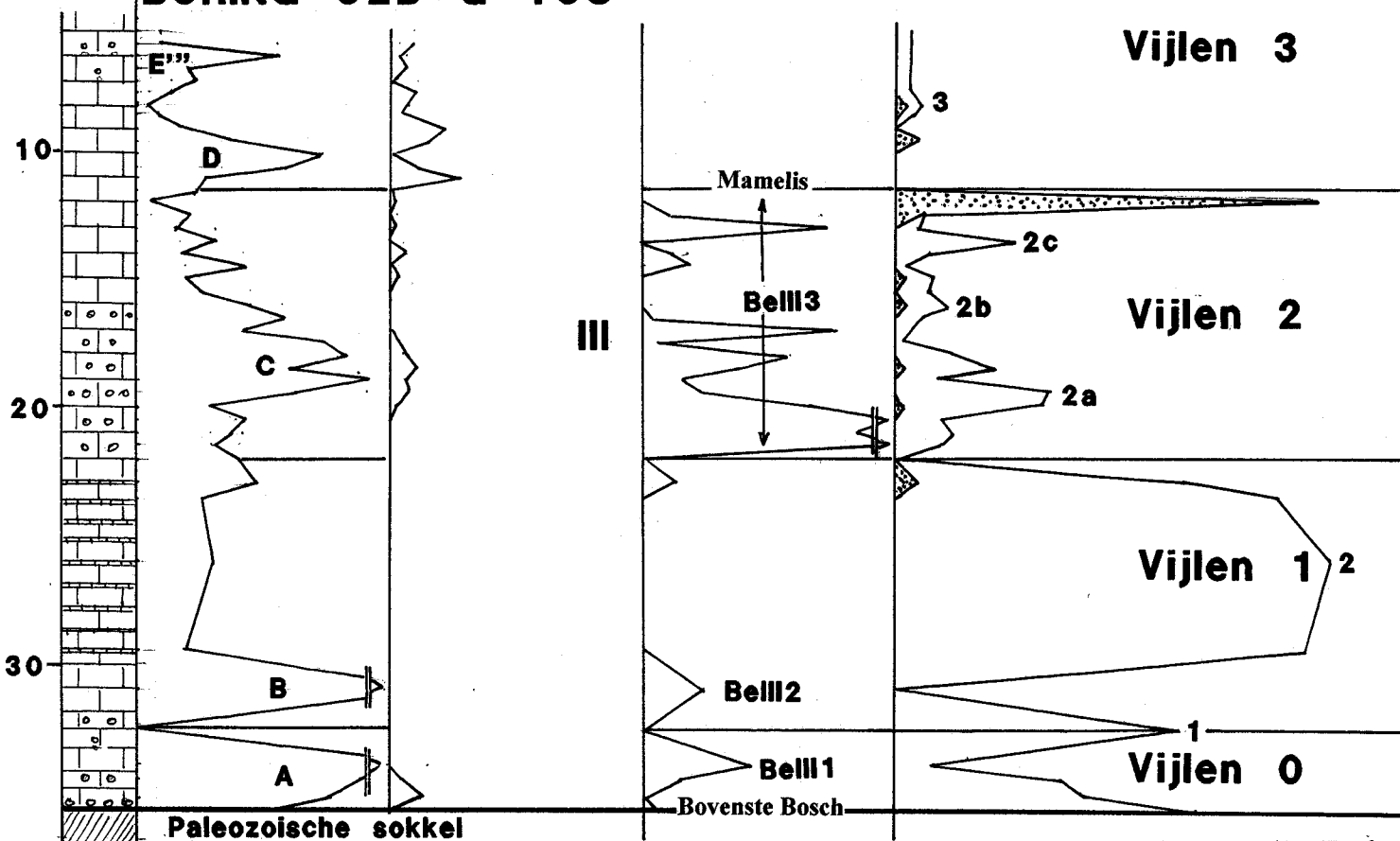
0 20 40%

0 20 40%

0 20 40 60%



BORING 62D+G-168



Figuur 23

Noordoost

Afzettingen op het Ardennen blok

Zuidwest

Aken
Lousberg

Aken
Melaten

Vaals
Vaalserberg

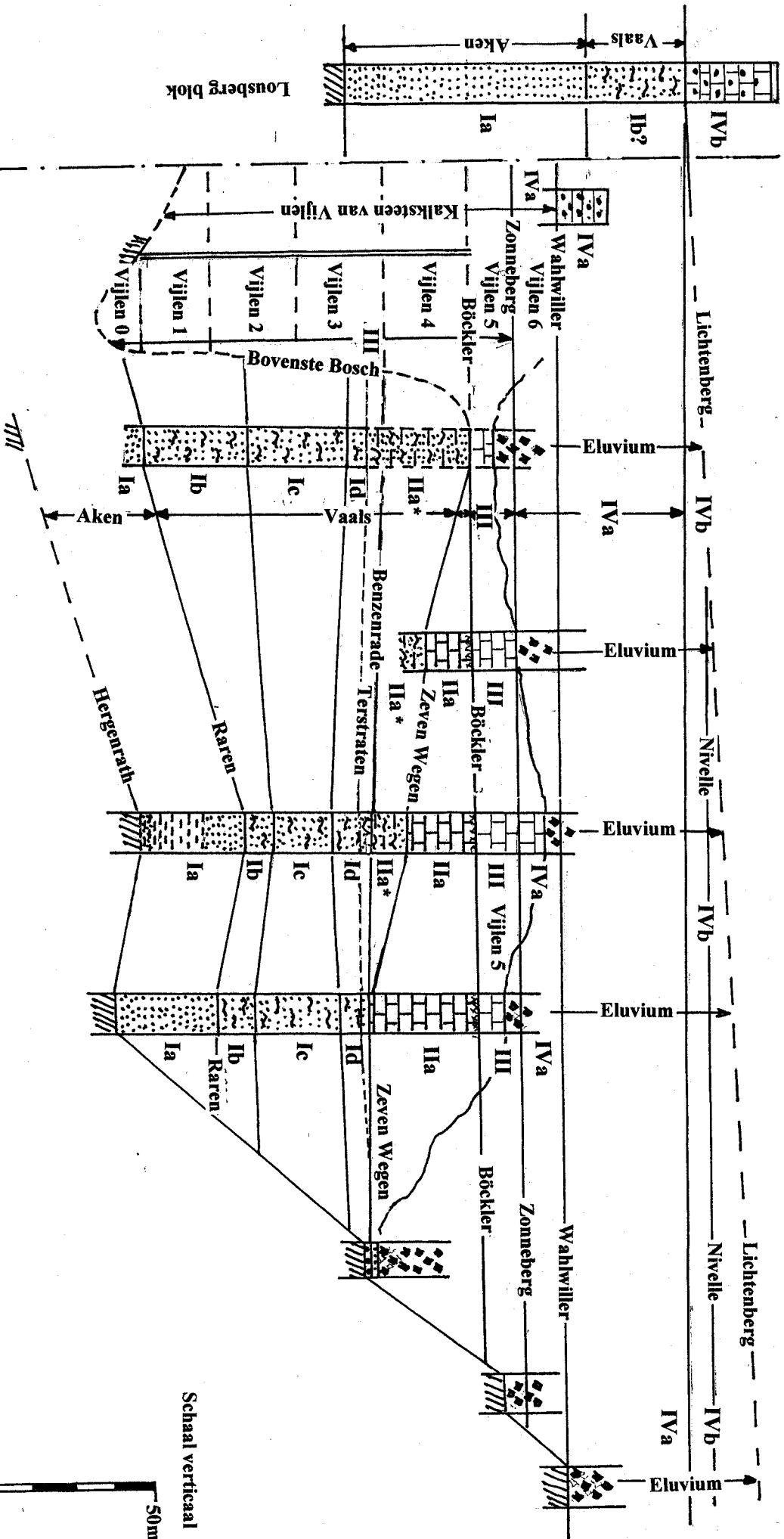
Zeven Wegen
Boring

Hombourg
Boring

Moors
Boring

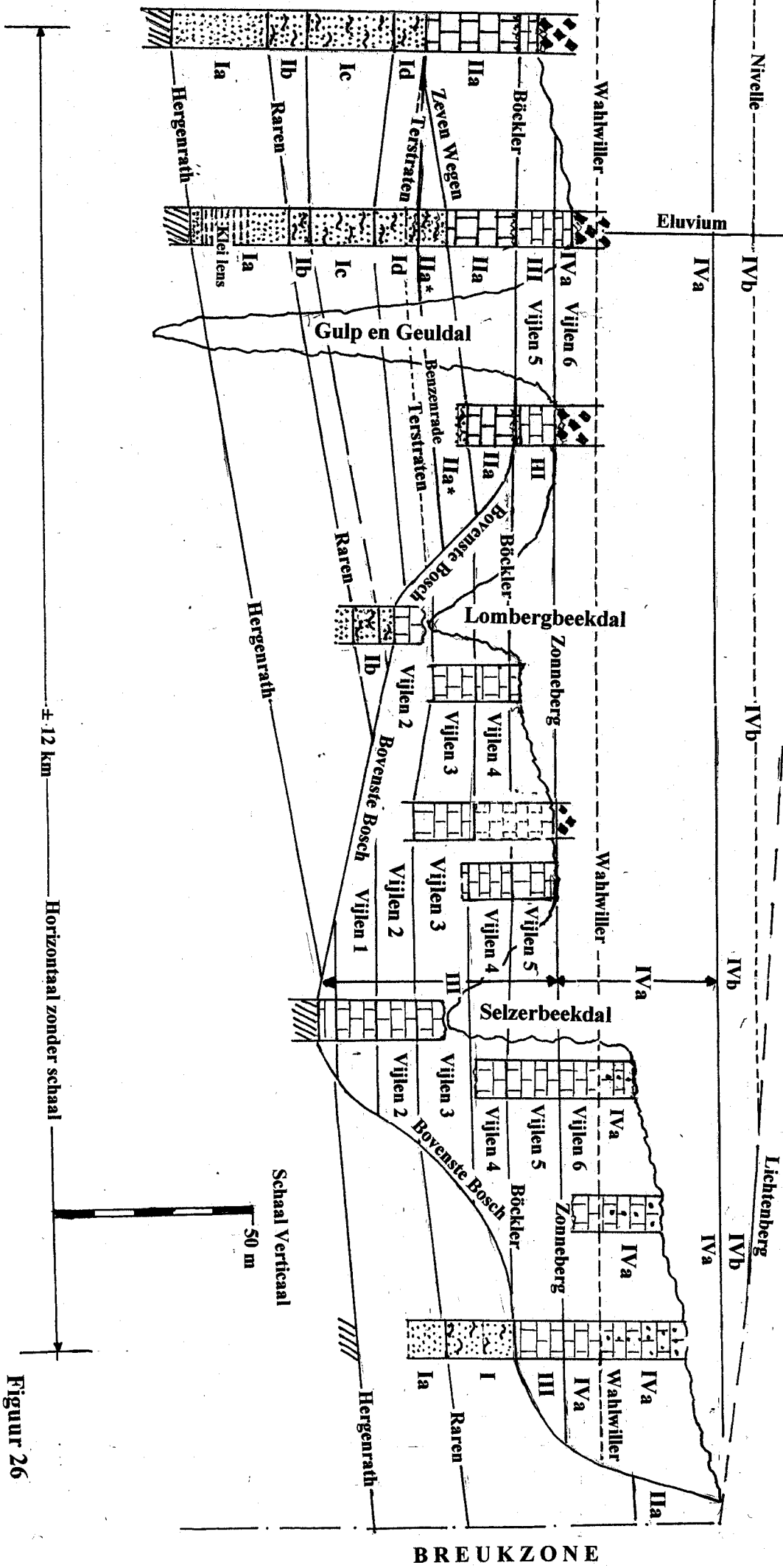
Hockay
Trois Hêtres

Beleu / Mont Rigi



Figuur 24

Moors Hombourg Zeven Wegen Panhuis Wite weg Vijlen Boring Mameis Mamelisserberg Mameis Nyswillerberg Boring Nyswiller



Figuur 26

Bovenste Bosch

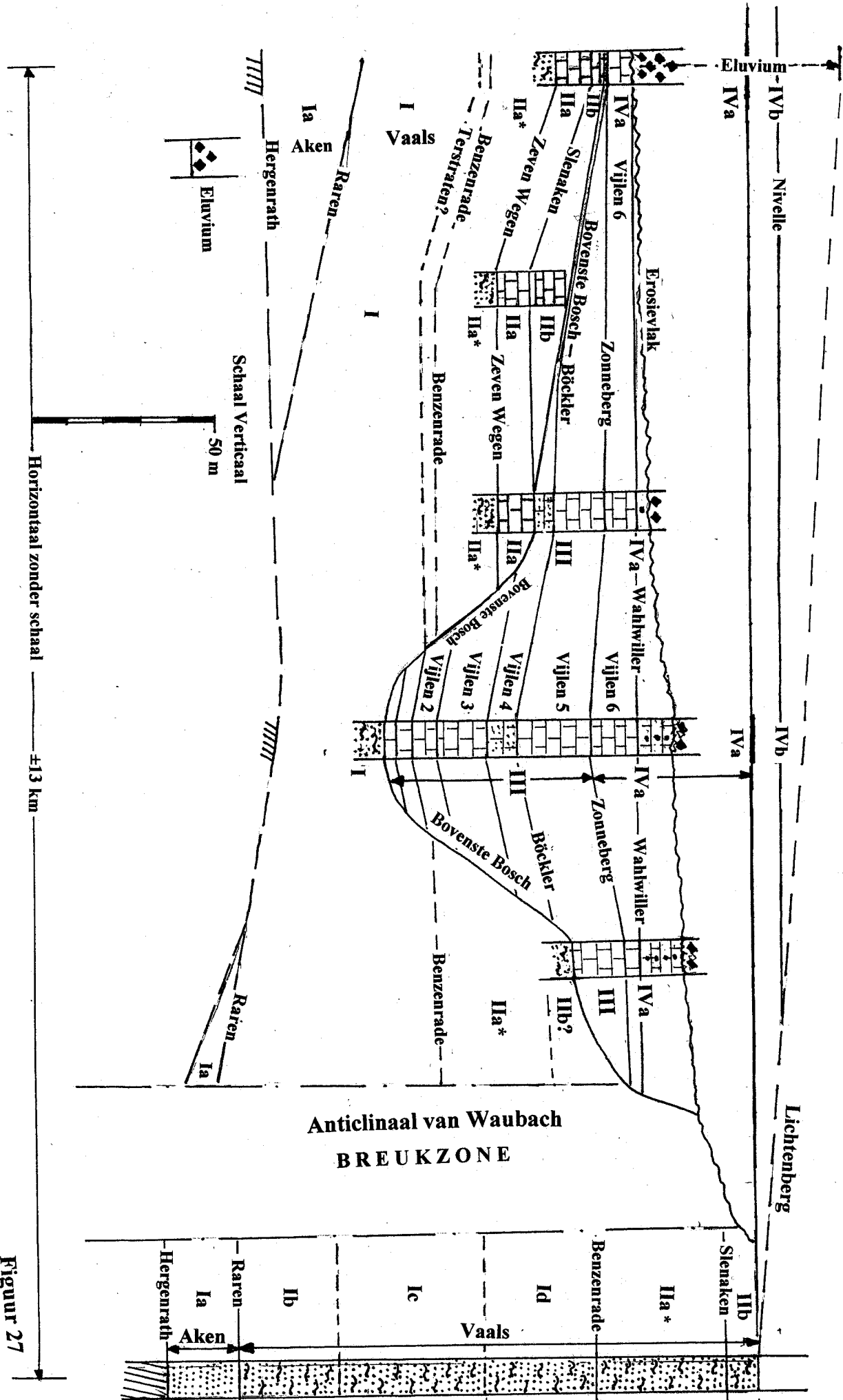
Beutenaken

Crapoel

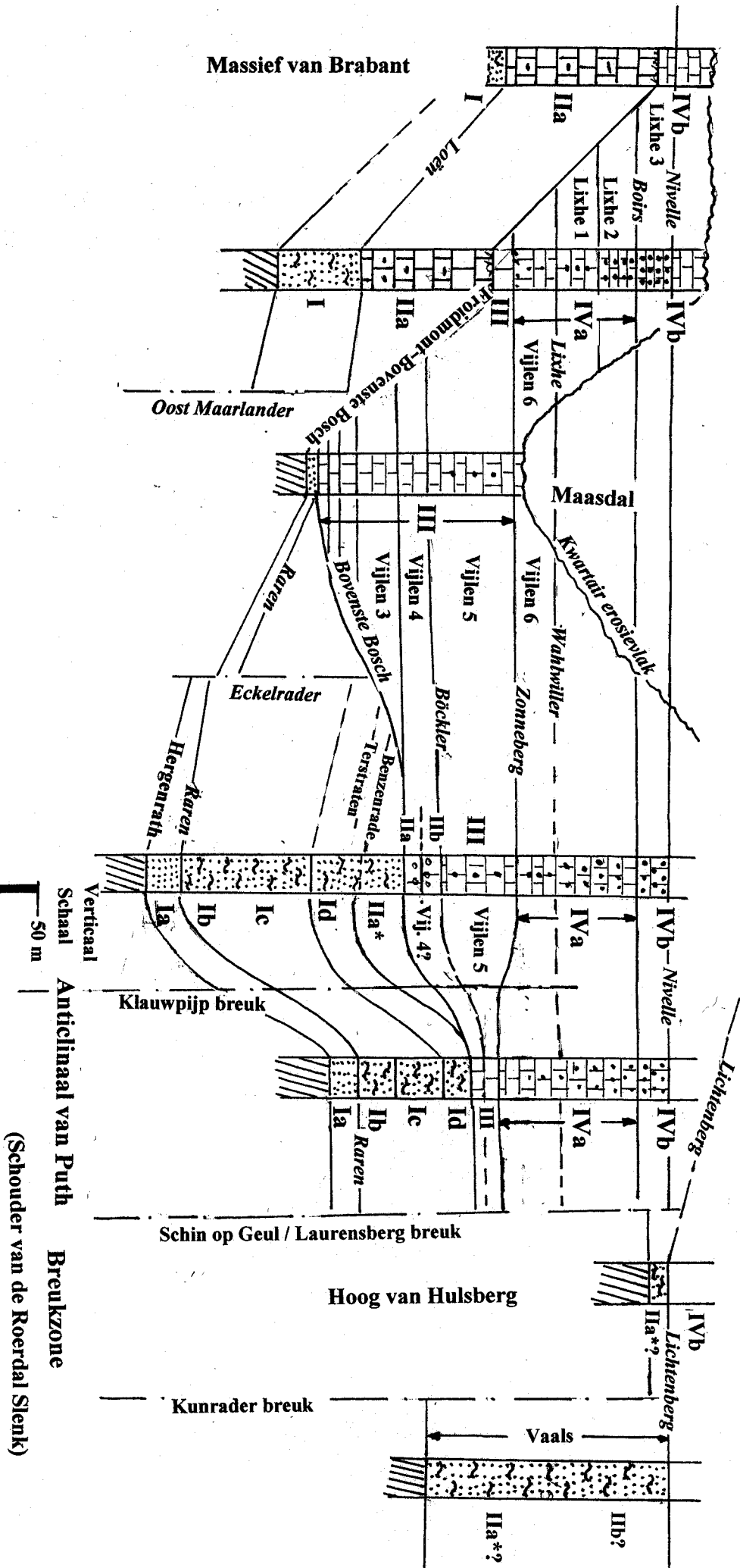
Gulpen

Eys

Benzenrade
De Dael



Figuur 27



Figuur 28

Zuidwest

Noordoost

Landen
105W-349

Velm
105E-455

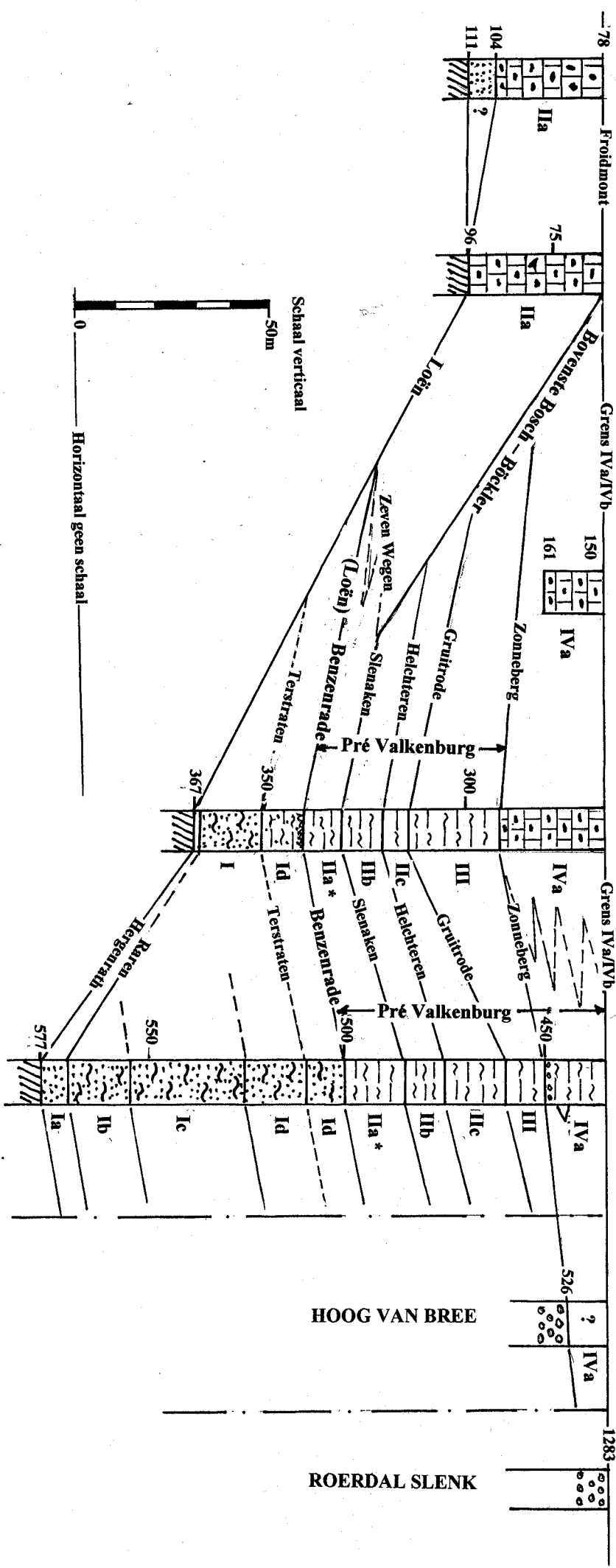
Nieuwerkerken
91E-405

Diepenbeek
KB126, 77E-286

Opoeteren
KS17, 63W-214

Opitter
48E-0294

Molenbeersel
48W-226



Figuur 29

WEST

OOST

Dendermonde

KS 46

KS 29

BGD 172

Opitter

Molenbeersel

Landen

Leper

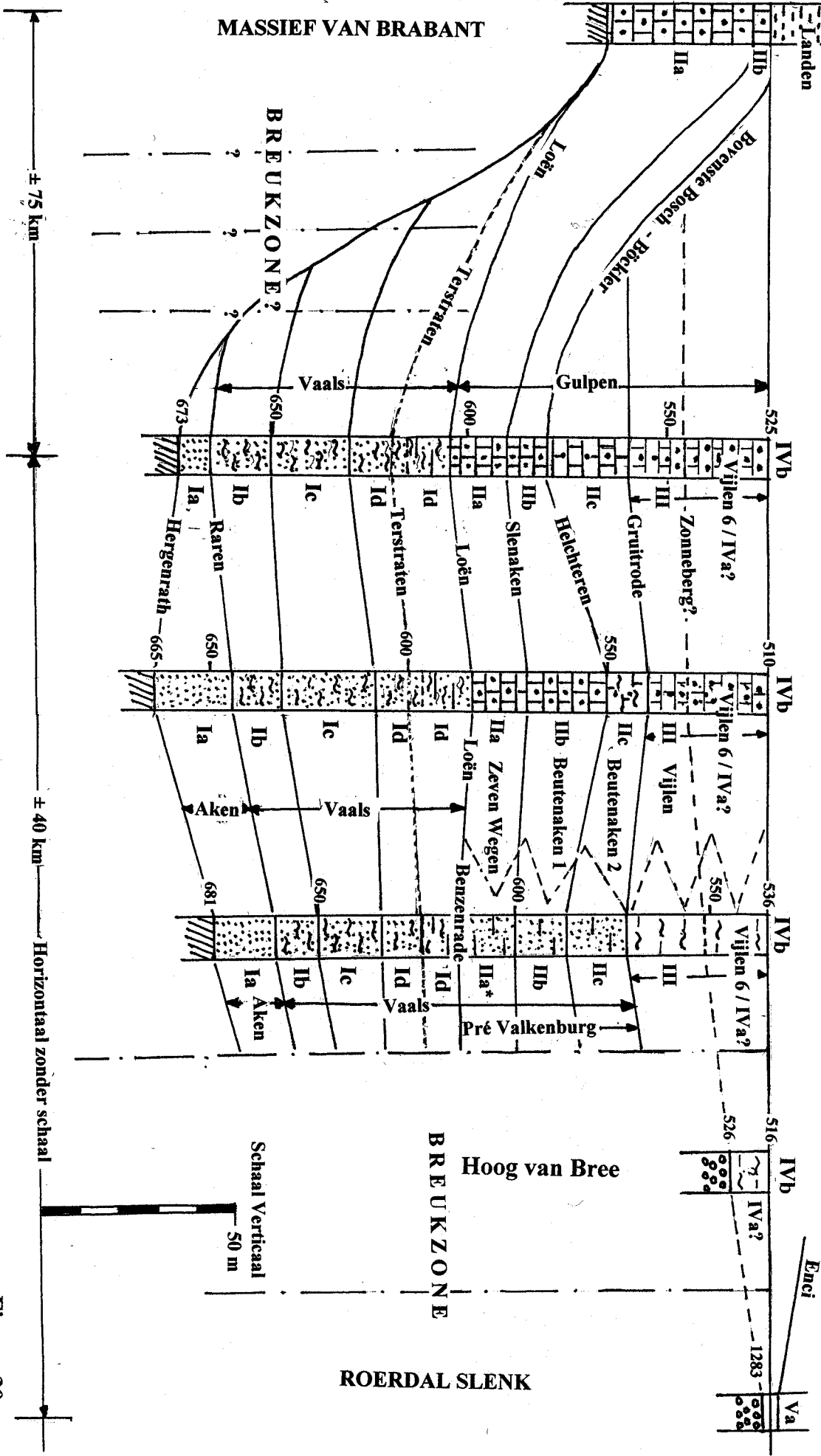
MASSIEF VAN BRABANT

BREUKZONE?

Hoog van Bree

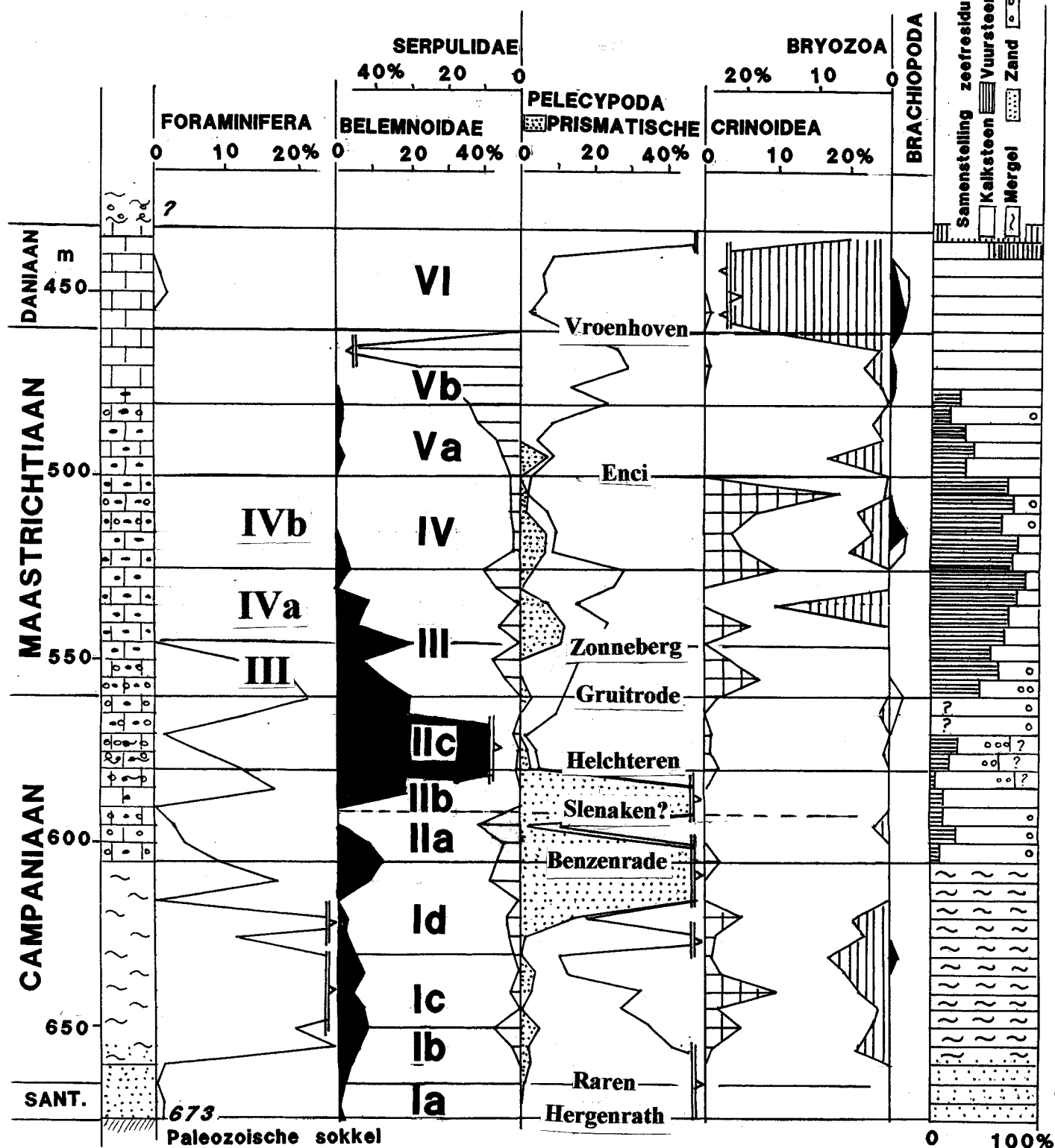
BREUKZONE

ROERDAL SLENK



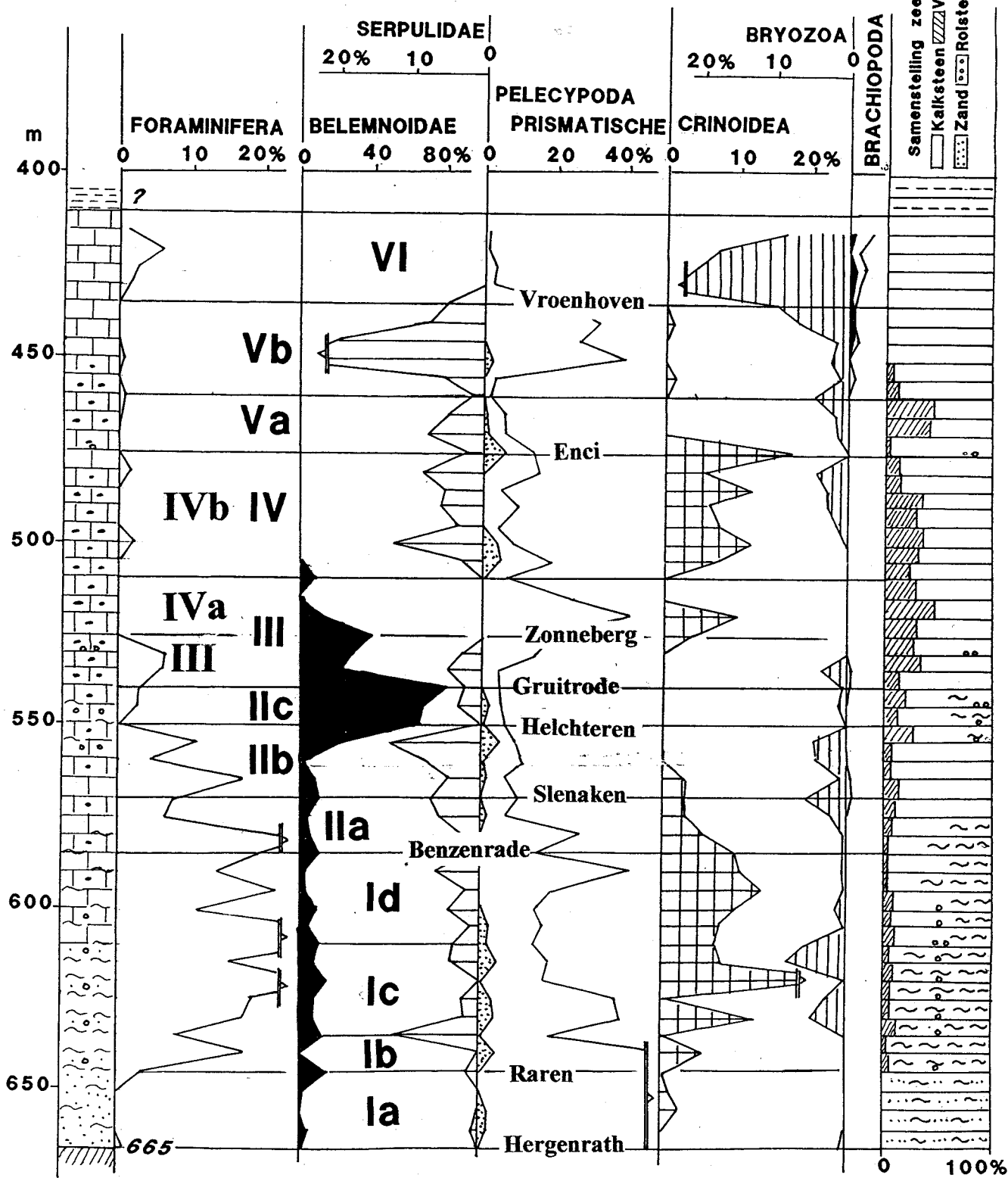
Figuur 30

KS 46, 62E-282 HELCHTEREN



Figuur 31

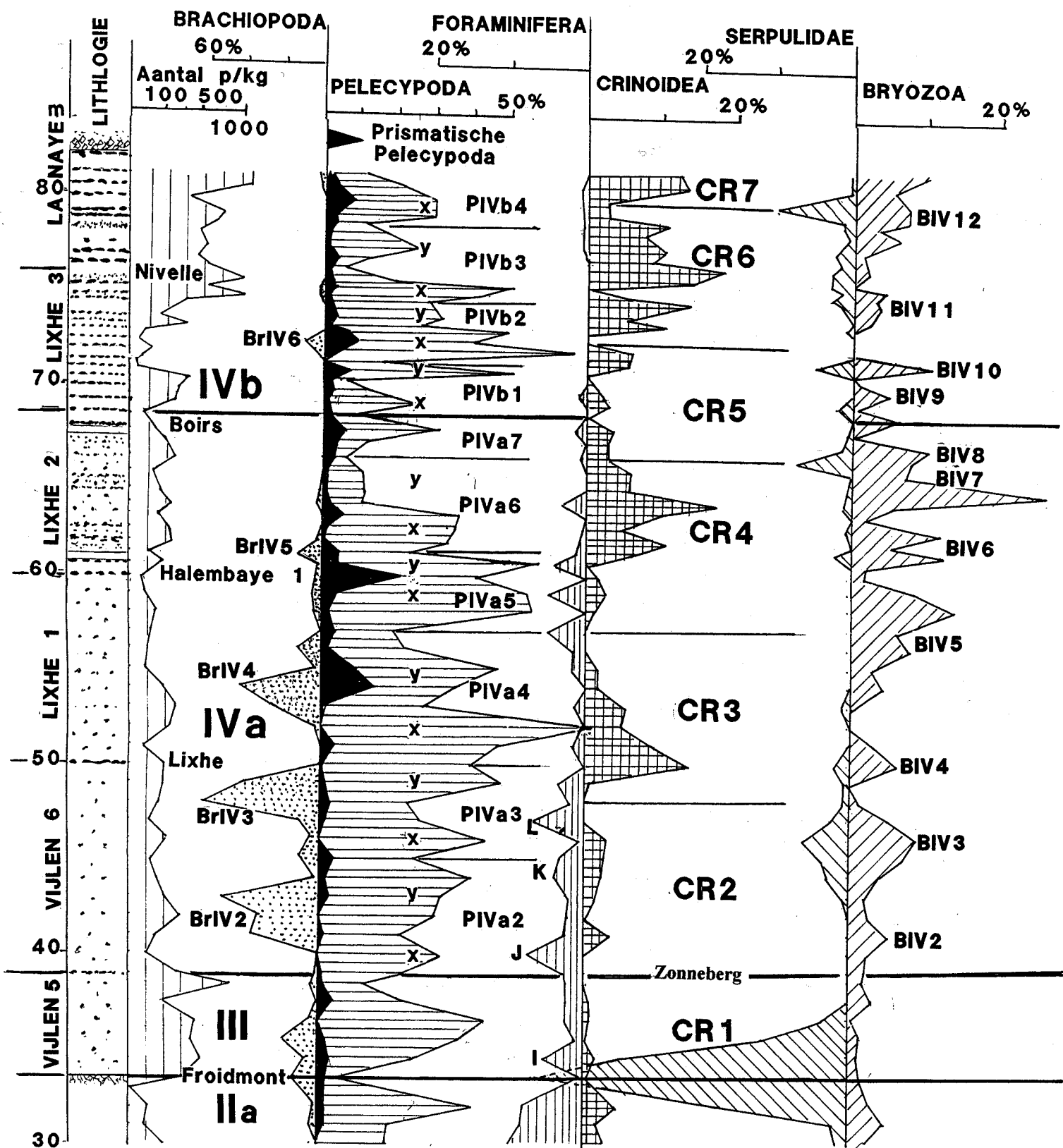
KS29, 63E-280 HELCHTEREN



Figuur 32

GROEVE CPL 61H-9 HALEMBAYE

ECOZONE IVa



(Vervolg zie figuur 18a)

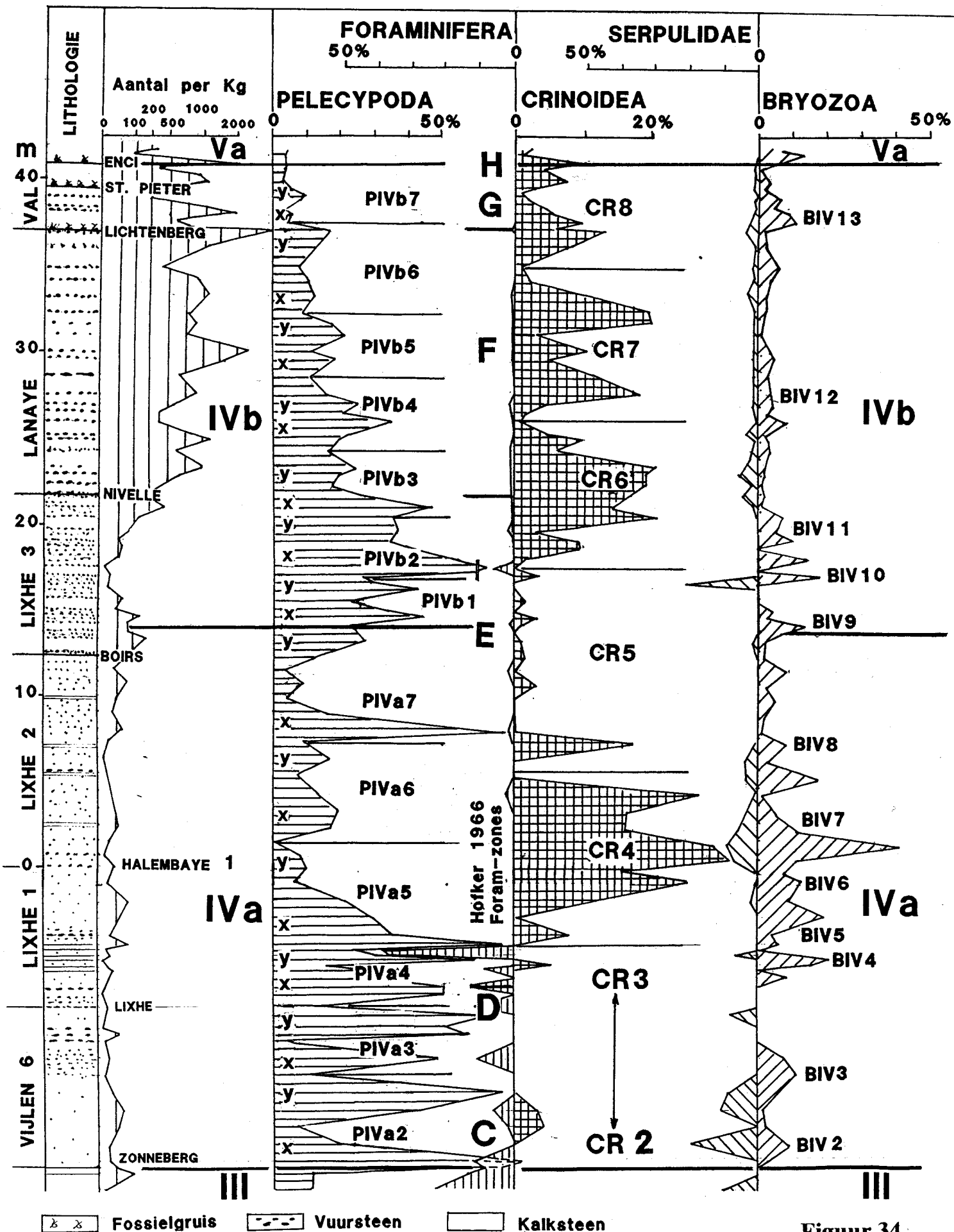
Eluvium Vuursteen Kalksteen Hardground

Figuur 33

FORMATIE VAN GULPEN

ENCI, 61F-19, MAASTRICHT, (1988)

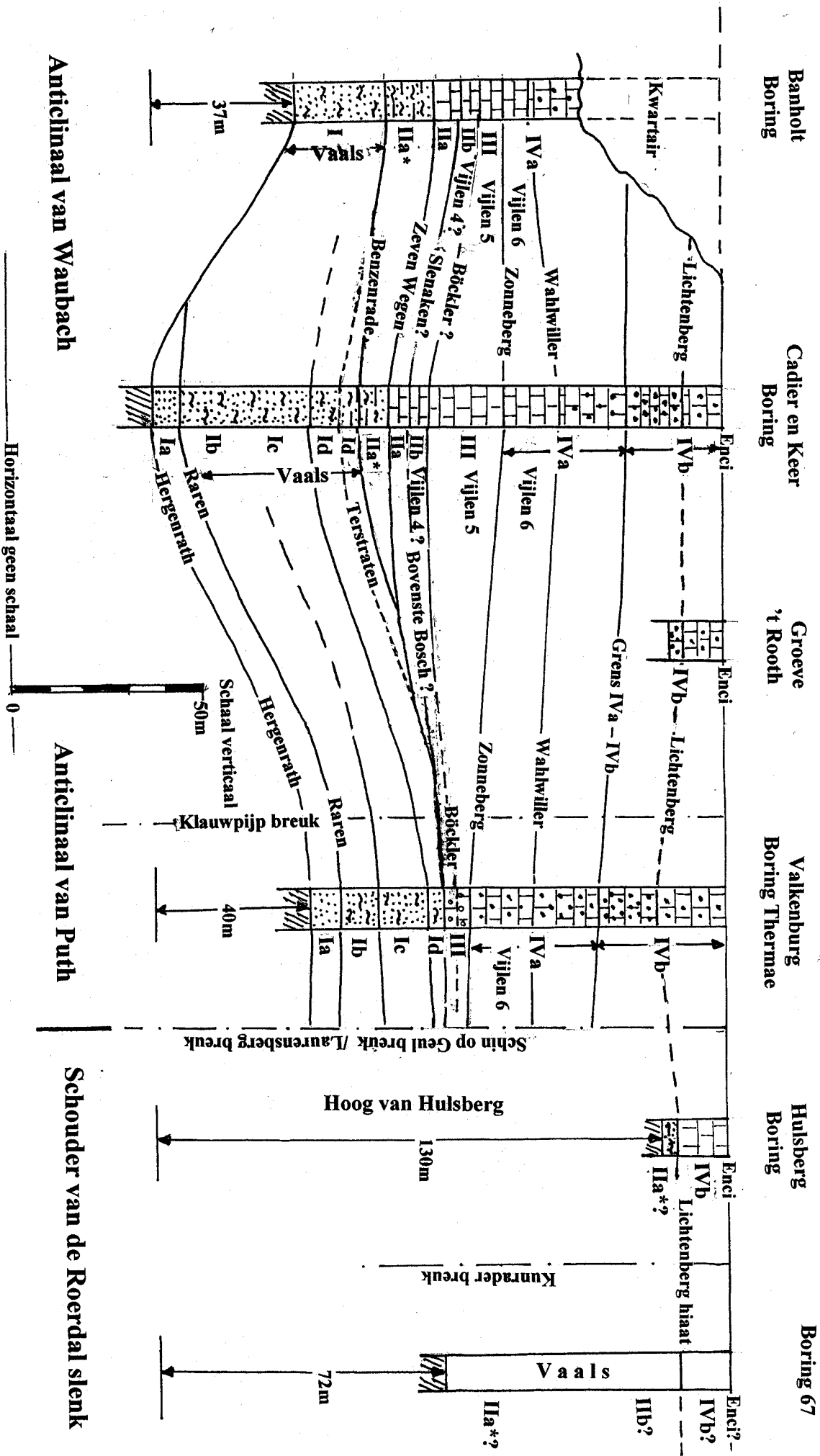
BIOKLASTEN 1-2.4 mm



Figuur 34

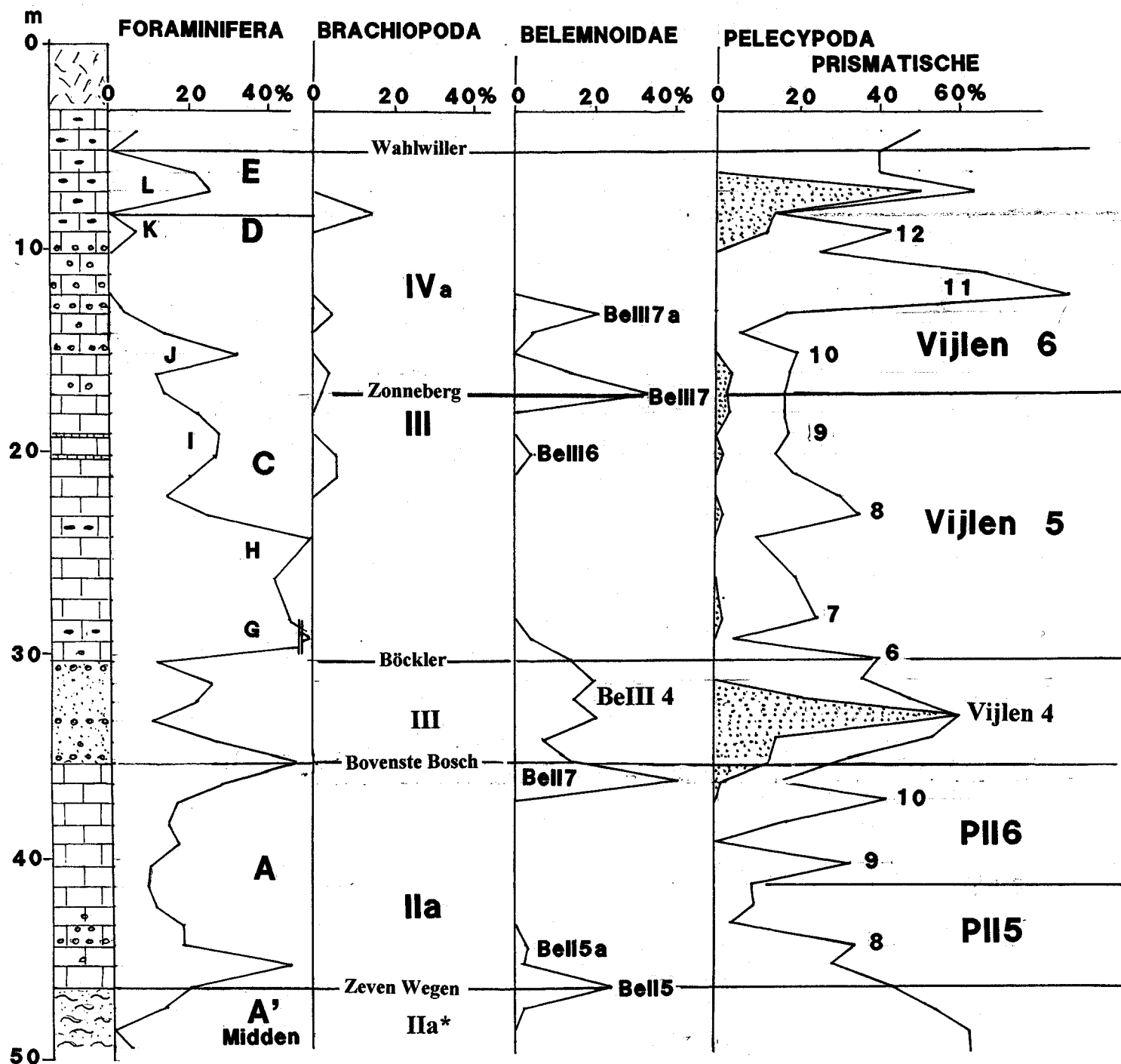
Zuid

Noord



Figuur 35

BORING CRAPOEL 62C-74



Figuur 36

Afzettingen op de schouder van de Roerdalslenk

Noordwest

Heerlerheide – Feldbiss blok

Zuidoost

Noordwest

Maurits – Wijnandsrade blok

Zuidoost

Molenbeersel

Opitter

Limbricht

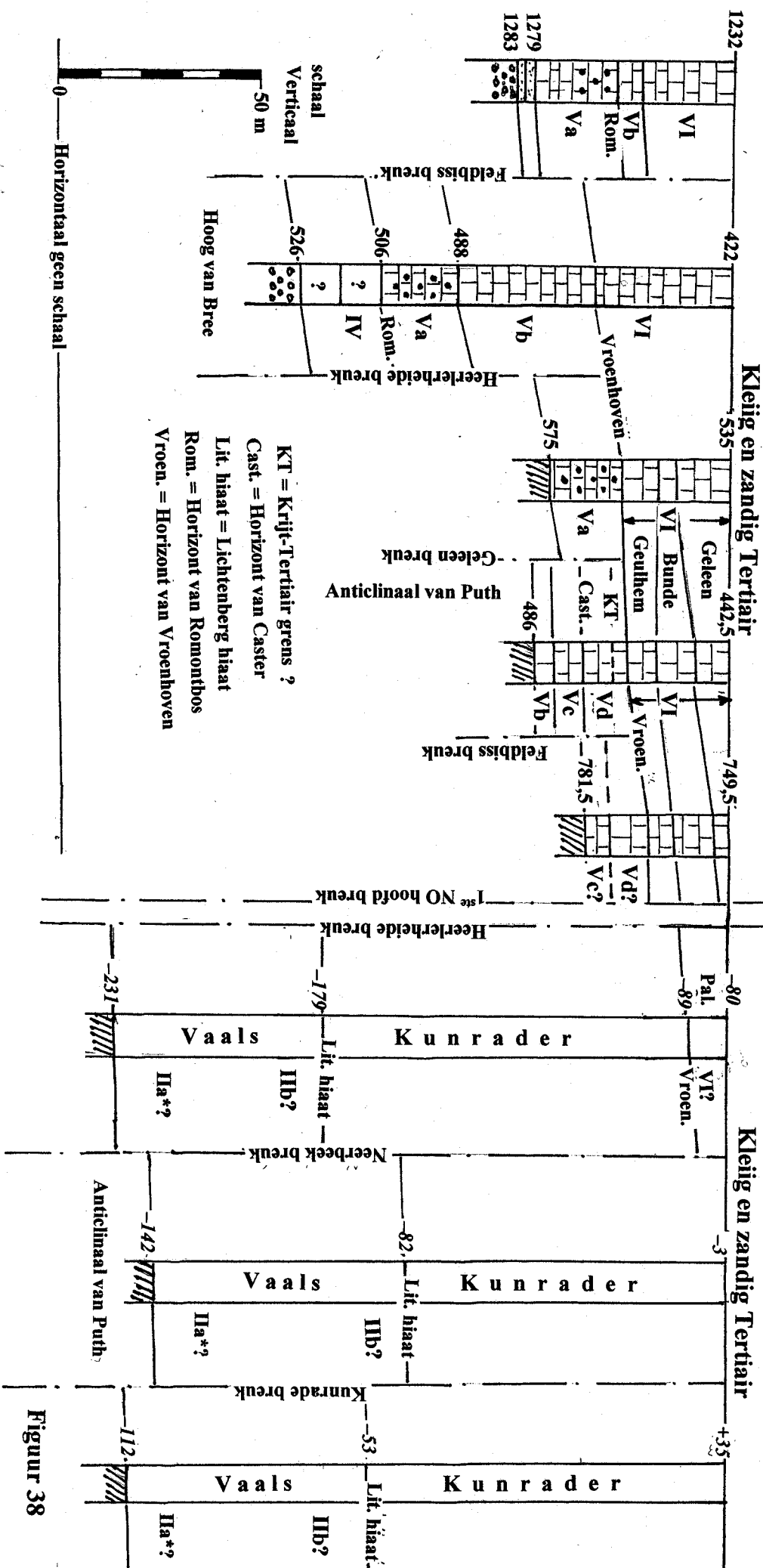
Kemperkoel

Raath

Maurits

Boring 67

Boring 55



Figuur 38

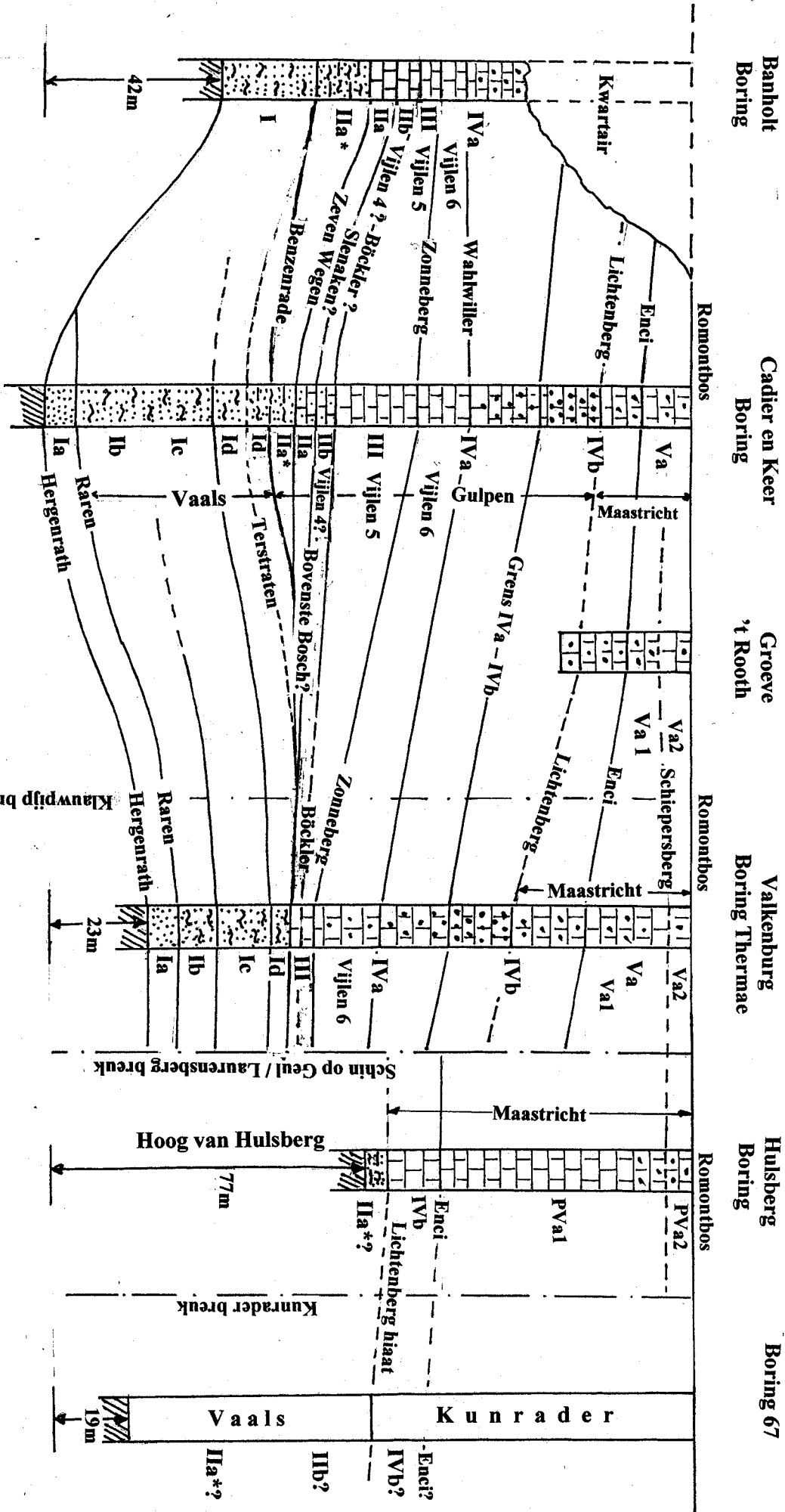
Zuid

Noord

Anticlinal van Waubach

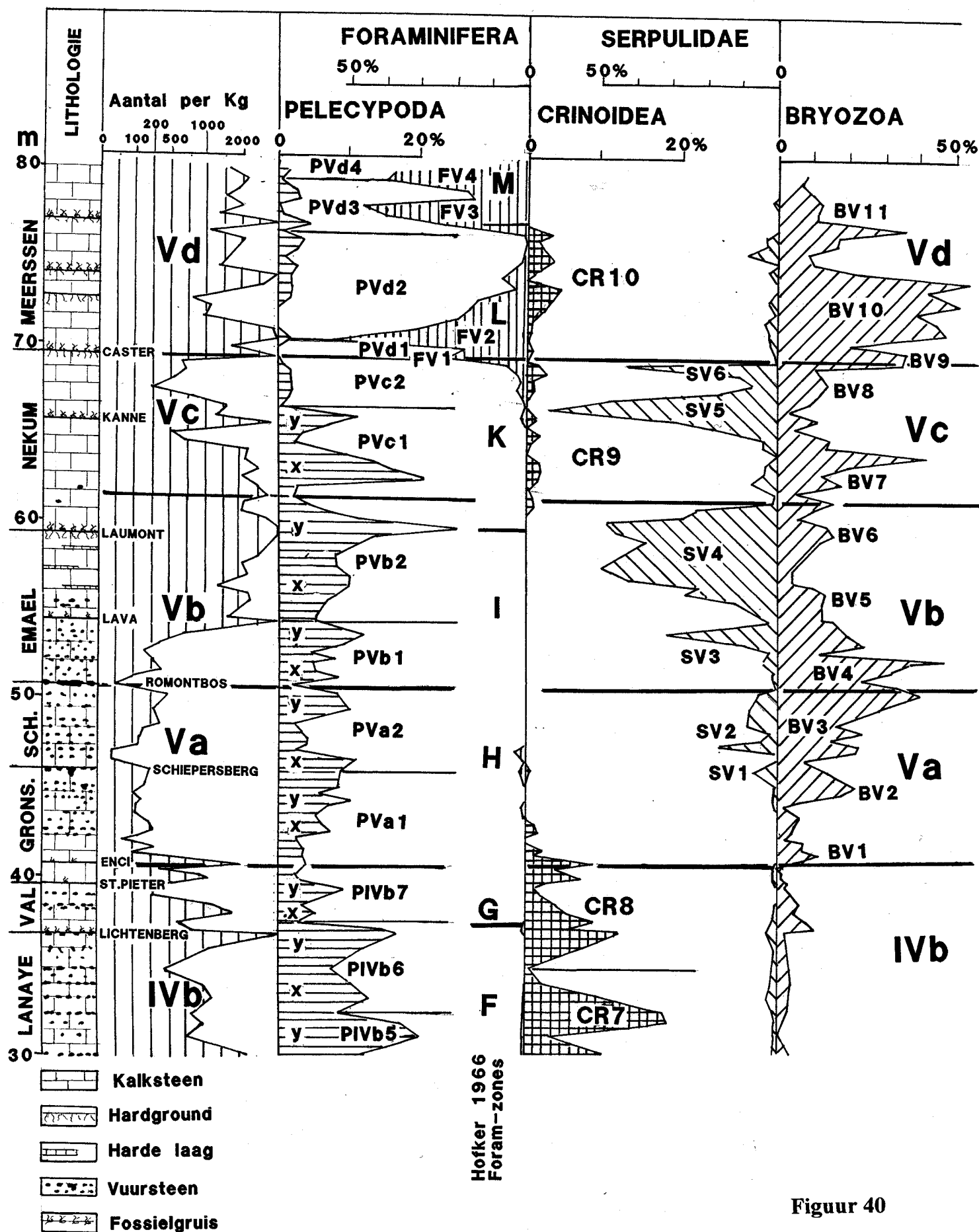
Anticlinal van Puth

Schouder van de Roerdal slenk



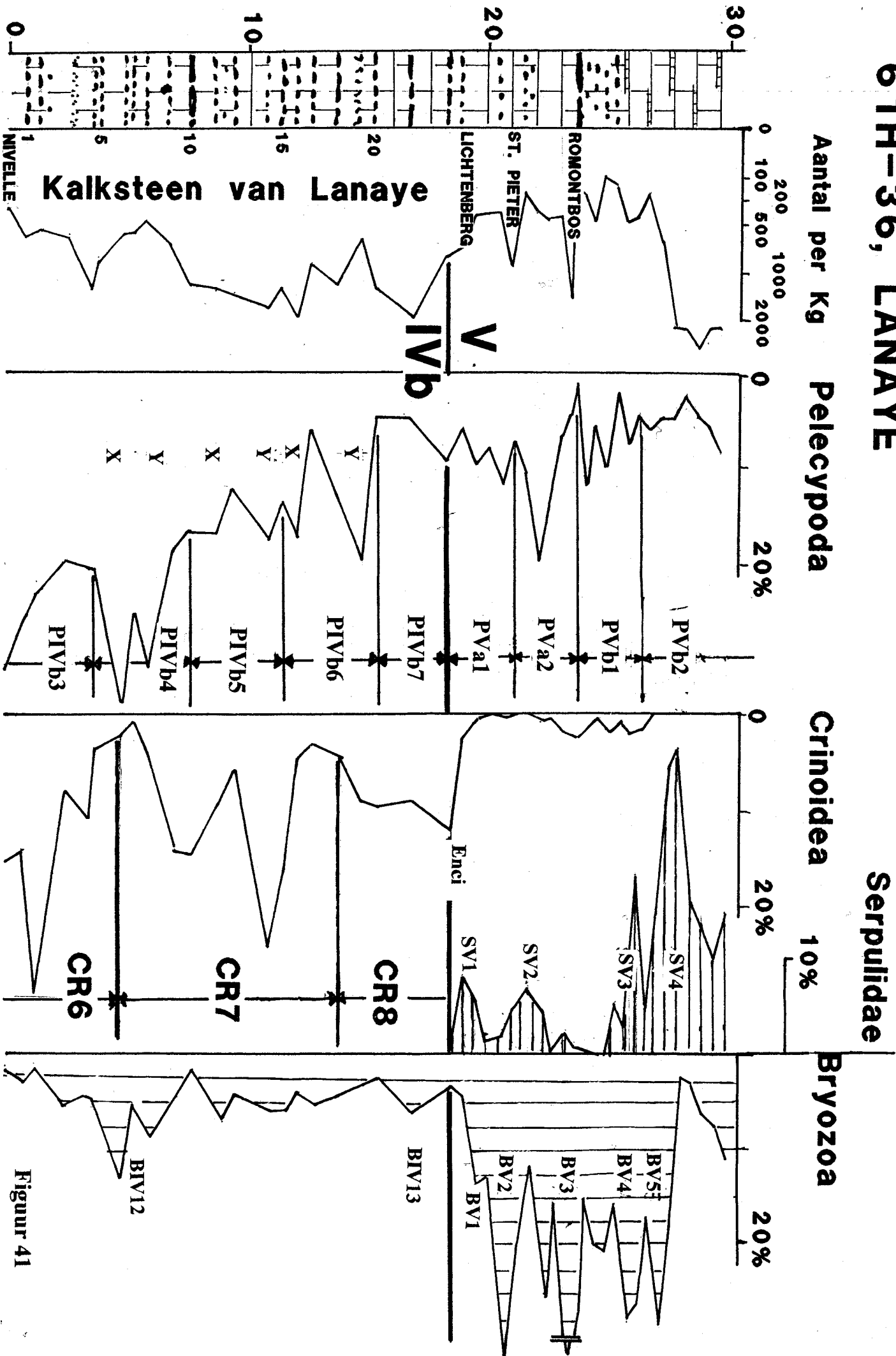
Figuur 39

FORMATIE VAN MAASTRICHT ENCI, 61F-19, MAASTRICHT, (1988) BIOKLASTEN 1-2.4 mm



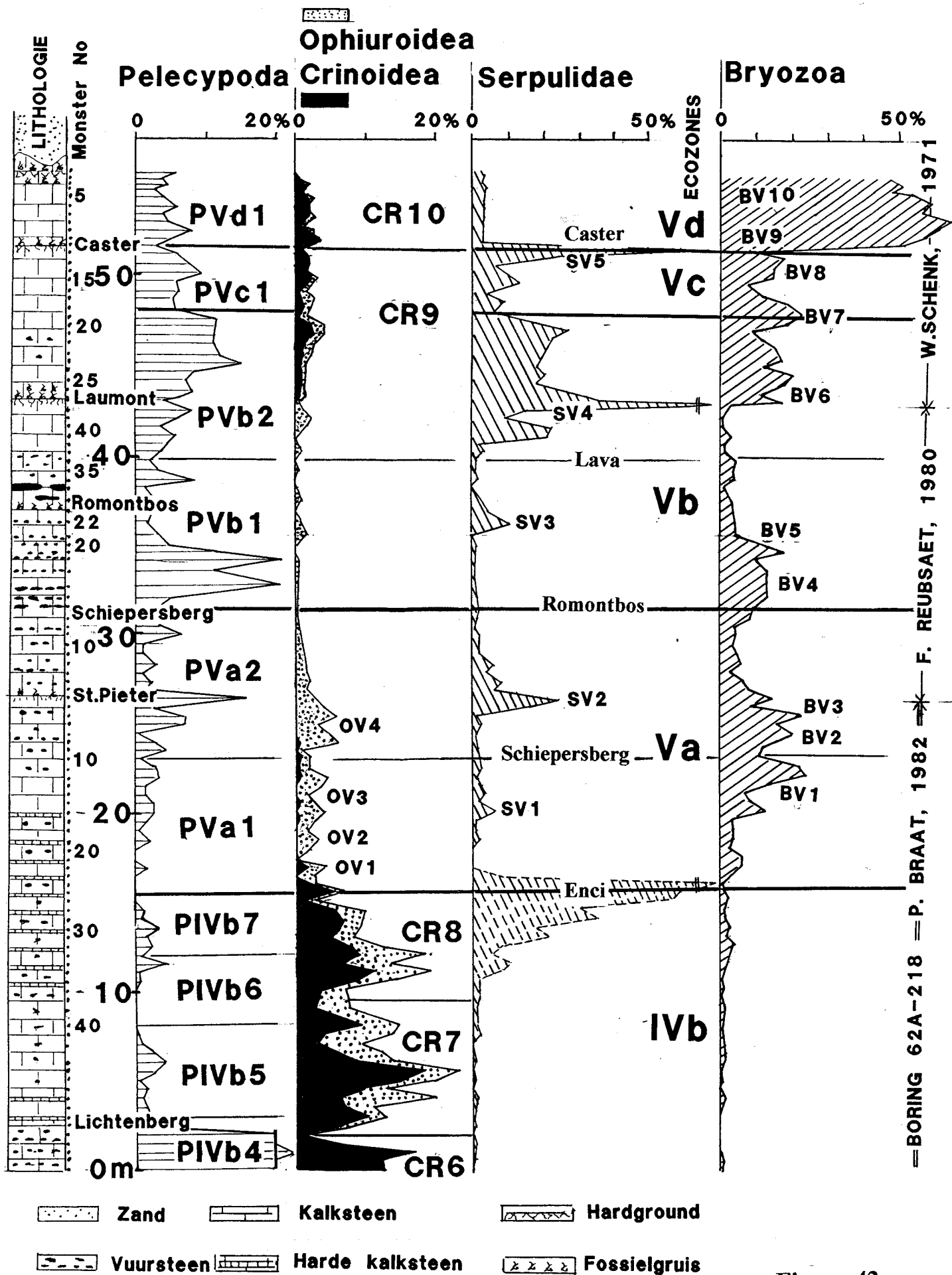
Figuur 40

61H-36, LANAYE



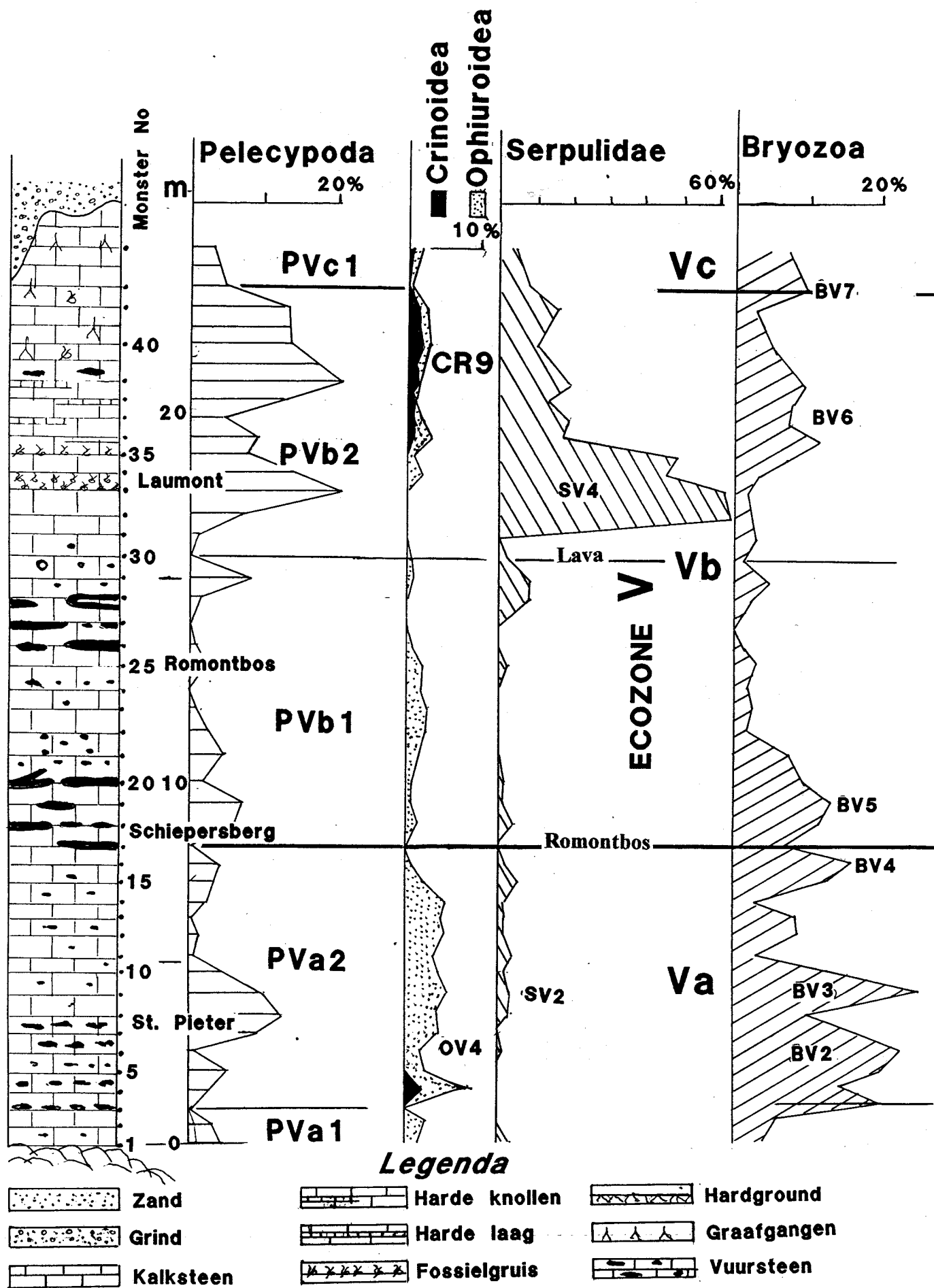
Figuur 41

GROEVE NEKAMI 62A-7, BEMELLEN



Figuur 42

SCHIEPERSBERG 62A-26, CADIER EN KEER

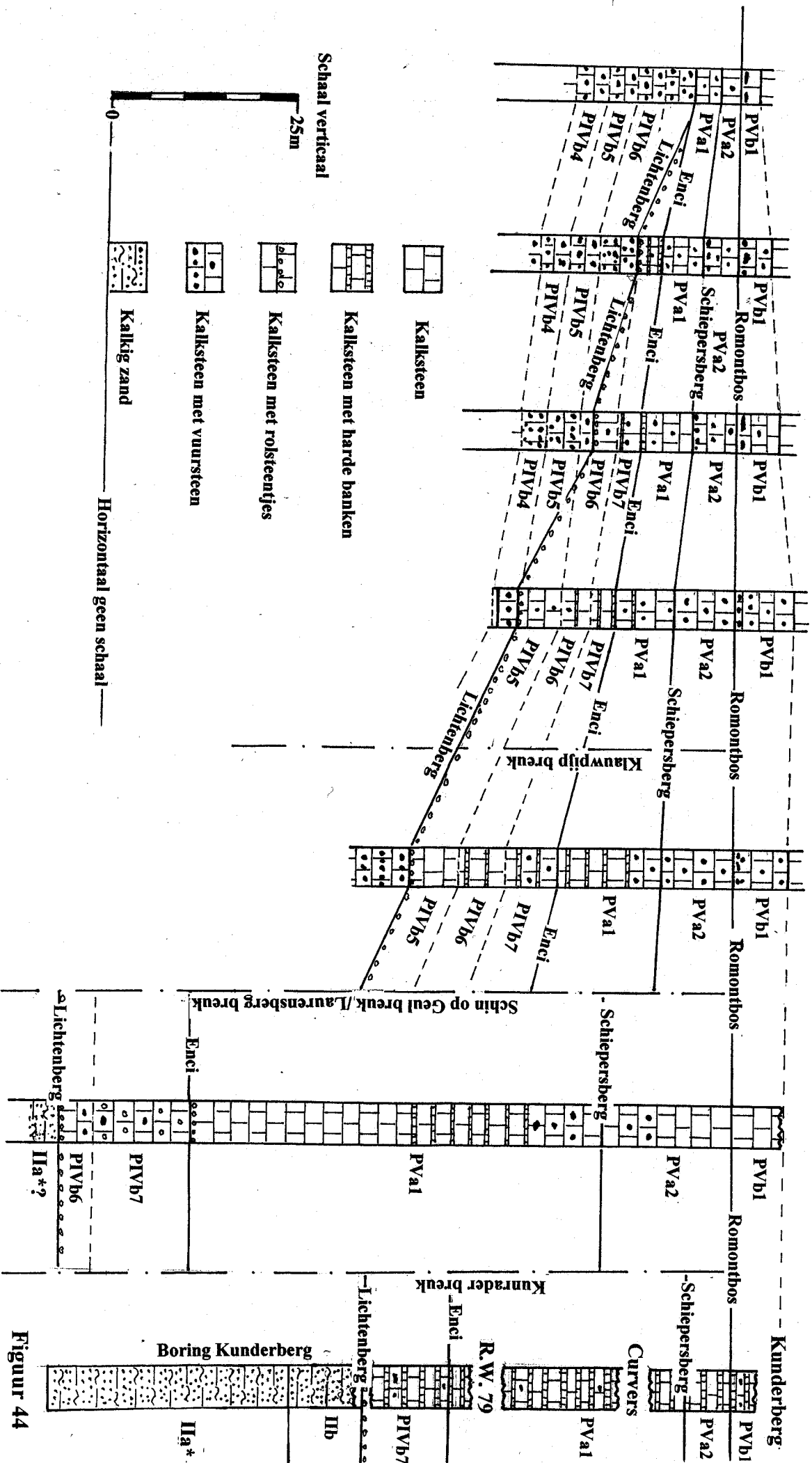


Figuur 43

West

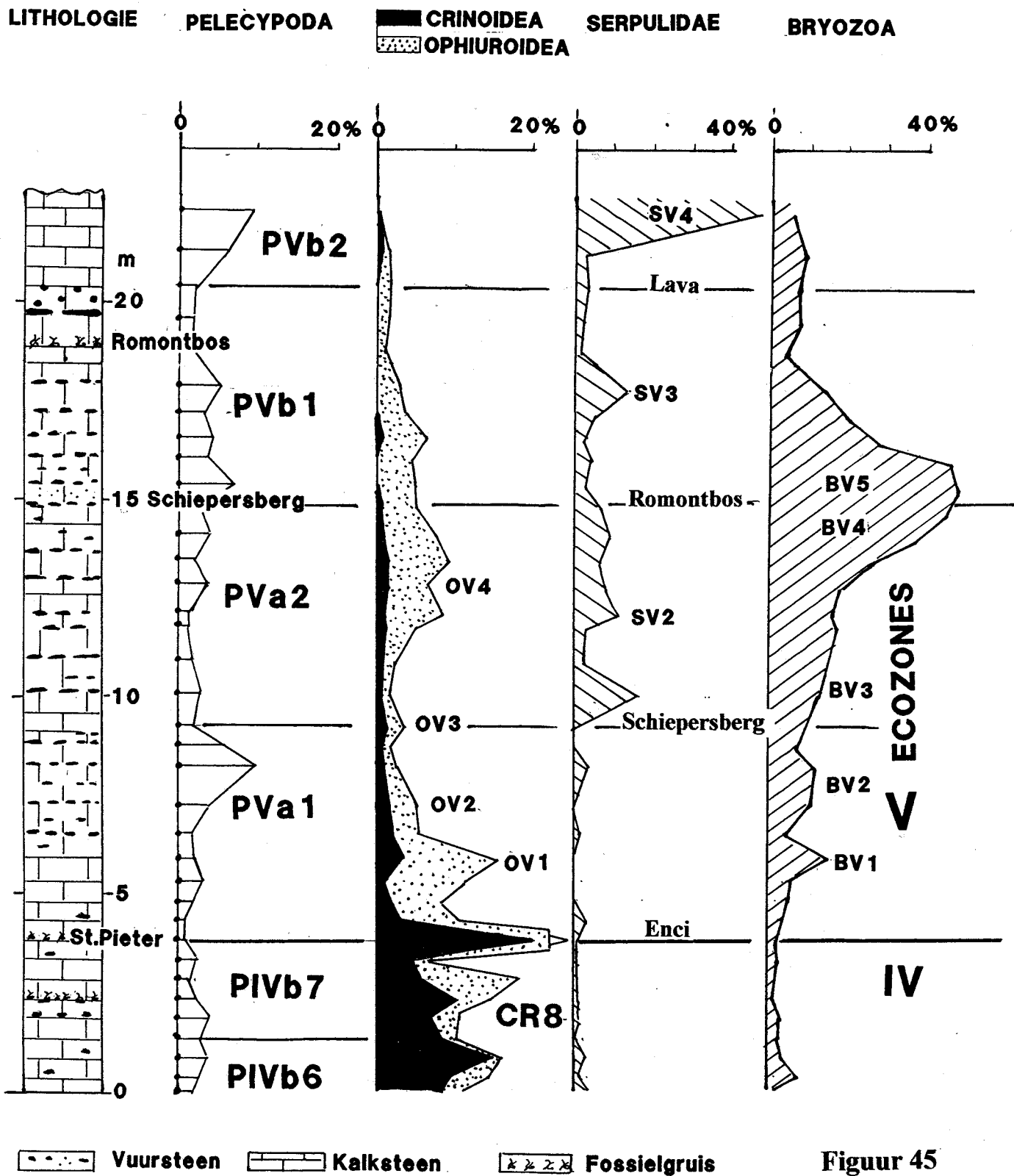
Oost

Lanaye 61H-36	Maastricht ENCI	Maastricht Kastanjelaan	't Rooth (NEKAMI)	Valkenburg boring Thermane	Hulsberg boring	Kunrade Benzentrale
------------------	--------------------	----------------------------	----------------------	-------------------------------	--------------------	------------------------



Figuur 44

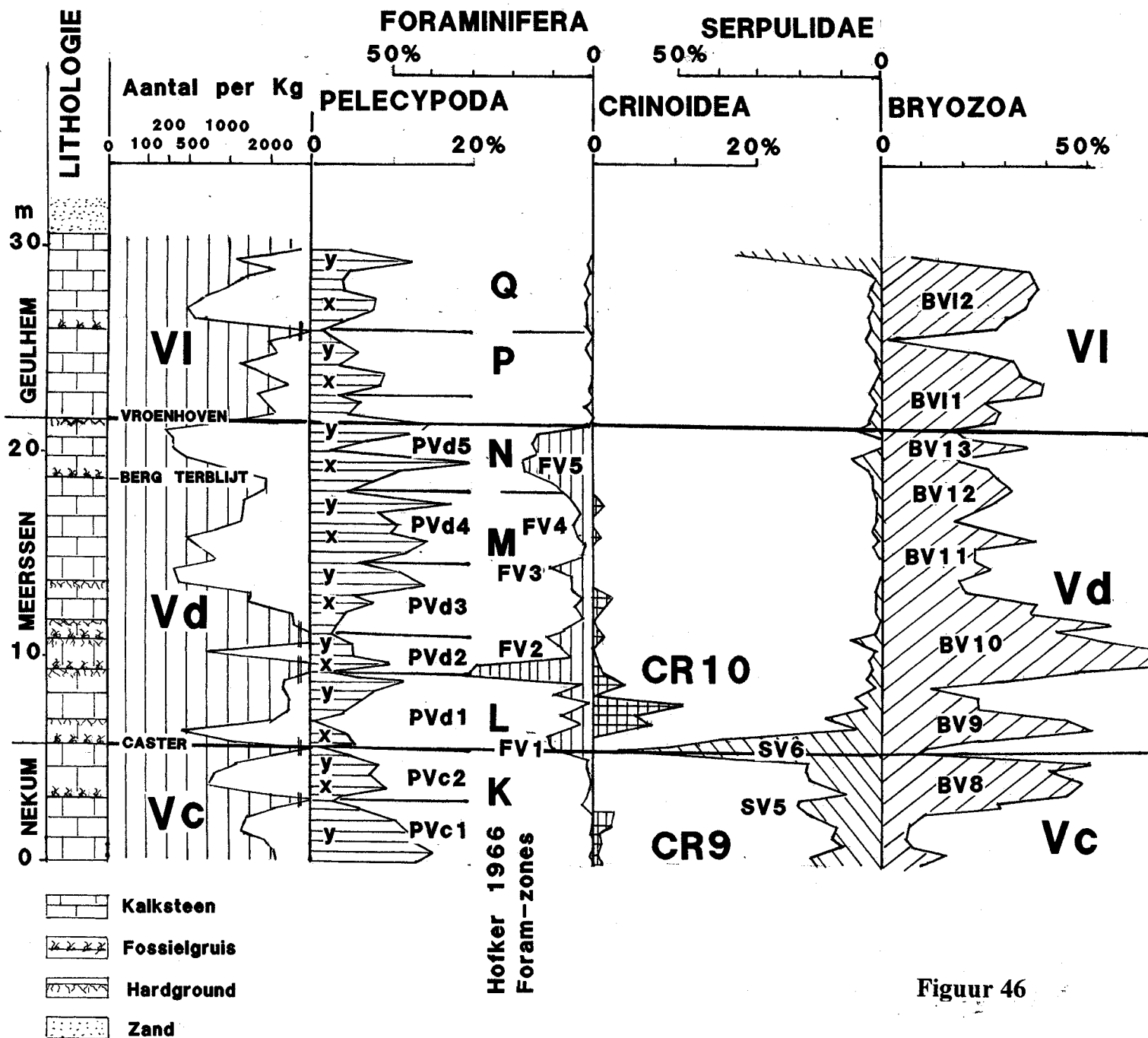
GRONSVELD, DOLEKAMER 62A-163



Figuur 45

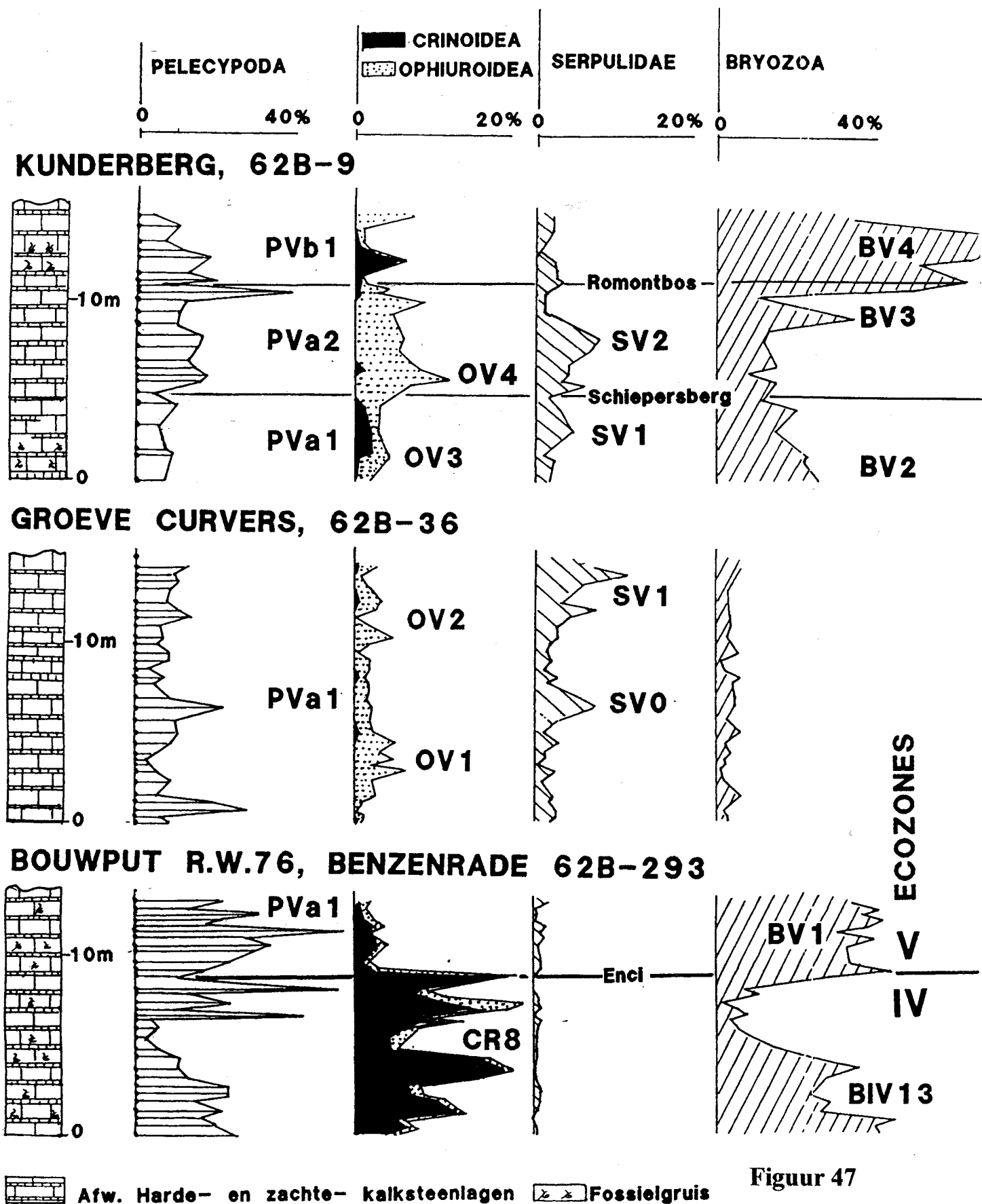
GROEVE CURFS, 62A-13, GEULHEM

BIOKLASTEN 1-2.4 mm



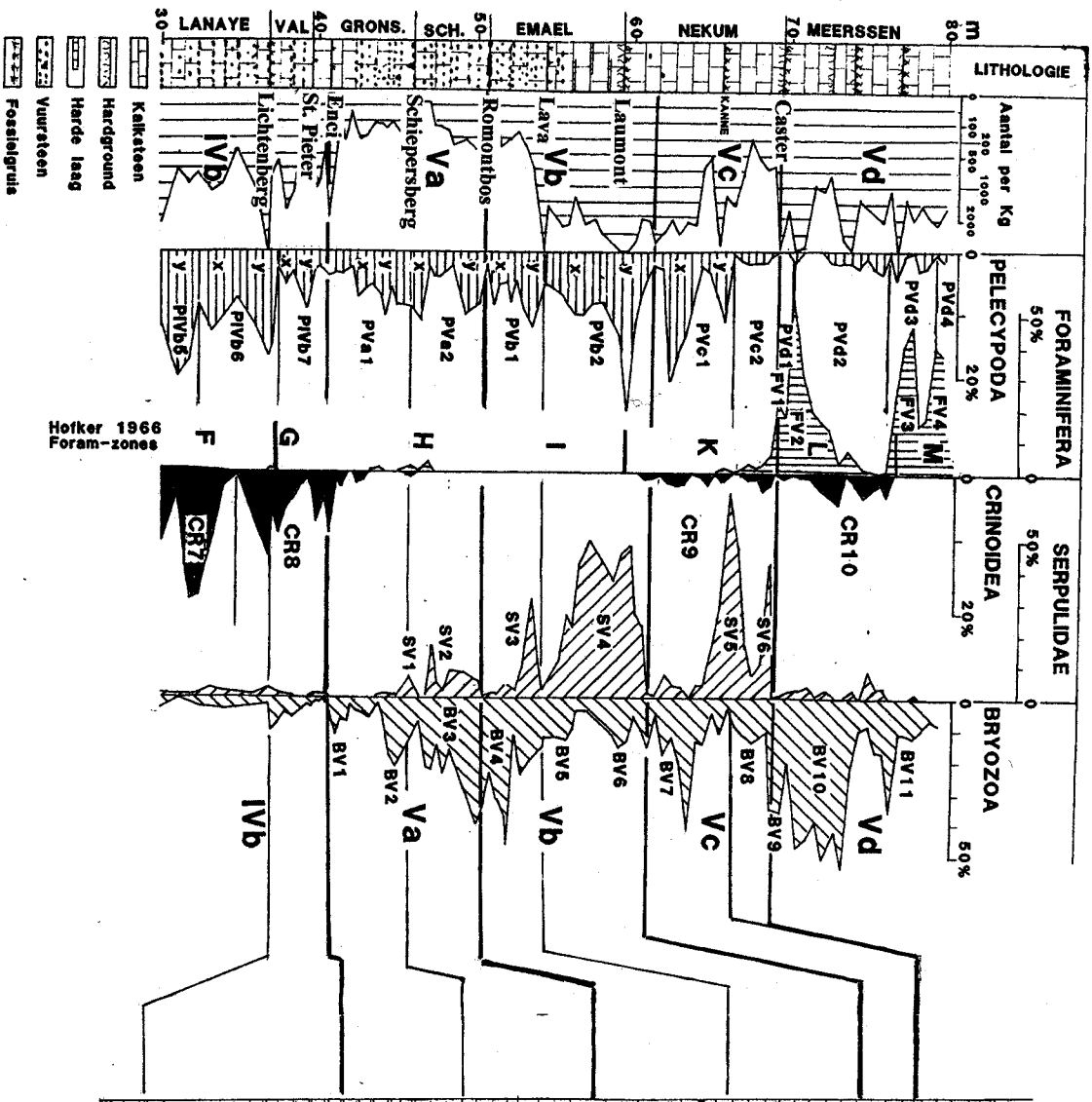
Figuur 46

ONTSLUITINGEN IN KUNRADER KALKSTEEN

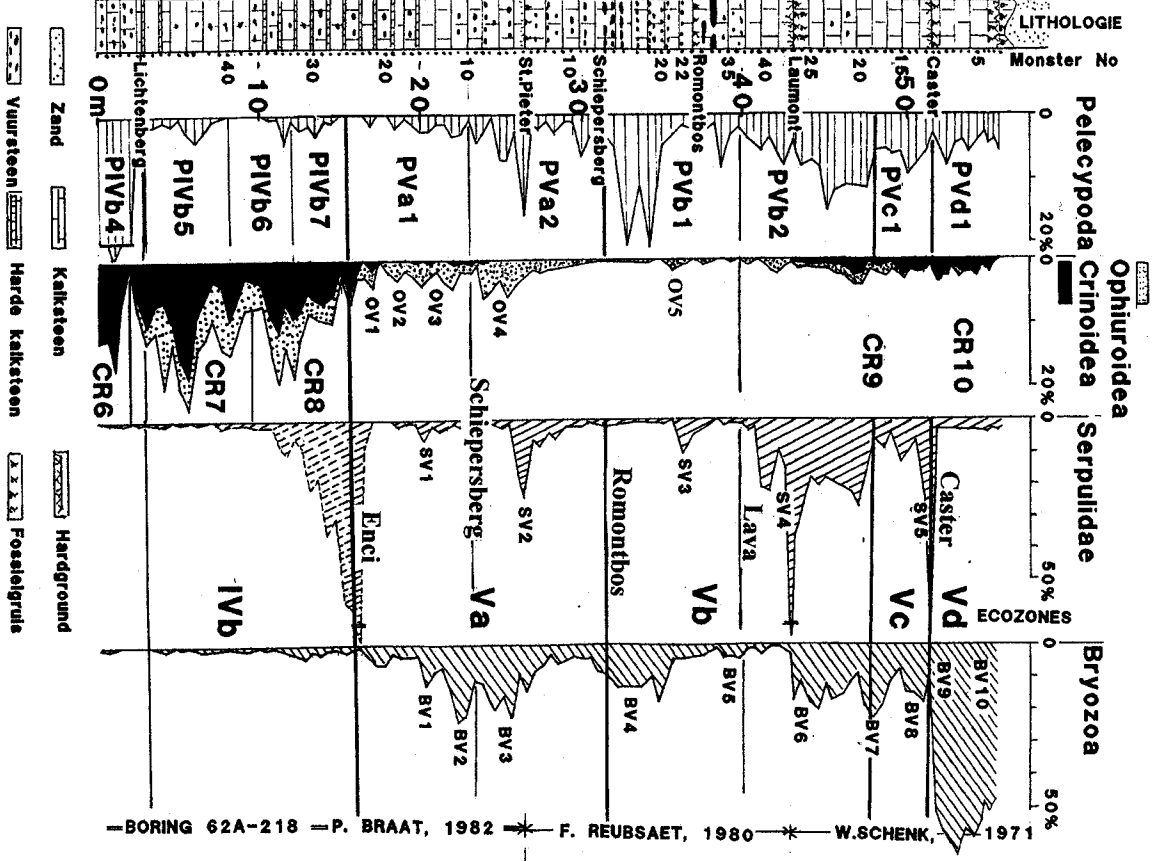


Figuur 47

FORMATIE VAN MAASTRICHT
 ENCI, 61F-19, MAASTRICHT, (1988)
 BIOKLASTEN 1-2.4 mm



GROEVE NEKAMI 62A-7, BEMELLEN



-BORING 62A-218 = P. BRAAT, 1982 * F. REUBSAET, 1980 * W.SCHENK, 1971

Figuur 48

Zuidwest

Landen
105W-349

Velm
105E-455

Nieuwerkerken
91E-405

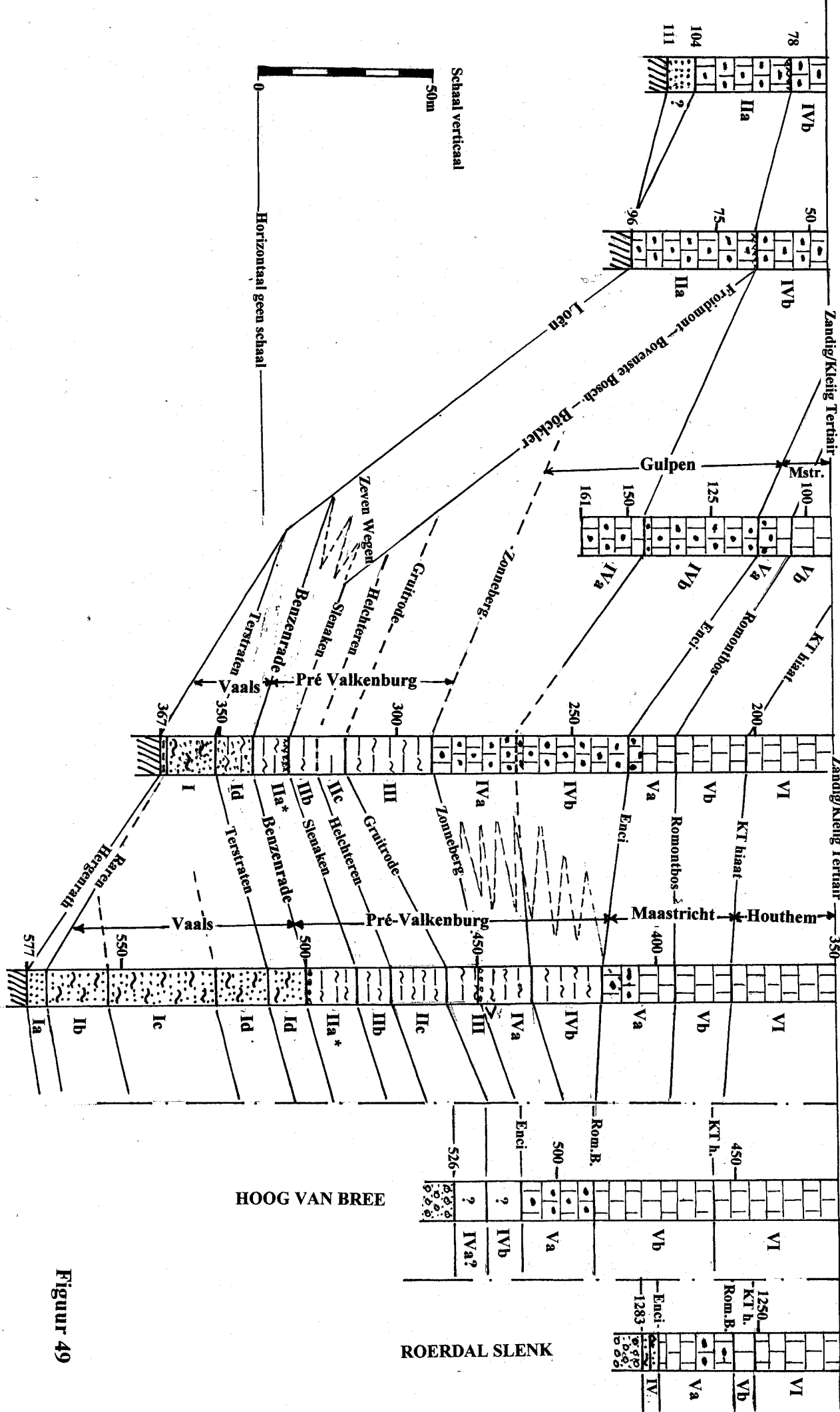
Diepenbeek
KB126, 77E-286

Opoeteren
KS17, 63W-214

Opitter
48E-0294

Molenbeersel
48W-226

Noordwest



Figuur 49

WEST

Dendermonde

KS 46

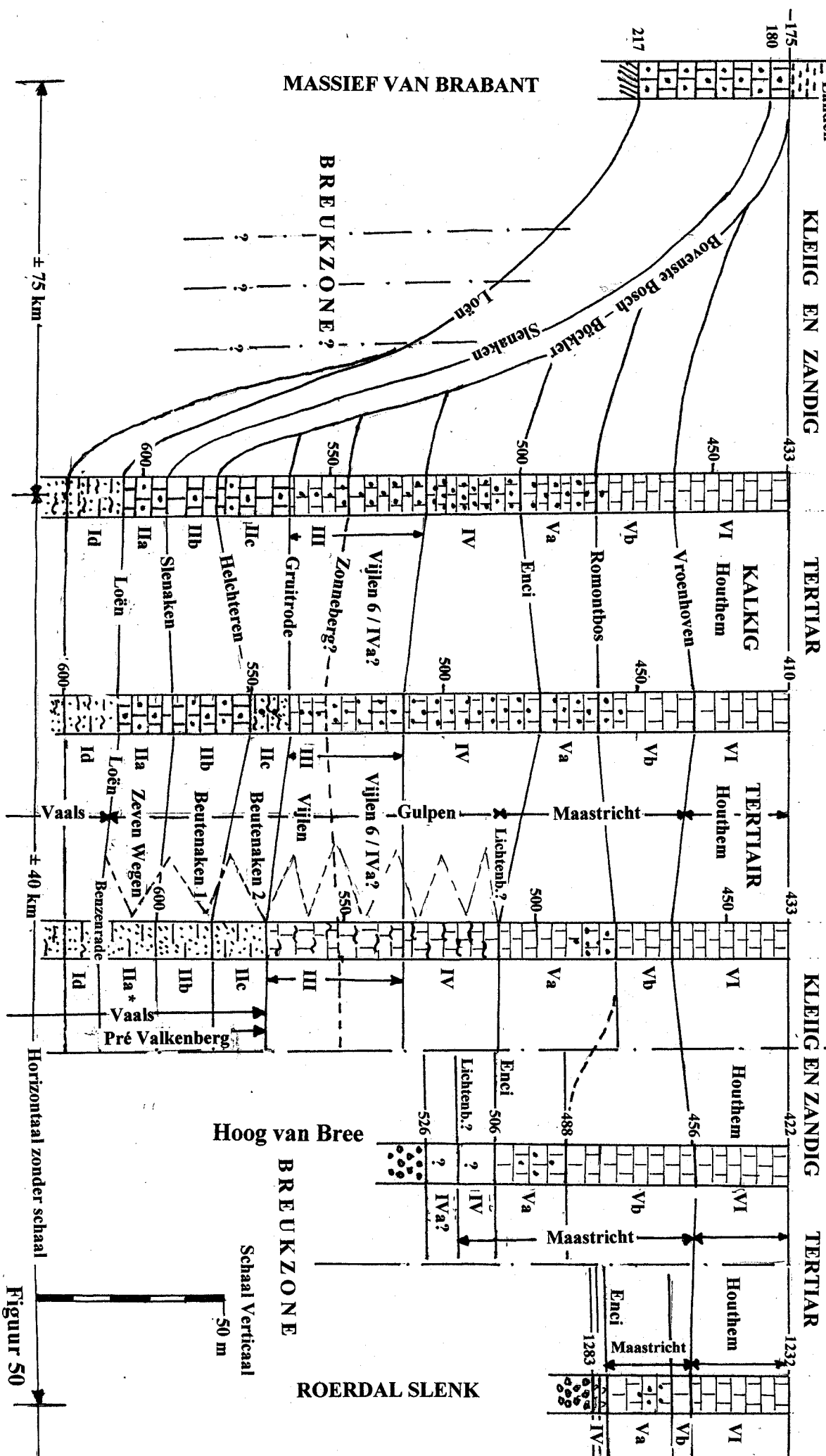
KS 29

BCD 172

Opitter

Moleneersel

OOST



Figuur 50

Valkenburg
Thermae 2000

Schaelsberg

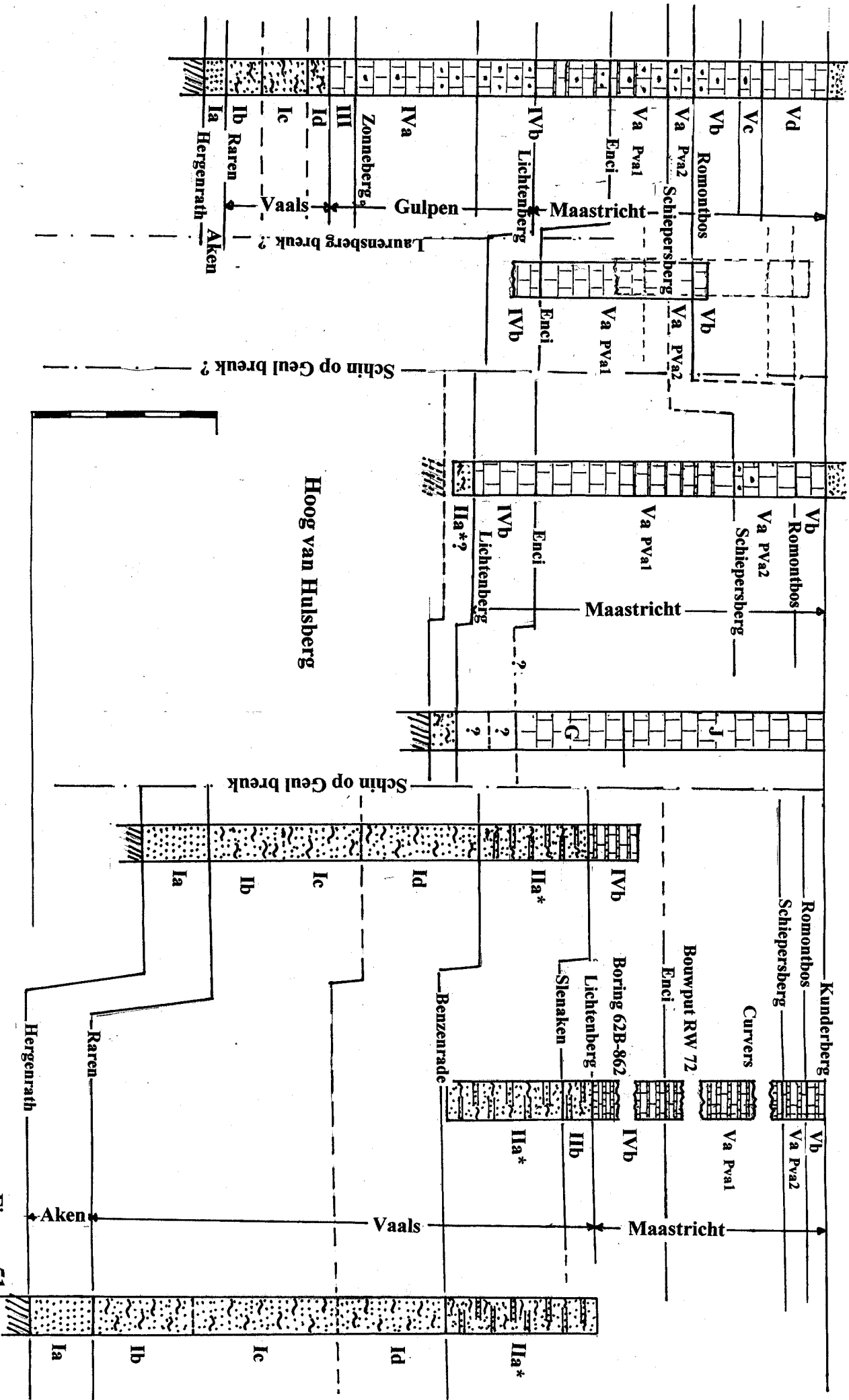
Hulsberg
62A-444

Walem
62A-306

Walem
62A-309

Kunrade

De Dael
62B-450



Figuur 51

West

Oost

Lanaye
61H-36

Maastricht
ENCI

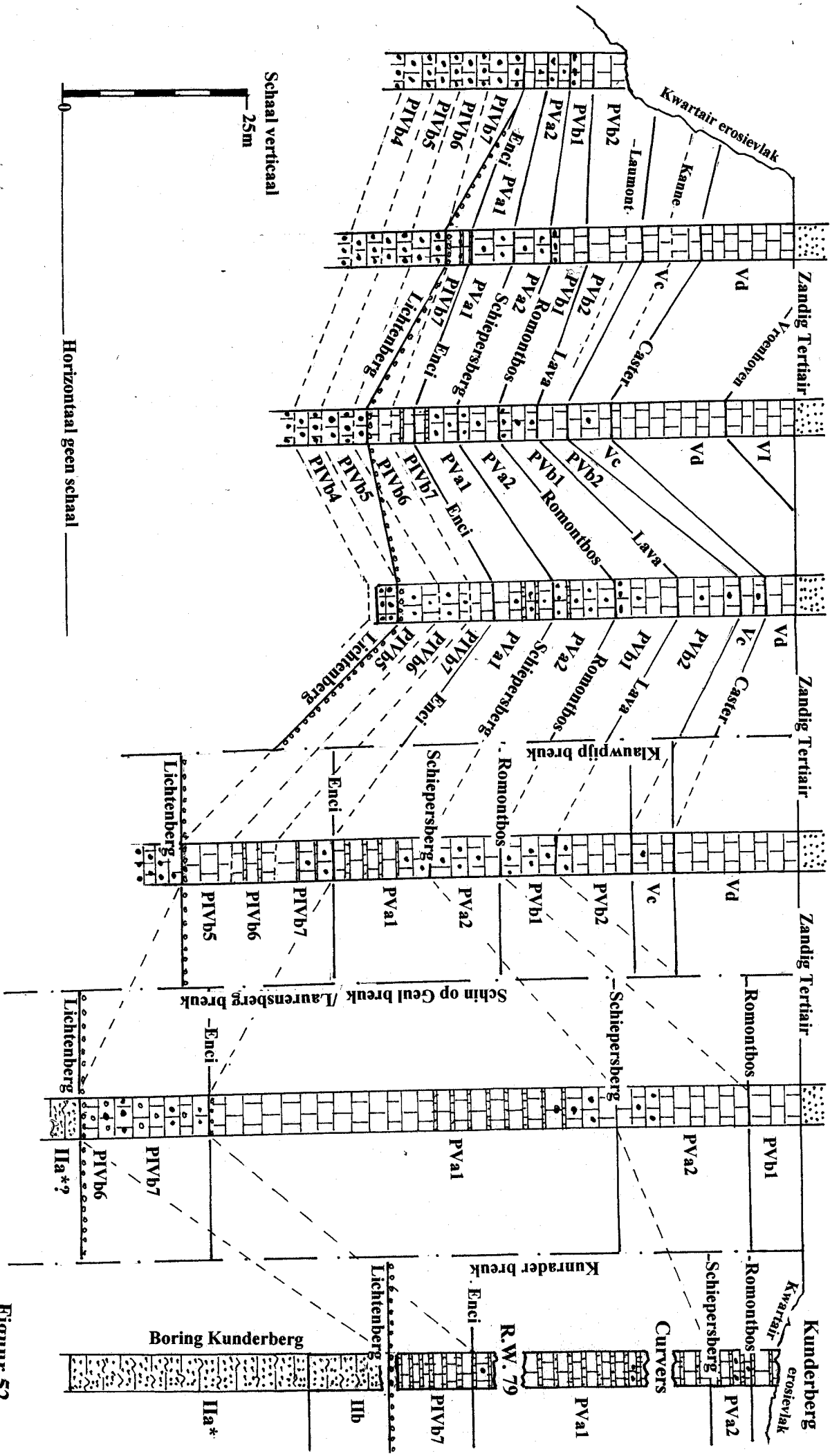
Maastricht
Kastanjelaan

't Rooth
(NEKAMID)

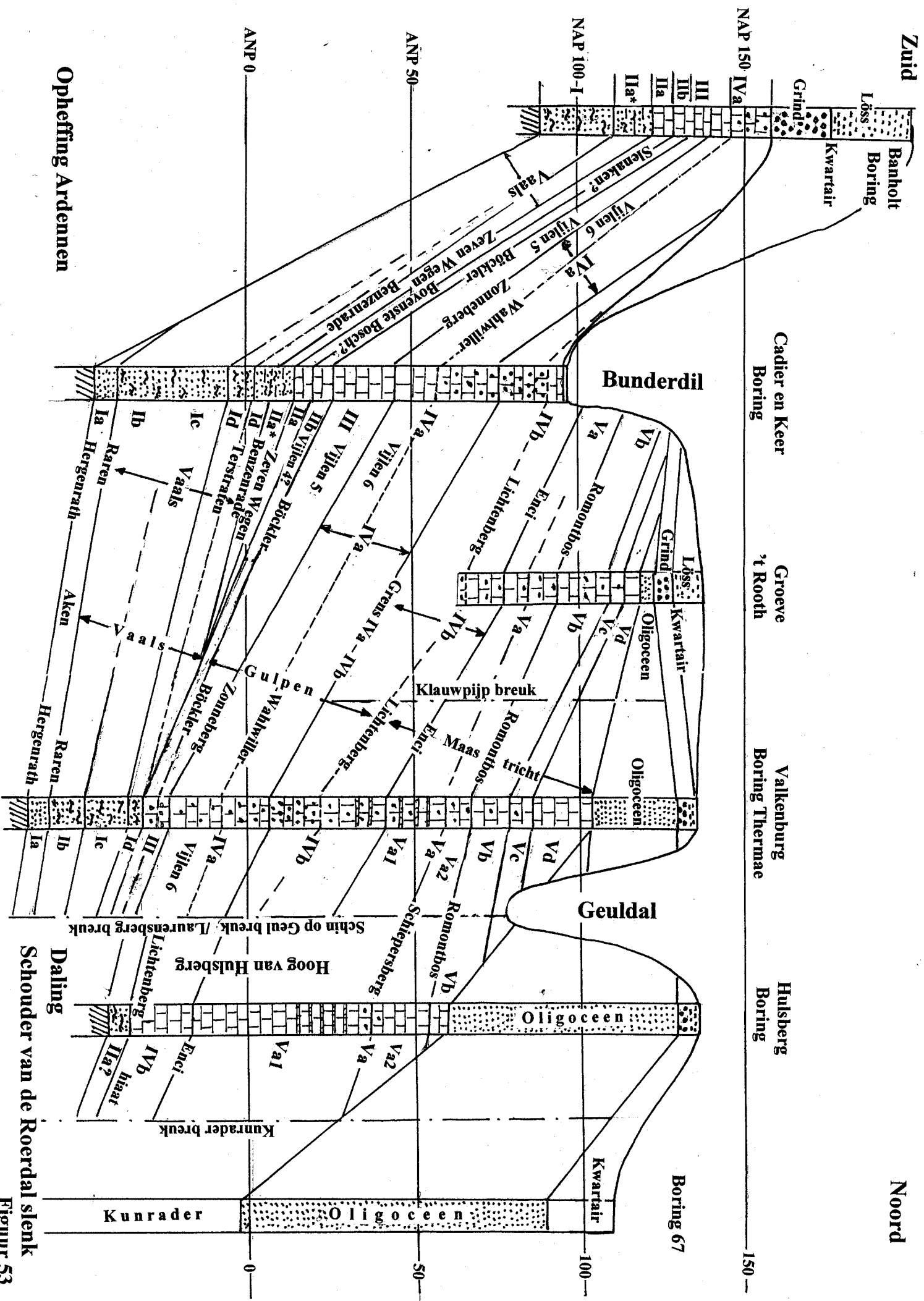
Valkenburg
boring Thermac

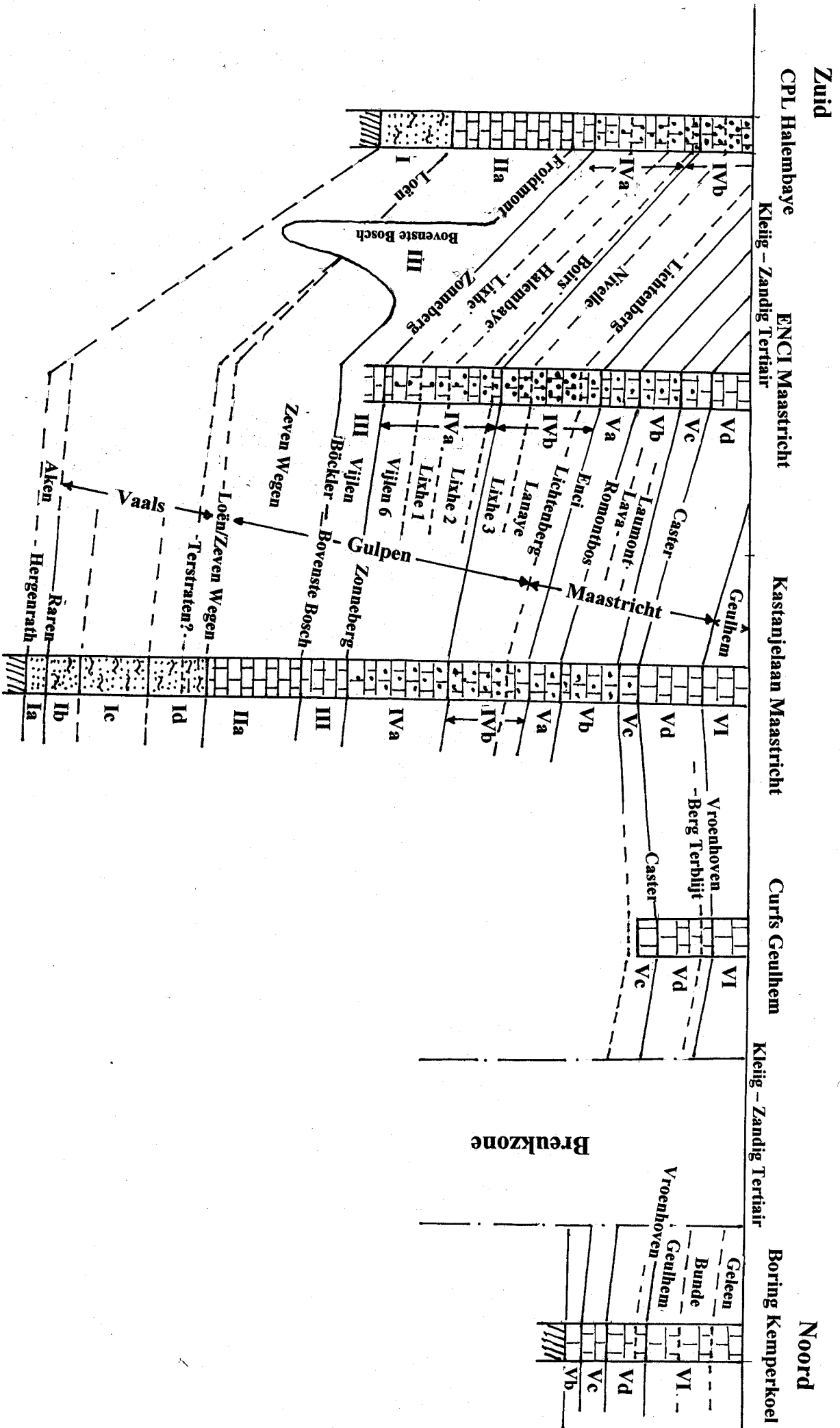
Hulsberg
boring

Kunrade
Benzenrade

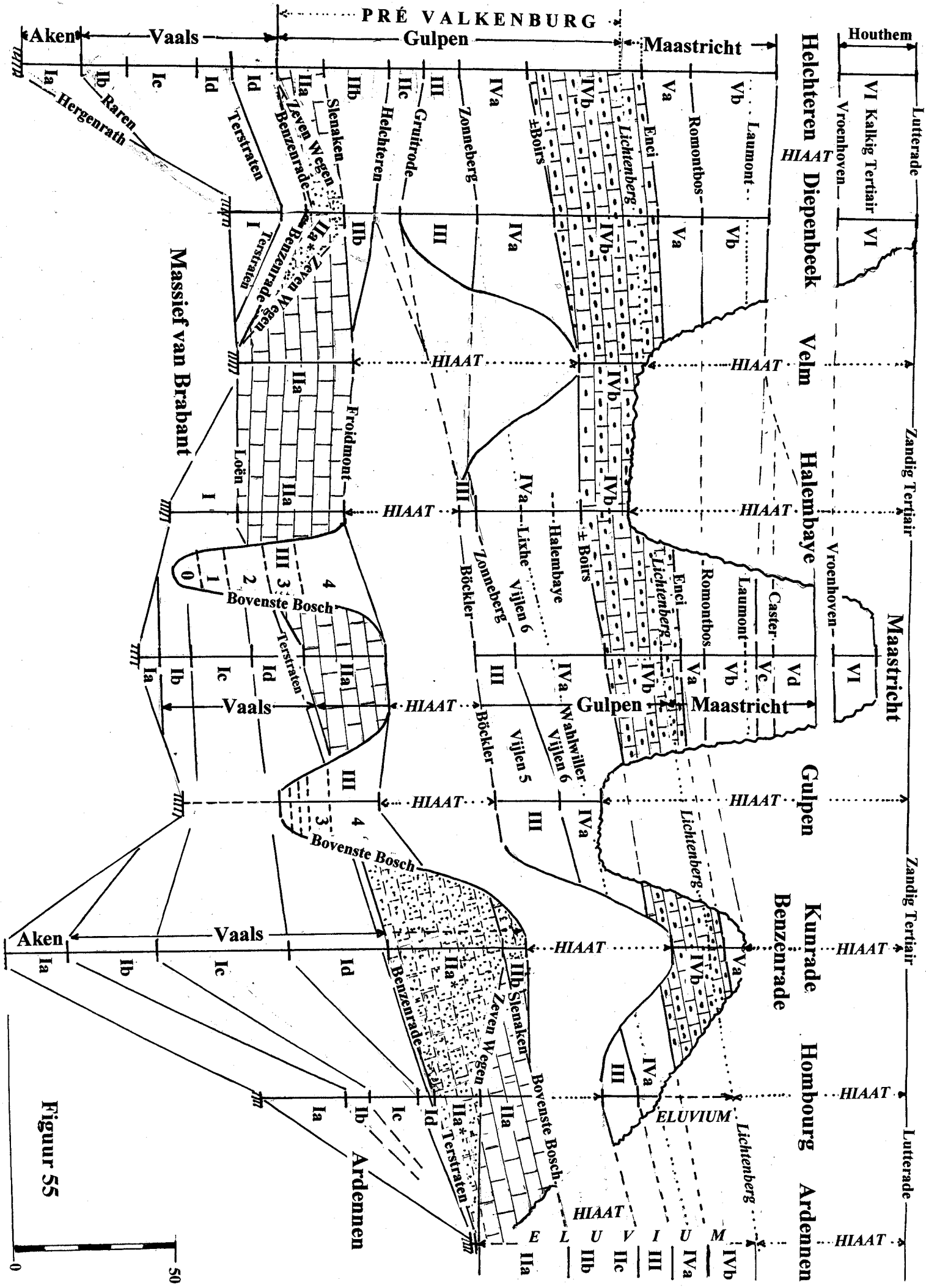


Figuur 52





Figuur 54



Figuur 55