

TEKTONIEK, KARST EN SPELEOTHEMEN IN DE KALKSTEEN VAN HET LAAT-MAASTRICHTIEN VAN ZUID-LIMBURG

J.M. Didden, Jan van Puyenbroeckstraat 40, 6231 NA Meerssen

Tien jaar is lang in de moderne wetenschap. Voor onze planeet daarentegen hebben tien jaar bijna niets te betekenen. Het is nauwelijks voldoende om de dikke gesteentelaag die aangroeit door ophoping van modder op de bedding van een ondiepe zee met enkele millimeters te vermeerderen. Aldus Nigel Calder in de aanhef van zijn boek "Rusteloze aarde" (CALDER, 1973). Tien jaar onderzoek in tientallen groeven (zie tabel I en II voor een overzicht van de onderzochte groeven) is ook een hele tijd in een mensenleven, maar veel te kort om alle geologische meesterwerkjes te zoeken en te bestuderen in de onmetelijk grote gangenstelsels welke zijn ontstaan door de onderaardse kalksteenwinning in Zuid-Limburg. Een begin is gemaakt, laten we het beschouwen als een inleiding tot het onderzoek van de karstfenomenen (fig. 1) in Zuid-Limburg.

TEKTONIEK

Het ontstaan en de ontwikkeling van de karst in de kalksteen van het Laat-Maastrichtien in Zuid-Limburg loopt parallel met de tektoni-

sche activiteiten in de ondergrond (fig. 2). Het verschuiven, breken, scheuren en zakken van het gehele pakket (KUKUK, 1951) bood het zakkende water de mogelijkheid holten in het gesteente verder uit te diepen, hetzij door erosie, hetzij door corrosie (TRIMMEL, 1968).



FIGUUR 1. Karstverschijnselen in een dagbouwgroeve.
(Herkomst en copyright van de figuren: J.Didden te Meerssen).

Bijna alle secundair ontstane karstverschijnselen in de kalksteen van het Laat-Maastrichtien in Zuid-Limburg, welke zijn blootgelegd door ondergrondse of bovengrondse steenwinning, zijn ontstaan in of bij breuken en scheuren in het gesteente, en ze kunnen in alle facies voorkomen. Deze in het verleden watervoerende breuken en scheuren zijn meestal een onderdeel van een diaklaasvormend gesteentepakket. De karstverschijnselen komen op elke diepte voor en zijn niet aan een bepaalde laag of horizon gebonden. De belangrijkste factoren die hebben bijgedragen tot de ontwikkeling van deze depressies zijn de erosie- en corrosie-verschijnselen (TRIMMEL, 1968); ze hebben tevens de grootste bijdrage geleverd tot de ontwikkeling van de karstverschijnselen.

De diaklazen zijn op hun beurt weer gescheurd in de gelaagde kalksteen-afzettingen. Deze verticale scheuren zijn ontstaan door zijwaartse druk van het gehele pakket en vertonen verschillen die het gevolg zijn van verschillen in de samenstelling en de mate van kristallisatie of verharding van het gesteente. Dit verschijnsel is het beste te zien in de Sibbergroeve. De gehele groeve is uitgezaagd onder een harde kalksteenbank (de z.g. hardground) van gemiddeld 40 cm dikte en zit vol verticale scheuren of barsten, die het gevolg zijn van een te grote zijwaartse druk of spanning van het gebergte (BATES & KIRKALDY, 1976). De scheuren - crevasses - zijn ideale oxydatiezones van ijzer en mangaan, die met hun kleurenpracht zijn te bewonderen, daar waar de laag is onderbroken (KUKUK, 1951). Daarentegen zijn de dalwandbreuken van recentere oorsprong. Deze breuken in de kalksteen (fig. 2) kunnen ontstaan bij steile hellingen, ja zelfs bij weginsnijdingen, waarbij meestal een onstabiele ondergrond, bijv. een tussenliggend klei- of fossilgruislaagje aanwezig is. Deze onder een hoek van gemiddeld 70 graden liggende breuken of afschuivingen zijn nog steeds actief. De helling van deze breuken loopt steeds naar het laagste punt in

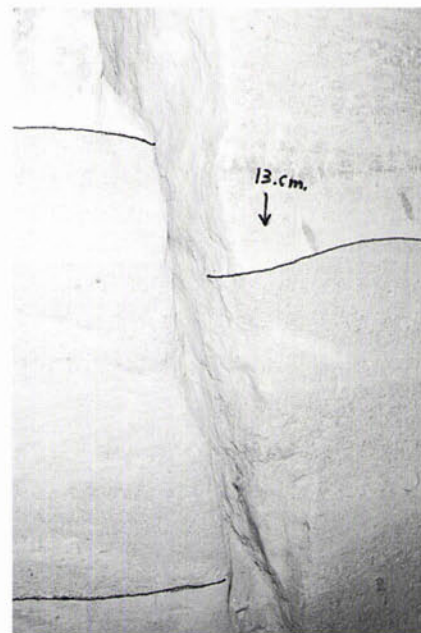
het landschap. Een prachtig voorbeeld is te zien in de Fluwelengroeve te Valkenburg, waar dankzij de ondergrondse steenwinning enkele van deze breuken te volgen zijn.

De kleine verschuivingen in het gesteente-pakket zijn ontstaan in een zeer jonge zeebodem (nog geen vast gesteente) en zijn later niet breukvormend. De verschuivingen zijn in het verhardingsproces opgenomen (fig. 3). Het ontstaan van deze zeer interessante verschuivingen is waarschijnlijk toe te schrijven

aan de enorme aardbevingen op het einde van het Laat-Maastrichtien, toen het Noord-atlantische vulkanische gebied tot ontwikkeling kwam.

MINERALEN

Sporen van uitbarstingen uit die tijd zijn terug te vinden in enkele mineraalrijke kleilaag-



FIGUUR 3. Verschuiving.

TABEL I. Lijst van onderzochte ondergrondse kalksteengroeven.

Naam van de groeve	dichtsbij gelegen dorp of stad
Groeve Groot Welsden	Welsden
Cannerberggroeve	Maastricht
Sint Pietersberg	Maastricht
Fallenberggroeve	Maastricht
Wijngaardsgroeve	Maastricht
Keerderberggroeve	Cadier en Keer
Bemelerboschgroeve	Bemelen
Sibbergroeve	Sibbe
Vallenberggroeve	Sibbe
Flesscheberggroeve	Sibbe
Lemmekenskoel	Sibbe
Valkenburgergroeve	Valkenburg
Groeve de Heide	Valkenburg
Daelhemergroeve	Valkenburg
Fluwelengroeve	Valkenburg
Roebroekgroeve	Valkenburg
Groeve onder de ruïne	Valkenburg
Groeve achter Paterklooster	Valkenburg
Groeve de Leeuw	Valkenburg
Geulhemergroeve	Geulhem
Studentengroeve	Geulhem
Barakkengroeve	Geulhem
Musschenputgroeve	Geulhem
Bronsdalgröve	Geulhem
Koepelgröve	Geulhem
Amorgroeve	Geulhem

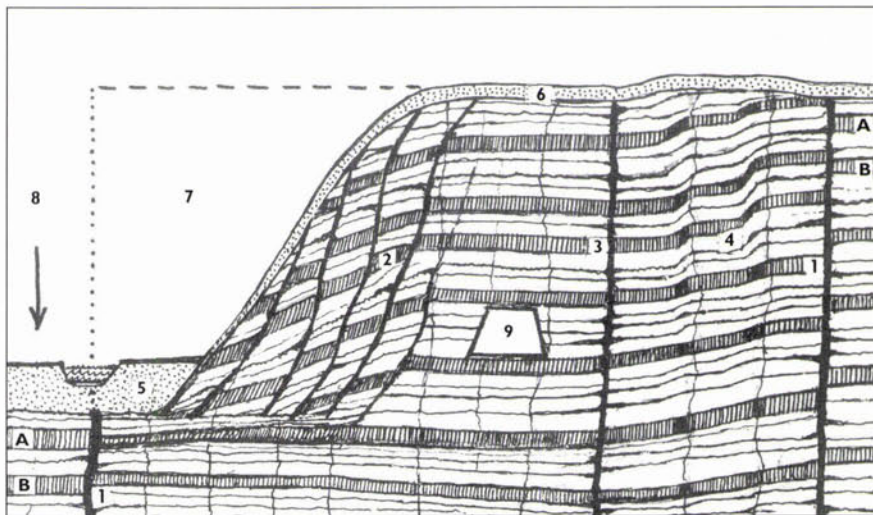
NB.: De nummering van de onderaardse groeven, die door A. van Wijngaarden in K.N.N.V.-mededelingen nr. 71 is gepubliceerd, wordt in dit artikel niet gebruikt. De nummering van de onderaardse kalksteengroeven moet in zijn geheel worden herzien en aangevuld.

TABEL II. Overzicht van onderzochte dagbouwgroeven.

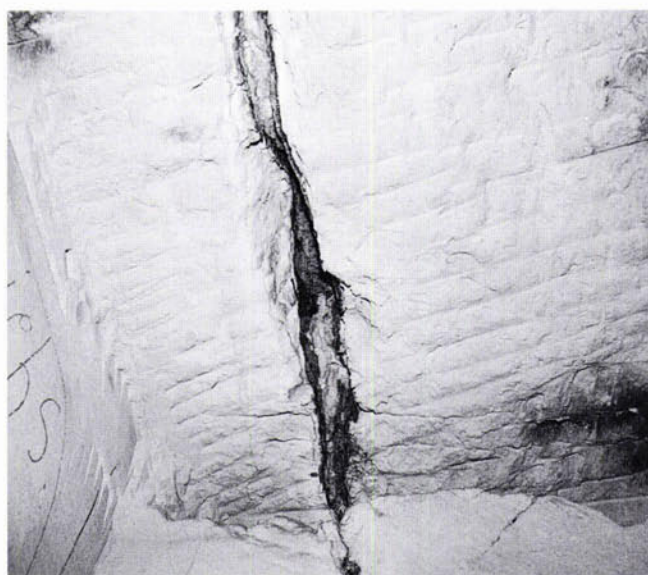
Onderzochte dagbouwgroeven binnen de kalksteenfacies:	Onderzochte dagbouwgroeven buiten de kalksteenfacies:
Groeven te	Groeven te
* Gulpen	* Maastricht
* Kunrade	* Meerssen
* Ransdaal	* Spaubeek
* Berg en Terblijt	* Rimbürg
* Geulhem	* Epen
* Rijkholt	* Voerendaal
* Valkenburg	* Klimmen
* Maastricht	
* Cadier en Keer	

FIGUUR 2. Geïdealiseerd schema van de tektoniek in de kalksteen van het Laat-Maastrichtien van Zuid-Limburg.

1: Storingen (tektonisch) 2: Dalwandbreuken 3: Breuk (plaatselijk) 4: Kleine verschuivingen 5: Beekafzettingen 6: Kwartaire afzettingen 7: Geërodeerd 8: Verzakt, zie onderbroken lagen A en B. 9: Eventuele ondergrondse steenwinning.

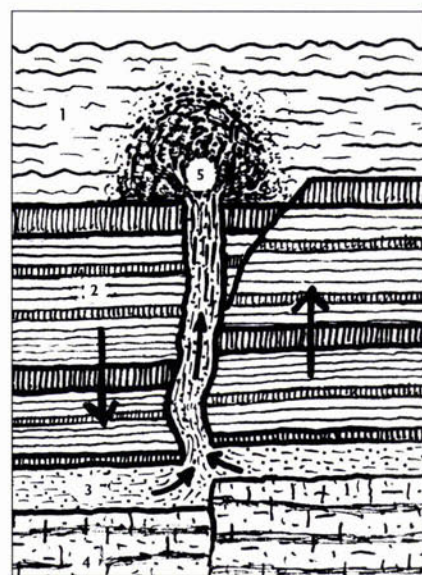


FIGUUR 4. Varven in de Montmorillonietrijke klei-afzettingen op het eind van het Laat-Maastrichtien.



FIGUUR 5.
Breuk, opgevuld met
het mineraal allofaan.

FIGUUR 6.
Schematische
voorstelling van het
ontstaan van een
onderzeese zandspij-
ter tijdens een beving
op het einde van het
Laat-Maastrichtien.
1: Zee 2: Recente
slibafzettingen 3:
Zanderig slib 4: Iets
verharde afzetting 5:
Laag 3 gedraagt zich
tijdens een beving als
een vloeistof; door de
druk wordt het
mengsel naar boven
geperst.



FIGUUR 7. Geknikte belemniet in de voorlaatste afzetting van het Laat-Maastrichtien.

jes van twee groeven bij Geulhem (fig. 4). Op de kleilaagjes komt het tertiair tot ontwikkeling. De samenstelling en de dikte van de laagjes zijn per vierkante meter verschillend. De afzettingen zijn chaotisch en bestaan voor ongeveer 80% uit het mineraal Montmorilloniet, dat is ontstaan door verwerking of omzetting van vulkanische as in de zeebodem en afkomstig is van de vulkanische gebieden van Schotland, Ierland en Engeland.

De klei bevat veel mineralen en metalen, o.a. silicium, kalium, aluminium, titaan en veel kleine deeltjes vulkanisch glas, zo bleek uit analyses door DSM Laboratorium in 1993. In de voet van de kleilaagjes worden veel geoxydeerde ijzerverbindingen aangetroffen welke door het calciumcarbonaat zijn opgenomen (BREULS & HULS, 1991). De afzetting en

de oxydatie van de kleilaagjes in het kalksteenpakket is een logisch gevolg van deze vulkanische uitbarstingen met enorme asregens bij een lang aanhoudende westenwind en afzetting in een ondiepe zee. Onder de klei zijn bolvormige concreties gevonden, welke bestaan uit het mineraal allofaan met een ingesloten aardachtige oker, waarin ook nog insluitingen van kobalt zijn gevonden.

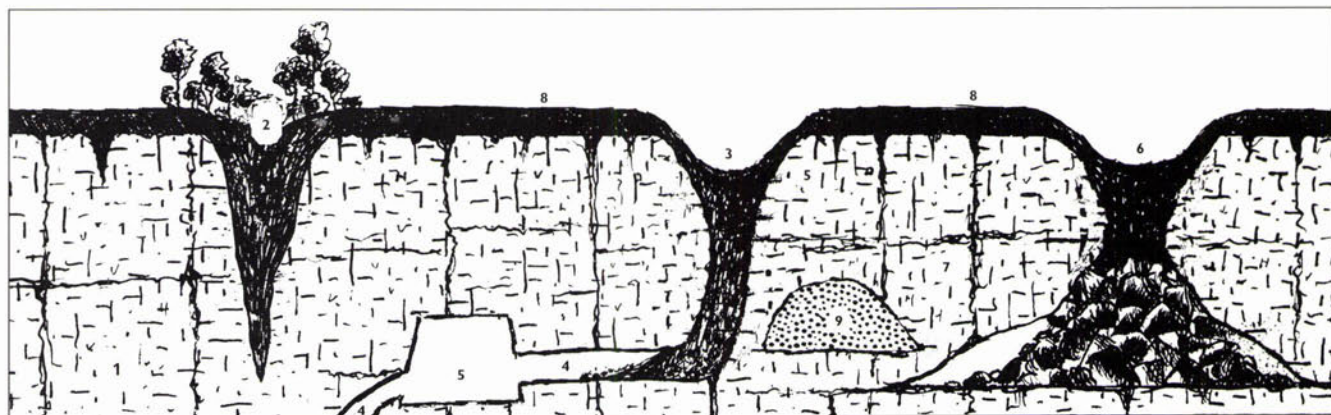
Verder zijn tijdens het onderzoek pal onder de reeds besproken kleilaagjes enkele breuken gevonden, die als het ware aan elkaar zijn gecementeerd met het mineraal allofaan (fig. 5). Hierbij werd ontdekt dat deze kristallisatie als gevolg van de capillaire werking in kleine scheurtjes moet hebben plaatsgevonden. De herkomst van dit mineraal moet zeer waarschijnlijk gezocht worden in de boven-

liggende kleilaagjes. Verder is het theoretisch niet ondenkbaar, dat een gedeelte van het uit de kleilaagjes opgeloste silicium dieper in de facies vuursteen heeft afgezet. Bij de allofaanafzettingen wordt stevast het mineraal halloysiet gevonden, hetgeen duidt op paragenese van beide mineralen.

AARDBEVINGEN

Sporen van twee grote bevingen zijn in de laagjes terug te vinden waarbij bij de laatste beving de meeste energie is vrijgekomen. De beving (Rayleigh-golf-type) had een rollende beweging (als een oceaangolf) waarbij al vastter gesteente met recentere afzettingen op de zeebodem als het ware in een elliptisch patroon werd omgewoeld, sporen van enorme vloedgolven achterlatend. Van deze beving zijn ook fossiele zandspijters (fig. 6) gevonden. De kleilaagjes hebben de aandacht gekregen door de vermeende aanwezigheid van iridium afkomstig van een meteorietinslag op het einde van het Laat-Maastrichtien (catastrofe-theorie).

Zeer interessant zijn de geknikte belemnieten (fig. 7) in de laatste afzetting van het Laat-Maastrichtien pal onder de kleilaagjes. Het in stukken breken van deze fossielen is waarschijnlijk te verklaren door grote plaatselijke drukverschillen in een nog niet verhard gesteente tijdens één van de bevingen (KAVASCH, 1976). De in stukken gebroken belemnieten zijn tijdens het verhardingsproces van het gesteente weer aan elkaar gecementeerd met calciumcarbonaat.



FIGUUR 8. Schematische voorstelling van karstdepressies in de kalksteen van het Laat-Maastrichtien van Zuid-Limburg. 1: Diaklazen 2: CO₂-doline 3: Erosie-doline (uitspoeld) 4: Uitspoeling (aangesneden) 5: Gang (ondergrondse steenwining) 6: Instortingsdoline 7: Kruispunt diaklazen 8: Kwartaire afzettingen 9: Regolith.

FIGUUR 9. Eindpunt van een CO₂-doline, op ± 25 meter diepte, in de kalksteen.

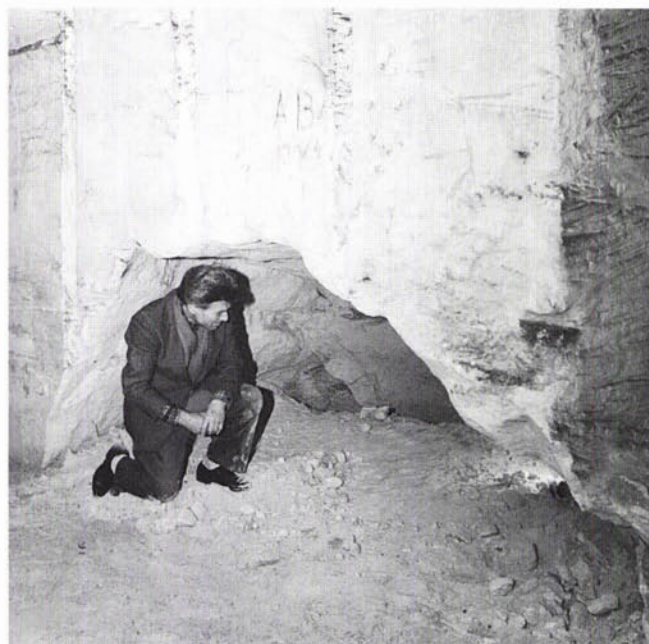


DE KARST

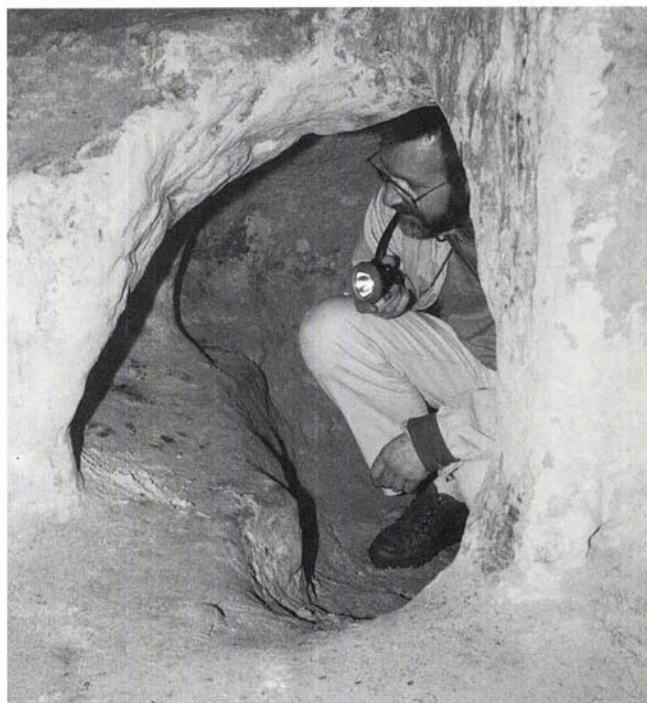
In ons gebied zijn aan de oppervlakte zichtbare karstverschijnselen een grote zeldzaamheid. Men kan onder meer de abris en de windgrotjes welke in kalksteenwanden zijn ontstaan hiertoe rekenen. Een abri is feitelijk een halfgrot, ontstaan in een steile helling bij een beek of rivier, waarbij door uitspoeling een overdekte holte van enkele meters diep in het gesteente ontstond. Bij Valkenburg en Rijckholt zijn de mooiste voorbeelden te vinden van deze depressies.

Windgrotjes zijn meestal te vinden in de steile of rechte kalksteenwand die op het zuid-

westen ligt. Ze zijn ontstaan door winderosie en meestal koepelvormig (HILLEGERS, 1982). Ze zijn niet groot van vorm en omvang, maar beslist het bestuderen waard. De mooiste voorbeelden zijn te vinden bij de kasteelruïne in Valkenburg en bij Bemelen. In Zuid-Limburg liggen de kwartaire afzettingen op de kalksteen en is veel van de kalksteen redelijk oplosbaar in water. Het CO₂-gehalte van het water speelt bij de oplossing van de kalksteen een grote rol (HABE, 1982). Het naar beneden meenemen van kalk door koolzuurhoudend water is de oorzaak van het voorkomen van de ronde depressies, die in kalksteengebieden gevonden worden, de z.g. dolines (fig. 8).



FIGUUR 10. Ingestorte karstholte, tevens beginpunt van een instortingsdoline.



FIGUUR 11. Erosieprofiel met kolkpaten.

De CO_2 -doline (zie glossarium) loopt in een trechtervorm - meestal loodrecht naar beneden - op niets uit. Dit verschijnsel is het gevolg van het oplossen van kalksteen door het hoge CO_2 -gehalte van het binnendringende water. Deze doline-variant is niet aan breuken of scheuren in het gesteente gebonden in tegenstelling tot de andere varianten van de doline (fig. 9). De depressie is in zijn ontstaansgeschiedenis gedeeltelijk afhankelijk van een dicht plantendek aan de oppervlakte waar door oxydatie koolzuur gevormd en door regen afgevoerd wordt (KUKUK, 1951). Mooie dolines in kalksteen zijn te bewonderen in het karstveld bij Billinghamhuizen, waar langs een bospad een reeks verzakkingen in het Gulpens krijt te zien is.

Naast CO_2 -dolines zijn erosie- en instortingsdolines te vinden in de facies. De erosiedoline is het directe resultaat van erosie in het gesteente door binnendringend water. Ze lijken enigszins op ponoren of verdwijngaten en zijn meestal geconcentreerd op kruispunten van diaklazen (TRIMMEL, 1968). Instortingsdolines ontstaan, wanneer het plafond van een dicht onder het oppervlak liggende karstholte geheel of gedeeltelijk instort (fig. 10). De laatste zijn tamelijk zeldzaam en kunnen alleen daar gevonden worden, waar ondergrondse steenwinning of een dagbouwgroeve de depressie heeft blootgelegd. In 1992 werd een ingestorte karstholte in een ondergrondse groeve ontdekt, opgevuld met pleistocene zanden. De doline van de instorting is op het maaiveld nog niet gevonden.

In het verleden watervoerende erosiedolines hebben in de kalksteen smalle, ellipsvormige gangen uitgeslepen, soms tientallen meters lang, waarvan de hoogste ca. 1.75 m hoog en 0.80 m breed is. Deze door het water uitgespoelde gangen zijn te vinden in de Sint Pietersberg, in de Studentengroeve te Valkenburg en in de Geulhemmergroeve. In de uitspoelingsgang in de laatstgenoemde groeve zijn in een flauwe bocht zelfs enkele kolk-gaten terug te vinden, wat erop duidt dat het water hier met kracht door het ellipsvormig profiel in de kalksteen gestroomd heeft (fig. 11). Bijna alle depressies zijn later opgevuld met pleistocene en kwartaire sedimenten.

DE AFWATERING

De afwatering van een karstgebied via bronnen met een groot debiet is nog onvoldoende



FIGUUR 12. De zaal met ponoren in de karst van Craubeek, volgens Dortu.

de onderzocht (BAUER, 1969). Niettemin zijn er twee bronnen die tot de verbeelding spreken en de moeite van het nader bekijken waard zijn. Beide bronnen liggen in sterk gekloofde Kunrader facies. De Schoonbron bij Schin op Geul dagzoomt uit de genoemde kalksteen-facies. De kalksteen ligt tegen kleiige afzettingen uit het Oligoceen aan die geen water doorlaten. Dit wordt veroorzaakt door de storing van Schin op Geul. Het water van deze bron moet in de loop van duizenden jaren ruimtes of echte grotten in de afzetting hebben geërodeerd die nog wachten om ontdekt te worden.

De tweede bron, de Zevensprong bij Klimmen, ontspringt bij het gehucht Craubeek. Deze bron of bronnen heeft/hebben het grootste debiet van alle karstbronnen en verzorgt momenteel éénderde van Zuid-Limburg met water, dat gekenmerkt wordt door een zeer hoog kalkgehalte.

De afwatering van deze facies vindt ongeveer onder dezelfde omstandigheden plaats als de Schoonbron bij Schin op Geul, maar het dagzomen van het water wordt veroorzaakt door een andere storing: die van Kunrade. De bron is zeer interessant in haar ontstaansgeschiedenis, omdat ze haar dagzoom eenmaal en misschien wel twee keer heeft verlegd voordat de huidige locatie bereikt werd. De oorzaak van deze gebeurtenissen moet worden gezocht in de Oligocene afzettingen welke tegen de facies aanliggen en in het nog steeds actief zijn van de storing.

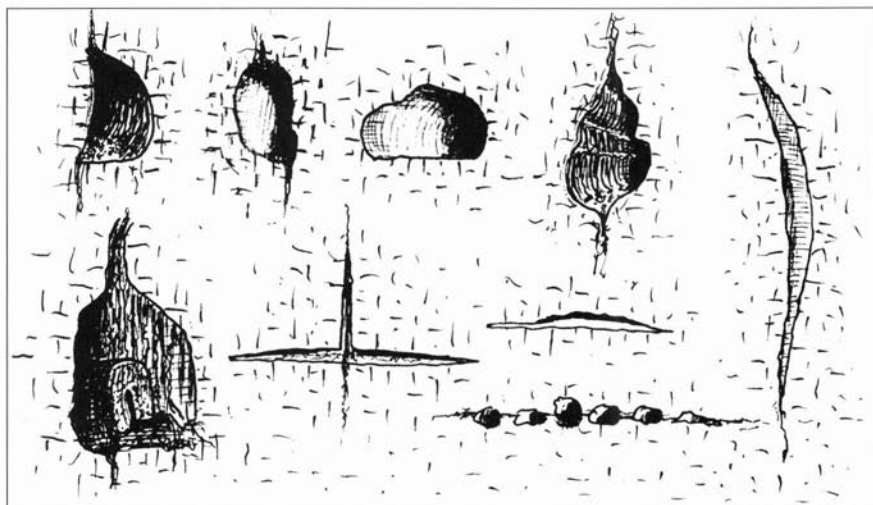
Eén van de bekende drooggevallene dagzomen is de laatste decennia verschillende keren in de belangstelling gekomen als het "Auvermennekeslook". Deze drooggevallene dagzoom moet echter nog steeds onderzocht worden. Volgens beschrijvingen uit het verleden hebben we hier waarschijnlijk te maken

met echte karstgrotten. Op 12 februari 1917 vertelt een zekere Horsman aan Prof. Goossens het volgende, dat hij van de toen nog in functie zijnde onderwijzer Dortu had gehoord. Die vertelde, dat hij als jonge misdienaar (rond 1900) op een Paasmaandag met kapelaan Oliviers en andere misdienaars in het z.g. "Auvermennekeslook" was geweest. Laten we de onderwijzer Dortu het woord geven:

"De ingang was erg eng, ging bergaf en wij kropen rugwaarts naar binnen. Toen kwamen wij in een tamelijk groot hol, hoog ca. 2 á 3 m lang en ca. 5 m breed. In dit hol bevonden zich 5 tot 6 gaten (fig. 12), openingen van gangen in verschillende richtingen. In een van die gangen waren de kapelaan en de misdienaars op handen en voeten doorgekropen en Dortu meende, dat zulks wel 400 m ver was geweest. Zij konden niet rechtop staan omdat het er te laag was. Het leek als een enge buis waar wij inzaten en het ging maar steeds bergop en bergaf. Wij zijn maar in een gang geweest", aldus Dortu (PLUYMAEKERS, 1983). De beschrijving van de karst is natuurgetroouw, alhoewel de gekropen afstand wel wat overdreven schijnt te zijn. Bij een recente onderzoek is ontdekt dat de karst zich heeft ontwikkeld in een breuk, welke later gedeeltelijk is opgevuld met oligocene zanden.

Zeer interessant zijn de regolithische afzettingen in de facies. De toenmalige blokkbrekers werden plaatselijk soms geconfronteerd met losse afzettingen in de kalksteen welke gewoon met de schep verwijderd konden worden. Hebben we hier te maken met de oudste karstverschijnselen of een onbekende ontwikkeling van de gravitatie?

Theoretisch is het mogelijk, dat een holte in een al vast gesteente, later wordt opgevuld



FIGUUR 13. De meest voorkomende profielvormen in de kalksteen van het Laat-Maastrichtien: "beginstadium van een ruimte-ontwikkeling".



FIGUUR 14. Karren op een wand van een door corrosie uitgediept profiel.

met jongere afzettingen uit de facies. Bij deze ontwikkeling kan in een gunstig geval de losse inhoud van een opgevulde ruimte van de gebergtedruk gespaard blijven waardoor geen verharding optreedt. Het onderzoek van deze afzettingen is nog niet afgesloten.

PROFIELEN

Depressies, die door erosie zijn ontstaan zijn naar verhouding zeldzaam, vooral op grote diepte in de facies. De door corrosie ontstane depressies komen vaker voor en zijn ontstaan waar het gesteente in aanraking is gekomen met koolzuurhoudend, zakkend of

stilstaand water (fig. 13). Dit CO_2 -kooldioxyde- is afkomstig uit de lucht en het meest van oxyderende humusstoffen van een dicht plantendek op de kalksteen (HABE, 1982). Deze vormenrijkdom van door corrosie ontstane ruimtes is beperkt. De meeste zijn klein van omvang, maar ze dragen allemaal de sporen van het dalen en stijgen van het oplossend vermogen van het koolzuurhoudende water (FRANKE, 1974). Of de gravitatie in deze ontwikkeling een rol heeft gespeeld is niet met zekerheid bekend, maar enkele gevonden depressies wijzen wel in die richting (WALTHAM, 1976).

Vele van deze ruimtes hebben geribbelde wanden (zgn. karren) die zijn ontstaan door het langs de wand links en rechts aflopende koolzuurhoudende water met in het midden van de ruimte soms een iets hoger onopgelost gedeelte (fig. 14). Enkele door de corrosie iets uitgeruimde breuken hebben een cel-, net- en golfstructuur op de wanden, waarbij moet worden opgemerkt, dat de celstructuur zich hoofdzakelijk heeft ontwikkeld in een fossielrijke laag. De golfstructuren worden in de Duitse vakliteratuur vaak gravitatiekolken genoemd (TRIMMEL, 1968).

MENGCORROSIE

Plaatsen, waar door vermenging met water met verschillende hardheden koolzuur vrijkomt, bieden de meeste kans een holle ruimte in de kalksteen uit te prepareren. Deze door mengcorrosie ontstane depressies worden vrij vaak gevonden en zijn ontstaan boven het grondwater niveau.

De verhoogde oplossende werking van het vrijgekomen koolzuur op de kalksteen heeft plaatselijk prachtige depressies uitgerepareerd, meestal in het dak van de door corrosie ontstane ruimtes. Hierbij moet worden opgemerkt, dat de meeste door mengcorrosie ontstane ruimtes in tegenovergestelde richting-naar boven- zijn ontwikkeld en uitgediept (TRIMMEL, 1968).

De vormenrijkdom is beperkt. Enkele van deze in het dak door mengcorrosie ontstane depressies hebben een celstructuur met oplossingen van verschillende diepten of hoogten, die soms door schelpen of schelpgruis in de ontwikkeling werden geremd of afgeboogen (fig. 15).

Bij deze zeer actieve oplossingszones zijn holle of kokervormige depressies ontdekt, die waarschijnlijk doorlopen tot aan de



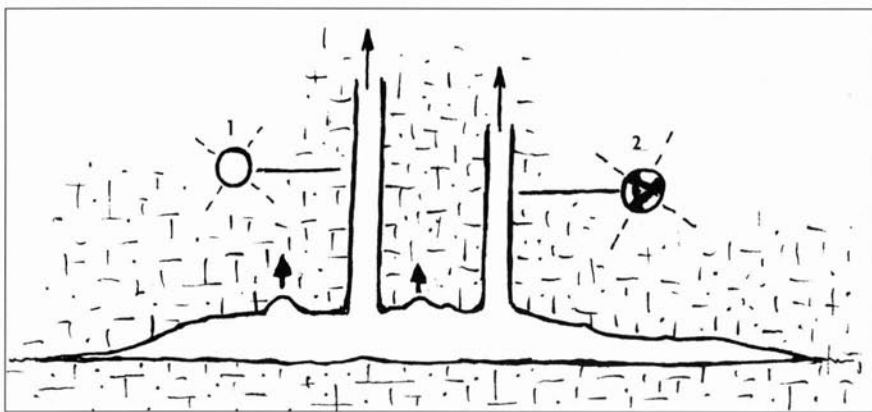
FIGUUR 15. Door mengcorrosie ontstane celstructuur aan het dak van een door corrosie uitgediepte ruimte.

kwartaire afzettingen. Deze door mengcorrosie opgeloste kokers van gemiddeld 4 tot 30 cm doorsnede blijven in hun ontwikkeling dezelfde doorsnede behouden (fig. 16). Enkele hebben een ringstructuur, wat duidt op ritmische oplossing van verticaal naar boven lopende kokers. Door de ondergrondse steenwinning zijn veel van deze depressies weggezaagd. De toenmalige blokkeers moesten vaak van werkrichting veranderen, daar waar de ontwikkeling van de karst het grootste was.

Soms vindt men de sporen in een uitgezaagde gang terug, van een door mengcorrosie ontstane tamelijk grote ruimte, waar zich aan het dak een verzameling kokers heeft ontwikkeld. Restanten van deze depressies behoren tot de grote zeldzaamheden. Ze zijn kenbaar aan een aantal bij elkaar behorende in de lengte gehalveerde kokers die iets hoger bij elkaar komen, waarvan er één waarschijnlijk naar boven gaat (fig. 17). Het verloop van deze ontwikkeling staat echter nog ter discussie. Recent werden enkele door mengcorrosie horizontaal ontwikkelde depressies in de directe omgeving van CO₂-dolines ontdekt, wat duidt op een wisselende hardheid van het doorzakkende, CO₂-houdende water in de dolines. Het stratigrafisch profiel van deze ontwikkelingen toont aan, dat zij zich in de facies horizontaal hebben ontwikkeld en wel in plaatselijk in dichtheid variërende en daardoor slecht waterdoorlatende lagen.

SPELEOTHEMEN

In 1993 werd ik erop opmerkzaam gemaakt, dat een kleine overdekte kalksteengroeve, gelegen in een steile helling tegenover een brouwerij te Valkenburg, een watervoerende breuk bezat. Het eerste onderzoek in deze kleine groeve - met een ingang op het noorden - was verrassend. Via een onderbroken dalwandbreuk loopt het water van bijna dakhooft in de kleine overdekte groeve naar binnen. Begrijpelijkerwijze was de eerste vraag: waar komt dit water - ca. 8 liter per minuut - vandaan? Bij navraag bleek, dat ongeveer twintig meter hoger in de helling op een klein plateau een restaurant aan een wandelpad had gelegen. Bij de afbraak van dit pand enkele jaren geleden had men de waterleiding waarschijnlijk onvoldoende afgesloten. Dit water zakt via de deklaag in een dalwandbreuk in de kalksteen naar beneden om weer



FIGUUR 16. Een door mengcorrosie opgeloste ruimte met verticale kokervorming. 1: rond profiel 2: sterprofiel.



FIGUUR 17. Restant van een door mengcorrosie opgeloste grote ruimte met kokerontwikkeling naar boven.

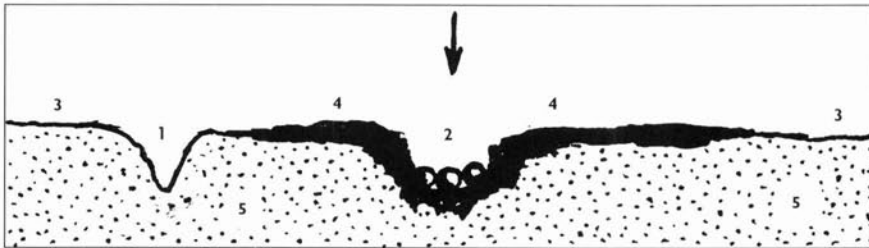
te voorschijn te komen in de kleine groeve lager in de helling, waar het weer naar buiten loopt om in het hellingpuin te verdwijnen. De groeve (zonder naam) is door ons als Groeve de Leeuw ingeschreven. De kleine groeve bleek een ware schatkamer te zijn van sinterafzettingen: op een wand, op de vloer en in het water van enkele sinterbekkens (fig. 18). Het begin van deze ontwikkeling moet worden gezocht in de bovenloop van het kleine stroompje water. Het reeds een weinig calciumcarbonaathoudend water moet - aangenomen dat het leidingwater is - in het eerste gedeelte van de tocht naar beneden door een humuspakket, gevormd door een dicht plantendek. Daarbij neemt het water koolzuur op. Voor het water beneden de groeve inloopt, treedt in de bovenloop van het stroompje nog oplossing door corrosie op. Door het ontwijken van het koolzuur vindt in de groeve kristallisatie plaats. Het aflopende, Ca-houdende water heeft ter plaatse prachtige versinteringen afgezet, die qua

form authentiek zijn en overeenkomstig met die in echte karstgrotten. Een enkele verkleuring van de sintervorming duidt op opgeloste mineralen, o.a. ijzer, dat door het water in het afgelegde traject zal zijn opgenomen (HABE, 1982). Op de vloer in een sinterdek werd een negatieve stalagmiet ontdekt (fig. 19), waarin het flink druppelende water pie-solithen had gevormd (fig. 20). Het betreft door calciet in lagen opgebouwde kogeltjes met een doorsnee van ca. 8 mm. Enkele hebben in de kern een heel klein steentje, van waar uit ze zijn ontstaan. Anderen bestaan in hun geheel uit calciet, maar zullen in hun ontstaansgeschiedenis ook wel een heel klein korreltje calciet als gangmaker hebben gehad (TRIMMEL, 1968).

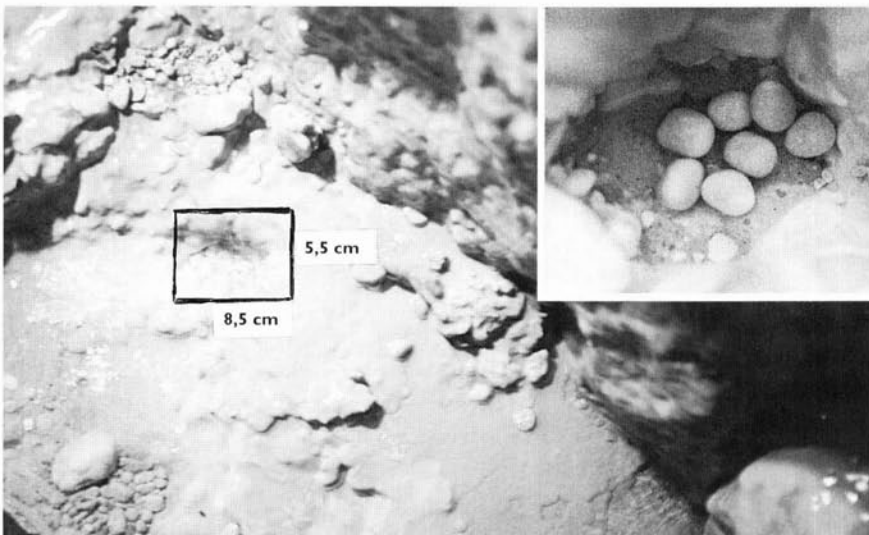
Verder is bij het onderzoek een tiental brokjes kalksteen gevonden, die geheel bedekt zijn met een tamelijk dikke korst calciet. Op de vloer in de groeve hebben zich enkele sinterbekkens ontwikkeld, die gevoed worden met het water dat via de sinterwand en



FIGUUR 18. Sinterbekken met sinterwallen.



FIGUUR 19. Schema negatieve stalgmiet. 1: inslaggat in los sediment 2: negatieve stalgmiet met piesolithen in de druppelzone 3: spatzone 4: sinterdek (calciet) 5: los sediment.



FIGUUR 20. Sinterdek met negatieve stalgmiet en piesolithen (zie foto-inzet).

het sinterdek loopt om vervolgens over de laatste sinterwal naar buiten te lopen (WALTHAM, 1976). In het eerste sinterbekken hebben zich onder water stengelachtige formaties van calciet afgezet. Het laatste sinterbekken bevat veel minder calcietafzettingen dan het eerste, wat duidt op de afname van het calcietafzettingen van het water in dit laatste bekken. Bij onderzoek in de spatzone werden door

het water gepolijste, parelmoerachtige tabletjes gevonden, welke uit aragoniet bestaan. De oorzaak voor het ontstaan van deze kleine aragoniet-tabletjes in de actieve spatzone moet worden gezocht in het microklimaat van de kleine groeve. Is de warme lucht (die via het plafond naar binnen stroomt, om vervolgens afgekoeld over de vloer weer naar buiten te gaan) afgekoeld tot minder dan

ca. 14 graden, dan zal geen vorming van aragoniet in de spatzone plaats vinden. Met andere woorden: het ontstaan van aragoniet in deze kleine groeve is een zomerse aangelegenheid (TRIMMEL, 1968).

Doorgezaagde versinteringen, welke bestaan uit calciet, vertonen een ritmische opbouw. Ze gelijken op jaarringen, waarin het klimatologisch verloop in de kleine groeve te bepalen is. Enkele kleine klei-afzettingen in de groeve zijn tijdens het onderzoek van de lijst afgevoerd. De klei was lichtelijk verontreinigd door menselijk afval.

DRUIPSTEEN

Druipsteen is nog niet veel gevonden, maar toch zijn op enkele plaatsen kleine formaties ontdekt. Ze zijn niet oud en zijn pas tot ontwikkeling gekomen toen ruimtes ontstonden bij de onderaardse steenwinning. De aan het dak ontwikkelde sintervormingen zijn typologisch niet onder te brengen bij de stalactieten. Ze zijn te klein van afmeting, waarbij een lengte van 8 cm niet wordt overschreden (fig. 21). Deze sintervormen zijn pas in het begin van hun ontwikkelingsstadium. In enkele groeven vindt dit soort versintering plaats aan het dak van door steenwinning vrijgekomen CO_2 -dolines. Deze dolines bieden de meeste mogelijkheden voor dit type versintering, omdat ze soms nog watervoerend zijn.

Het zijn óók de plaatsen, waar zich enkele kleine heoom-versinteringen hebben ontwikkeld. Het vinden van heoom-versinteringen was een complete verrassing, want deze vorm werd in onze facies zeker niet verwacht.

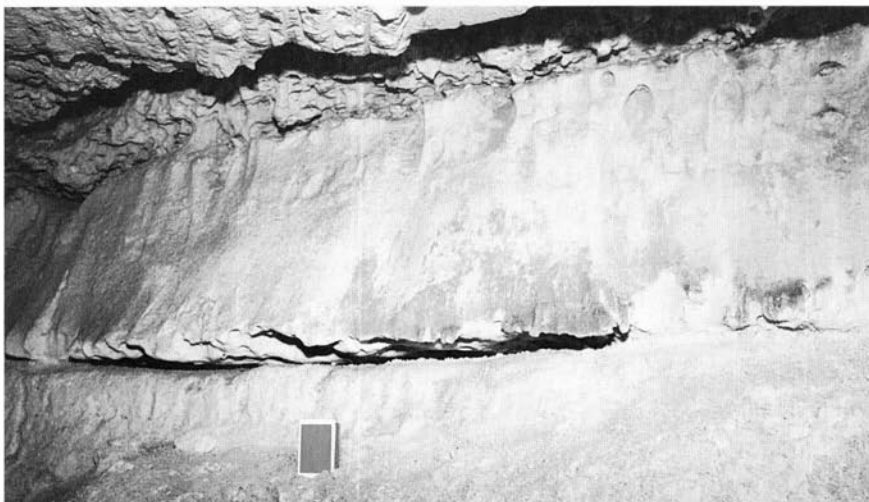
In het laagste gedeelte van een iets gewelfde gang in een onderaardse kapel vindt versintering in de vorm van druipsteen plaats door het oplossen van witkalk, welke in dit gedeelte bij het tot stand komen van de kapel is aangebracht als ondergrond voor het aanbrengen van religieuze voorstellingen. Daar de kapel frequent wordt gebruikt voor bijeenkomsten met een groot aantal aanwezigen vindt er regelmatig een grote uitstoot van kooldioxyde plaats (door de bezoekers), hetgeen nog versterkt wordt door de CO_2 -productie van de tientallen brandende kaarsen! Dit CO_2 lost de witkalk op ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$), om vervolgens met het condensvocht omlaag te zakken en op het laagste punt van het gewelf uit te kristalliseren, waarbij het



FIGUUR 21. Stalactieten in wording.



FIGUUR 22. Drempel van calciet.



FIGUUR 23. Cascade van calciet in een breuk.

koolzuur weer ontsnapt. Alhoewel deze versintering niet thuis hoort in het hoofdstuk speleothemen, is het de moeite waard dit verschijnsel te beschrijven.

Enkele grindvoerende CO_2 -dolines - het puin ervan is een uitgezaagde gang ingeschoven - zijn bedekt met een aflopende versintering, waarbij op enkele stenen sinterschaaltjes zijn ontwikkeld. De vorm en het ontstaan van deze versintering is vergelijkbaar met het reeds besproken sinterbekken. De schaaltes zijn gemiddeld 2 cm groot.

KRISTALLISATIE

Onder invloed van de capillaire werking in kleine holtes wordt ook wel calciet afgezet in horizontale banden bij kleine door corrosie gevormde ruimtes. Hierbij moet worden opgemerkt, dat vóór de sedimentatie de horizontale ruimtes zijn uitgediept door mengcorrosie, die links en rechts van de corrosiedepressie meestal op niets uitlopen.

Op enkele plaatsen in kalksteengroeven zijn in door corrosie uitgediepte scheuren drempels van calciet ontstaan (fig. 22). Deze ontwikkeling werd teweeggebracht door half uitstekende schelpjes in de wanden van de door corrosie uitgediepte scheuren, waarop het calciumcarbonaat uitkristalliseerde. De herkomst van het calciet moet waarschijnlijk worden gezocht in aan het oog onttrokken horizontale scheuren achter de drempels. In één groeve ontstaat op stilstaand water een afzetting van kalkhuidjes, die onder de microscoop een vlechtwerk van kalkkristallen laat zien. De dikte van deze op het water drijvende plaatjes is gemiddeld 0,4 tot 0,6 mm. Bij de minste aanraking zakken ze naar de bodem (TRIMMEL, 1968).

In enkele gangen, waar het water zich heeft teruggetrokken, ligt de vloer bezaaid met deze kalkplaatjes. Het periodiek stijgen en dalen van het water in de groeve staat nog ter discussie, alhoewel de gravitatiewerking de mogelijke oorzaak kan zijn.

Afzettingen, die uitsluitend uit calcietskristallen bestaan, zijn tamelijk zeldzaam in de facies. De karakteristieke kristalvorm vindt steeds plaats op een onderliggende dunne versintering als basis en kunnen uitgezonderd bij instortings- en erosie-dolines in alle depressies voorkomen (fig. 23).

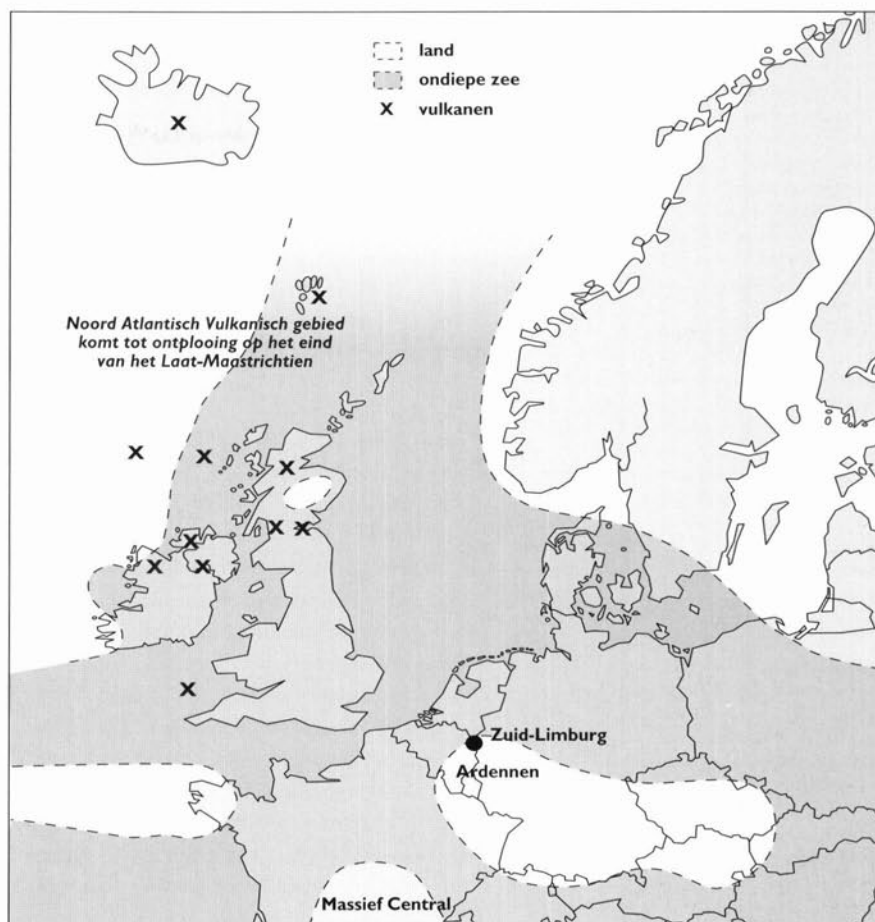
Bij een oudheidkundig bodemonderzoek enkele jaren geleden te Valkenburg, werd bij toeval een ± 6000 jaren oude vuursteenwin-

ning in de kalksteen ontdekt. Het onderzoek bleef door geldgebrek beperkt tot het vrijmaken van enkele kleine uitgekapte ruimtes. Op de vloer in één ruimte werd tijdens de opgraving een witte sponsachtige afzetting ontdekt, waar men in eerste instantie geen raad mee wist. Na een onderzoek bleek deze afzetting te bestaan uit calciëet, waarschijnlijk in de sintervorm van bergmelk. Daar de nadruk lag op het archeologisch gebeuren, waarbij de geologische waarden werden onderschat, is de zeer zeldzame afzetting afgegraven waardoor ze als verloren moet worden beschouwd.

Aragoniet (variant van calciëet) is als kristalvorm in de facies maar een enkele keer gevonden. Ze zijn klein, en zeer moeilijk te ontdekken. Enkele op het noorden liggende vochtige ingangsgebieden van enkele groeven bieden de meeste mogelijkheden tot ontwikkeling ervan en dus voor vondsten. Het zijn ook de plaatsen, waar ze het meest bedreigd worden door toerisme, vervuiling en het storten van puin.

GEOLOGISCHE DATERING

De ontwikkeling van de eerste karstverschijnselen in de kalksteen van het Laat-Maastrichtien moet worden gezocht bij oude breuken, die in het Tertiair verder tot ontwikkeling zijn gekomen (fig. 24). Deze breuken zijn bepalend voor alle later ontstane ruimte-ontwikkelingen in de kalksteen. De oudste karstvormen moeten dan ook gezocht worden in en bij deze oude breuken. Verder is het verloop van de karst-ontwikkeling van een aantal factoren afhankelijk, o.a. van het klimaat, bovenliggende sedimentatie en plantengroei (TRIMMEL, 1968). Met het oog hierop is het niet onwaarschijnlijk, dat de ontwikkeling van de karst in het Laat-Maastrichtien is begonnen op het eind van het Tertiair, onder invloed van de erosieve werking van het water. Deze ontwikkeling werd overgenomen door omlaag zakkend koolzuurhoudend water, dat in bepaalde breuken en scheuren door corrosie profielen deed ontstaan. We zitten dan al in het Kwartair, tussen twee ijstijden in. Dat is het Riss-Würm interglaciaal; warm, met een dicht plantendek op de kalksteen. In deze tijd komen de CO_2 -dolines tot ontwikkeling die met kwartaire sedimenten zijn opgevuld (fig. 25). Aangenomen wordt, dat tijdens de ijstijden door de aanwezige permafrost de ontwikke-



FIGUUR 24. Omgeving Zuid-Limburg op het einde van het Laat-Maastrichtien.

ling van de karst tot stilstand is gekomen. Dit laatste is overigens niet met zekerheid bekend. Wel is zeker, dat de karst zich steeds verder ontwikkelt, tot het laatste brokje kalksteen in ons gebied verdwenen is.

EPILOOG

Het begin is er: de eerste aanzet tot het bestuderen van de karstfenomenen in Zuid-Limburg. Eenieder die scherp oplet zal merken, dat tijdens zijn leven de aarde ook buiten haar meest actieve zones verandert, ook in Zuid-Limburg. Tot ziens, ergens in en bij de karst.

DANKWOORD

Zonder de welwillende medewerking van onderstaande personen en instellingen had dit artikel niet tot stand kunnen komen. Van het DSM-laboratorium te Geleen: John Rosseau te Maastricht en mw. Stevenhagen te Nederweert. Van het Natuurhistorisch Museum te Meerssen: Frans Bergsteyn, groevenopzichter te Geulhem en Leo Sangen te Houthem-St. Gerlach. Van het Staatsoezicht op de Mijnen in Limburg: Jack Diederik te Val-

kenburg; Hub Geyselaars te Valkenburg; Sjeff Mevissen te Valkenburg; Arno de Haas te Swier; Annemie Wolters te Landgraaf; Jeroen Vegter te Maastricht en Francoise Höppener te Hoensbroek. Voor de computer: Frans Didden te Maastricht. Voor het doornemen van de tekst: W. Jongen te Heerlen.

GLOSSARIUM

Abri: Uitspoeling door mechanische inwerking van een waterloop, in de wand van een steile helling.

Allofaan: Mineraal zonder duidelijke kristalstructuur, gemiddelde samenstelling: Al_2O_3 - 43,7%, SiO_2 - 44,9%, H_2O - 11,4%

Aragoniet: Gekristalliseerd calciumcarbonaat, dat dezelfde chemische formule heeft als calciëet, maar met een ander kristalpatroon.

Bergmelk: Sponsachtige versintering die bestaat uit met water verzadigde, uiterst kleine calciëetkristallen (TRIMMEL, 1968).

Breuk: In het gesteente ontstaan door druk of rek in het gebergte. Soms vormt zich door kalkoplossing in een systeem van dergelijke breuken een grot.

Calciëet: Kalkspaat; mineraal met als gemiddelde chemische samenstelling: 56% CaO , 43% CO_2 , met insluitingen van Mg., Fe., Mn., Ba., Sr., Pb. en Zn.

Capillaire werking: Samenvattende naam voor verschijnselen die optreden bij vloeistoffen in zeer nauwe scheurtjes of capillairen als gevolg van de onderlinge aantrekkingskracht of cohesie.

Corrosie: Oplossing van gesteenten, bijv. kalksteen, waarbij vooral koolzuurhoudend water van grote invloed is.

CO_2 -doline: Voorheen betiteld als geologische orgelpijp.

Diaklazen: Kubusvormige verdeling van het gesteente-

pakket met verschillende afmetingen.

Doline: Aanduiding van een ketel- of trechtervormige inzinking in een karstgebied. Men onderscheidt instortings-, erosie- en CO_2 -dolines.

Druipgesteente: Sintervorming, ontstaan door kalkafscheiding in druipend water, waarbij koolzuur ontsnapt.

Erosie: Dit woord wordt gebruikt voor de schurende en slijpende - dus mechanische - werking van stromend water in combinatie met zand en puin.

Geodesie: Houdt zich bezig met de vorm van de aarde en het aardoppervlak en metingen daarvan.

Gravitate: Grondwaterpeil en gebergtedruk die elkaar beïnvloeden.

Grotvorming: Is afhankelijk van het gesteente, het klimaat en de geologische situatie. Na het ontstaan van een holle ruimte volgt meestal de ontwikkelingsfase.

Halloysiet: Mineraal met als gemiddelde chemische samenstelling: Al_2O_3 - 34,7%, SiO_2 - 40,8%, H_2O - 24,5%, met insluitingen van Fe, Cr, Mg, Ni, Cu, Co.

Heoom: Gordijnachtige versintering.

Kalksteen: Afzettingsgesteente, dat grotendeels uit calciumcarbonaat (CaCO_3) bestaat. Het heeft een sterke neiging tot karstvorming.

Karren: Door oplossing in karstvormend gesteente ontstaan onder invloed van stilstaand en aflopend water. Men onderscheidt de volgende soorten: kokervormige karren, kloofvormige karren, kolkvormige karren en ritmisch gegolfde karren.

Karstbron: Plaats, waar een onderaardse bron aan de oppervlakte komt. De hoeveelheid water en de temperatuur schommelen vaak aanzienlijk.

Karstgrot: Secundaire grot.

Karstverschijnselen: De natuurverschijnselen, die een karstlandschap kenmerken; o.a. karren, dolinen, karstbronnen, kolkgraten en karstgrotten.

Katastrofentheorie: De theorie die stelt dat het leven op aarde regelmatig door grote natuurrampen gedeceerd is; bijvoorbeeld door de vermeende inslag van een grote meteoriet op het einde van het Laat-Maastrichtien, waarbij 2/3 van alle levensvormen op aarde werden vernietigd of uitstierven.

Kolk/kolkgat: Rond gat in een bedding van een waterloop, ontstaan door de draaiende beweging van stromend water. Deze door erosie gevormde kolkgraten ontwikkelen zich vooral o.i.v. de schurende werking van zand en puin.

Konkretie: Meestal kogelvormige verkitting, soms met insluitingen.

Koolzuur: Ontstaat door oplossing van kooldioxyde in water: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$. Koolzuur is een zwak zuur, maar het speelt de belangrijkste rol bij oplossing van kalksteen.

Mengcorrosie: Treedt op, wanneer door vermenging van water met verschillende hardheid koolzuur vrijkomt, dat opnieuw kalk tot oplossing brengt, waardoor tot diep in de kalksteen grotten of ruimtes kunnen ontstaan.

Montmorilloniet: Mineraal van wisselende chemische samenstelling. Bestaat in hoofdzaak uit Al, Mg, SiO_2 , Na, H_2O en insluitingen.

Paragenese: Gelijktijdig ontstaan.

Permafrost: Langdurig bevroren ondergrond.

Piesoliten: Grotparels.

Ponor: Plaats, waar water in de bodem verdwijnt.

Rayleigh: Amerikaans geoloog.

Regolithische afzetting: Sedimentatie met een losse poreuze structuur.

Secundaire grot: Holle ruimte, die na de gesteentevorming is ontstaan.

Sinter: Door kalkrijk water afgezet calciumcarbonaat van sterk uiteenlopende vorm.

Sinterdek: Vloerversintering.

Speleologie: Vakterm voor grotkunde.

Speleothesmen: Alle vormen van versintering.

Stalactiet: Druipgesteente, dat vanaf de zoldering groeit.

Stalagmiet: Druipgesteente, dat zich op de grond vormt en naar boven groeit.

Stratigrafie: Onderling verband van de verschillende lagen.

Tektoniek: Kennis van de vervorming van de aardkorst: breuken, verschuivingen, verbuigingen en plastische vervormingen.

Varven: Ritmisch gelaagde gesteenten.

Windgrot: Erosiegrot, door met zand beladen wind in zacht gesteente uitgeslepen.

Wrijfspiegel: Gepolijst oppervlak, ontstaan doordat twee aangrenzende gesteentepakketten langs elkaar verschoven werden. Vaak zijn er wrijfkassen ingegroefd. Komen vaak voor in CO_2 -dolines op de wanden, welke zijn leeggelopen in een uitgezaagde gang.

SUMMARY

TECTONICS, KARST PHENOMENA AND SPELEOTHEMES IN THE LATE MAASTRICHTIAN LIMBURG (NETHERLANDS)

This study was made possible by the presence of dozens of subterranean and above-ground limestone quarries in Southern Limburg. Nearly all of the phenomena described in this paper were found in these quarries. The major contribution to the development of karst in the Late Maastrichtian limestone of Southern Limburg was made by the faulting, displacement and folding of the bedded limestone deposits as a result of tectonic activity. The further development of the depressions has been driven mainly by erosion and corrosion resulting from water seeping down into the cracks. The main geological formation - the limestone deposits - got its definitive shape through the development of the North Atlantic volcanic area at the end of the Late Maastrichtian. Evidence of the gigantic eruptions accompanying this development can be traced in some mineral-rich clay deposits which constitute the boundary between the Cretaceous and the Palaeogene. Sand volcanoes have been found in a chaotic deposit immediately above these clay deposits, indicating the occurrence of earthquakes during the development of the volcanic area. Karst phenomena are rarely visible at the surface in Limburg. What can be clearly observed are dozens of subsidences caused by erosion and CO_2 sinks which have filled up with Pleistocene and Quaternary deposits. Many of the CO_2 sinks which have been uncovered by subterranean limestone quarrying still carry water. Examination of the karst profiles shows that the sinking carbon dioxide-rich water caused karren, while mixed corrosion deepened the karst vertically. Very little serious scientific research has



FIGUUR 25. Grindzak in een grindgroeve, met in de onderliggende kalksteen een CO_2 -doline

been done into the development of caves and the drainage of the facies. The important factors in this respect are water movements and gravitation. The discovery of the quarry known as "De Leeuw" is therefore highly interesting. The formation of stalactites and stalagmites in this quarry is at a very early stage.

Geological dating of the karst in the Late Maastrichtian limestone is made possible by the fact that the karst development is closely associated with that of the old cracks in the limestone which have become extended during the Palaeogene. This is where we find the oldest karst phenomena.

LITERATUUR

- BATES, D. & J.F. KIRKALDY, 1976. *Field Geology*. Blandford Press Ltd., Poole, Engeland.
- BAUER, E.W., 1969. *Welt ohne Sonne*. Österreichischer Bundesverlag, Wenen.
- BREULS, T. & B. HULS, 1991. De kuilen van Zichen en Zussen. SOK-mededelingen nr. 16. Uitgave van het Nat. Hist. Gen. Limburg te Maastricht.
- CALDER, N., 1973. *Rusteloze Aarde*. Uitgeverij Bosch en Keuning NV., Baarn.
- FRANKE, H.W., 1974. *Geheimnisvolle Höhlenwelt*. Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart.
- HABE, F., 1982. *De grotten van Postojna*. Postojnskajama, Postojna.
- HILLEGERS, H., 1982. *De Bemelerberg: een beschrijving uit 1944*. Nat. Hist. Maandbl. 71 (8).
- KAVASCH, J., 1976. *Mondkrater Ries*. Verlag Ludwig Auer, Donauwörth.
- KUKUK, P., 1951. *Geologie, Mineralogie und Lagerstättenlehre*. Springer Verlag, Göttingen.
- PLUYMAEKERS, L., 1983. *Het Auvermennekeslook te Craubeek*. Geulrand nr. 1, Valkdruik, Valkenburg.
- TRIMMEL, H., 1968. *Höhlenkunde*. Friedr. Vieweg und Sohn, Braun-schweig.
- WALTHAM, A.C., 1976. *Die Wunderwelt der Höhlen*. Sudwest Verlag, München.