



DELFSTOFFEN IN VLAANDEREN

F. GULLENTOPS
L. WOUTERS

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Departement EWBL



OVERZICHT VAN DE GEOLOGIE VAN VLAANDEREN



Landschappen, kustlijnen, gebergten, continenten, het zijn slechts momentopnames van het oppervlak van de aardkorst.

Die korst zelf moet letterlijk begrepen worden als het dunne afgekoelde en gestolde laagje aan de buitenkant van een hete aardbol. Het systeem aarde, d.w.z. de aardbol plus de omhullende atmosfeer, is dan ook geen statisch geheel. Energietransporten op een kosmische schaal geven het een dynamisch karakter. Al sinds minstens vijf miljard jaren is de aardkorst daardoor aan krachten onderworpen die haar uiterst trage maar finaal drastische vormveranderingen doen ondergaan. Doordat het zonnestelsel nog niet aan zijn laatste dagen toe is, kan men er zeker van zijn dat ook in de toekomst de vertrouwde landschappen en continenten er helemaal anders zullen uitzien.

1. ALGEMENE INLEIDENDE BEGRIPPEN

L. Broothaers

1.A CONTINENTVERSCHUIVINGEN

Zowel inwendige als uitwendige krachten oefenen hun werking uit op de aardkorst.

Voor de inwendige krachten is de samenstelling van de aardbol belangrijk. De aardbol bestaat namelijk uit een driedelige zonatie. In het centrum komt de kern voor, grotendeels bestaande uit vloeibaar ijzer. De kern wordt omgeven door de mantel, die op haar beurt door de korst wordt omsloten (Afb. 1.1). Men kan zich de mantel voorstellen als een uiterst taai vloeibare hete massa, toch nog zo taai als bijvoorbeeld een blok afgekoelde pek. Door de hitte, vooral gegenereerd door nucleaire reacties in de kern, ontstaan dank zij het plastische karakter van de mantel zeer trage convectiestromingen. Boven warmtebronnen in de kern stijgt de taai mantelmassa, elders daalt ze dan weer. De aardkorst, die bovenop de mantel drijft doordat zij lichter van samenstelling is, wordt door deze stromingen meegesleurd. Hierdoor wordt deze in grote stukken opgebroken die als schollen hun eigen weg opdrijven. De snelheid waarmee de schollen aldus bewegen is met de hedendaagse technieken meetbaar en varieert meestal tussen 3 en 10 cm per jaar, maximaal 15 cm/jaar.

Volgens bepaalde banen wordt de korst uiteengereten en scheurt ze open. Door het verminderen van statische druk en inwendige gasspanning verlaagt het smeltpunt van de onderliggende mantelmaterie en wordt ze vloeibaar. Ze welt dan naar boven, koelt af, stolt, en doet alsof de twee zich van elkaar verwijderende schollen aangroeien. Aldus gevormde korst is relatief zwaar omdat haar samenstelling vrij gelijk is aan die van de mantel. Daardoor vormt ze de laagst gelegen plaatsen van het aardoppervlak, en wordt dus door oceanen bedekt. Ze wordt dan ook oceanische korst genoemd.

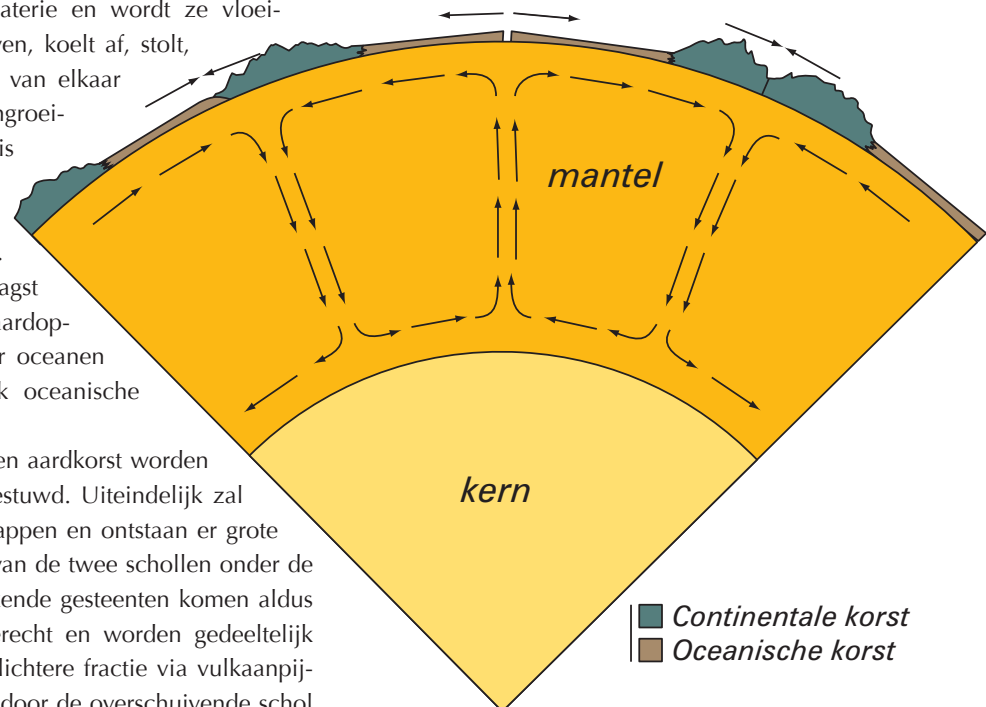
De wegdrijvende stukken aardkorst worden elders tegen mekaar aan gestuwd. Uiteindelijk zal de korst aldaar wel doorknappen en ontstaan er grote breuklijnen waarlangs een van de twee schollen onder de andere duikt. De onderduikende gesteenten komen aldus weer in de hete mantel terecht en worden gedeeltelijk hersmolten waarbij de iets lichtere fractie via vulkaanpijpen naar boven rijst, dwars door de overschuivende schol tot aan het oppervlak. Deze fenomenen gaan altijd met aardbevingen gepaard. De overschuivende schol daarentegen wordt door plooiingen opgekruld, samengeperst en opgehoopt, en vormt lokaal een bijzonder dik stuk aardkorst dat, mede vanwege de nu verlaagde dichtheid, boven

het zeeoppervlak uitsteekt. Dit worden dan de continenten, en aardkorst van dit type wordt dan ook continentale korst genoemd.

Doordat de oceanische korst altijd onder de globaal lichtere continentale korst duikt, kunnen hele schollen oceanische korst weer in de mantel verdwijnen totdat twee stukken continentale korst mekaar ontmoeten en tot één groter continent samenklonteren. Als deze fenomenen zich herhalen, ontstaan continenten met een zeer ingewikkelde geologische structuur. Deze hoeven niet eeuwig te blijven bestaan, want het thermisch dynamische karakter van de mantel kan het patroon van de convectiestromingen wijzigen. Aldus kunnen continenten opnieuw in stukken uiteengereten worden en zijn nieuwe configuraties mogelijk. En dit is in de aardgeschiedenis tientallen keren gebeurd.

Al deze bewegingen verlopen volgens menselijke begrippen uiterst traag. Aardbevingen en vulkaanuitbarstingen bewijzen echter dat het proces nog altijd gaande is. De verdeling van oceanische en continentale korst bepaalt waar het water van de oceanen zich bevindt en waar de continenten liggen en hoe ze er uitzien.

Reeds op het einde van de 16e eeuw merkte de Vlaamse cartograaf Ortelius op dat de kustlijnen van Amerika enerzijds en die van Europa en Afrika anderzijds vrij goed in elkaar pasten. Hij concludeerde, achteraf beschouwd terecht, dat de twee van mekaar weggeschoven waren. We weten nog niet lang dat dit openscheuren van de Atlantische Oceaan al 100 miljoen jaar bezig is.



Afb. 1.1 DE STRUCTUUR VAN DE AARDE

De aarde bestaat uit een kern, de mantel en een dunne korst. Het mechanisme van de continentverschuivingen is eveneens schematisch weergegeven.

1.B EROSIE EN SEDIMENTATIE

Het uitwendige van de aardkorst staat voortdurend blootgesteld aan weer en wind. Alle gesteenten aan het oppervlak ondergaan de destructieve effecten van water en lucht. Chemische veranderingen, zoals oxydatie, ionisatie, hydratatie, reacties met zuren enzomeer, doen het gesteente desintegreren. Water in kleine spleetjes kan door bevriezen de rots laten uiteenbarsten, terwijl water en wind stukjes steen tegen elkaar doen slaan en tot gruis vermalen. Het geheel van deze processen noemt men vertering: het degraderen van een gesteente tot kleine deeltjes zoals grind, zand, silt en kleideeltjes.

Wanneer ijs, water en wind deze deeltjes van hun oorspronkelijke plaats wegsleuren en over een zekere afstand verplaatsen spreekt men van erosie. Afstromend regenwater dat tot rivieren samenvloeit is dan in staat diepe geulen in het landschap uit te schuren, terwijl winden het zand van een vlakte kunnen wegblazen. Ook de oceanen zelf zijn zeer destructief. Door de wind wordt het water tot golven opgezweept die dag en nacht op de kusten inbeuken. De afbraakproducten worden over het strand en over de zeebodem uitgespreid.

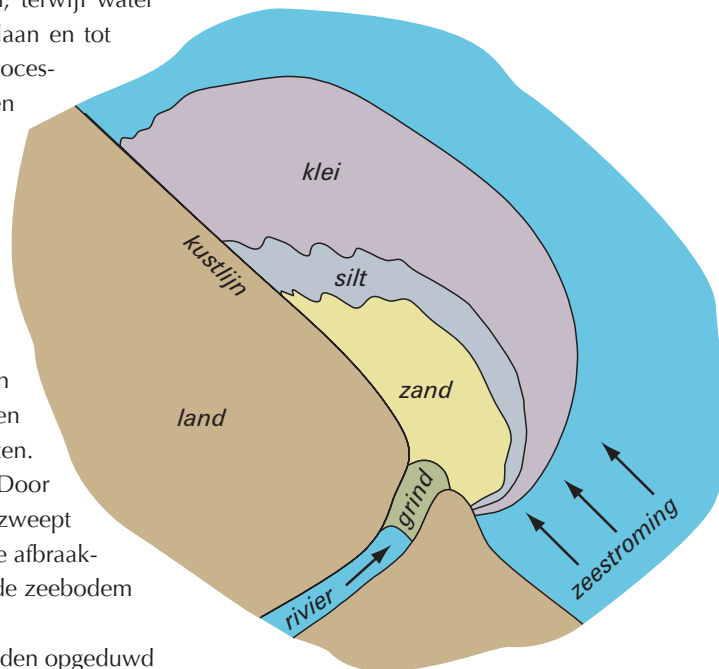
Als continenten tot hoge gebergten worden opgeduwd of over de polen schuiven, worden ze bedekt door eeuwige sneeuw die tot ijs samengedrukt wordt. Onder de druk van het eigen gewicht wordt het ijs plastisch en stroomt als gletsjers weg. Geen enkele erosie is zo machtig als deze ijsstroom die de vaste rots afraapt en al wat los ligt invriest en meesleurt.

Wanneer de kracht van ijs, water en wind weer afneemt, komt de transportfase ten einde en treedt sedimentatie op (Afb. 1.2). Aan de benedenloop van rivieren, bij de uitmonding in de zeeën en bij afnemende snelheid van de zeestromingen vallen eerst de grootste en zwaarste deeltjes op de bodem, daarna de iets kleinere en lichtere tot uiteindelijk de allerfijnste deeltjes afgezet worden. Daar waar het ijs uiteindelijk weer afsmelt, worden reusachtige hoeveelheden ongesorteerd puin achtergelaten. Deze sedimentatieprocessen zijn het vormingsmechanisme van de afzettingsgesteenten: grind, zand, silt en klei.

Het spreekt ook vanzelf dat de fijnste deeltjes veel verder vervoerd kunnen worden dan de grotere. Traag stromend water kan alleen maar zeer fijne kleideeltjes transporteren. Omgekeerd kan uit de korrelgrootte van een sediment ook de stroomsnelheid van het water of de wind ten tijde van de afzetting ingeschat worden.

Al deze vormen van erosie en sedimentatie beïnvloeden het zeepeil zelf. Continenten worden afgebroken en de uiteindelijke rustplaats van het afbraakmateriaal is de

zee. Het puin vult de oceanen op. Daardoor stijgt het zeepeil en wordt het land geleidelijk overspoeld: een transgressie. Continenten doorlopen dus een cyclus: ze worden gevormd, opgehoogd, afgebroken en afgevlakt, en verdwijnen weer onder water. Dergelijke cycli nemen bij benadering een 200 miljoen jaar in beslag. In de geologische geschiedenis kan men aldus vier cycli herkennen.



Afb. 1.2 SEDIMENTATIE

Afzetting van erosiemateriaal door een rivier

Grind : grover dan 2 mm

Zand : van 2 mm tot 0,062 mm

Silt : van 0,062 mm tot 0,002 mm

Klei : fijner dan 0,002 mm

Het zeepeil schommelt echter ook met de klimaten. De ijsmassa's aan de polen vormen reusachtige opslagplaatsen van zeewater. Het aangroeien of afsmelten ervan beïnvloedt rechtstreeks het zeepeil. Een continent dat over een pool schuift, wordt door een ijskap van aanzienlijke dikte bedekt. Dit onttrekken van water aan de oceaan veroorzaakt een algemene zeespiegeldaling of een regressie: de zee trekt zich terug. De ijskappen van Antarctica en Groenland zijn tot 4 kilometer dik. Ze bevatten het equivalent van zowat 100 meter oceaanwater. Ook het opstuwen van gebergten tot boven de sneeuwrens legt grote massa's water in sneeuw en gletsjers vast.

Een aardoppervlak dat voor een belangrijk deel met sneeuw en ijs bedekt is, weerkaatst echter een groter deel van de inkomende zonnestraling, zodat een verdere afkoeling wordt ingezet. Op deze wijze kunnen continentverschuivingen onrechtstreeks klimaatschommelingen veroorzaken.

1.C OUDERDOMSBEPALING

De ouderdom van de aarde, met haar voortdurend veranderend oppervlak, wordt door geologen op zowat 5 miljard jaar geschat.

Door het ontrafelen van de verschillende fasen proberen ze de geschiedenis van de aarde op te maken en delen ze die in een aantal tijdvakken in. Omgekeerd kunnen het voorkomen en de verbreiding van bepaalde gesteenten -sedimentaire, vulkanische, enz.- slechts begrepen worden nadat de plaatselijke aardgeschiedenis is gereconstrueerd. Aan de hand van de combinatie van sedimentologische, biologische en chemische kenmerken van de sedimentaire gesteenten poot men het milieu waarin deze werden afgezet te herkennen en te vergelijken met huidige milieus. Het komt er dan op aan zich er een idee van te vormen waar de toenmalige kustlijn zich bevond en hoe ze verliep. Een landkaart die het landschap uit vroegere tijden afbeeldt, noemt men een paleogeografische kaart.

De belangrijkste sleutel om een gebeurtenis in een tijdvak te kunnen onderbrengen is het kennen van de relatieve ouderdom. In de eerste plaats dient men de onderliggende laag, die dus ouder is, te kennen, alsmede de bovenliggende laag of één die er dwars doorheen loopt, en die dus jonger is. Er wordt aldus een studie gemaakt van de opeenvolging van de lagen, te beginnen met de onderste, tegelijkertijd ook de oudste. De discipline die zich hiermee bezig houdt noemt men de stratigrafie, van het Latijn stratum (= laag). Een op deze principes gebaseerde logische opeenvolging van in het veld herkenbare gesteentelagen noemt men een lithostratigrafie.

Een lithostratigrafische eenheid is een gesteentepakket dat over grote afstanden te herkennen is. De basiseenheid hiervan noemt men een formatie. Zo spreekt men van de Formatie van Boom, die de Boom Klei bevat. Deze is van het Waasland tot in Limburg te volgen en komt ook in de diepe ondergrond van de Kempen voor.

De onderdelen die men in een formatie kan onderscheiden noemt men leden (enkelvoud: lid).

Ten tweede dient men de fossielinhoud te kennen. Dit kan slechts voor die perioden waarin er overvloedig leven op aarde voorkwam, d.w.z. het laatste tiende deel van de totale aardgeschiedenis.

Medio vorige eeuw legde Charles Darwin de grondslag voor de moderne evolutieleer. Ten gevolge van de evolutie van zowel plantaardig als dierlijk leven kwam er een strikt patroon in de opeenvolging van de organismen tevoorschijn. Sommige van die soorten hebben slechts relatief korte tijd bestaan zodat ze het opstellen van een preciese opeenvolging in de tijd mogelijk maken. Op deze wijze kan men de chronologische plaats van een gesteentelaag bepalen. De discipline die planten en dieren uit het geologisch verleden bestudeert heet paleontologie. Een stratigrafie die op hierop gebaseerd wordt heet biostratigrafie.

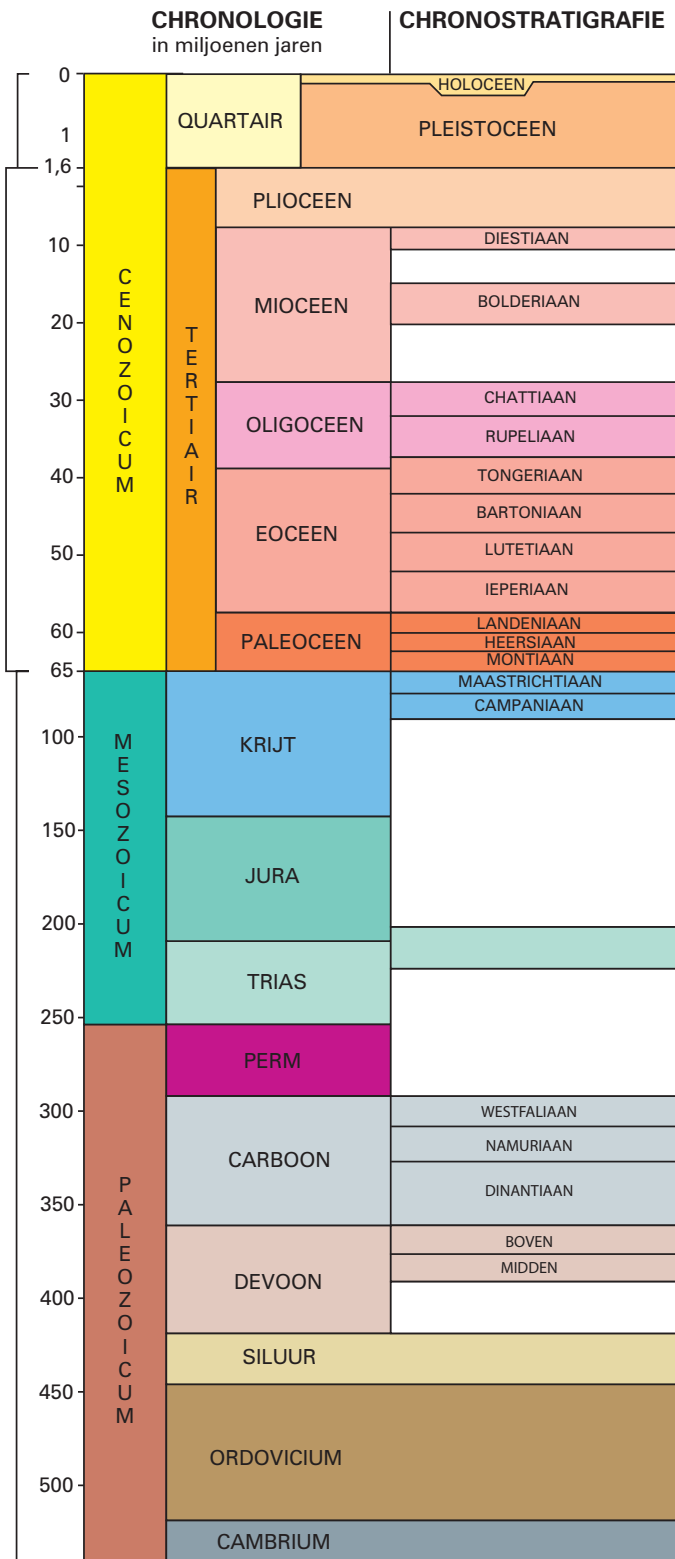
Een biostratigrafische eenheid noemt men een zone. Paleontologen ontwerpen zonaties voor meerdere soorten van organismen zoals molluskenzones, foraminiferenzones, stuifmeelzones, enz. Deze biozones brengen dus een tijdselement in de gesteentepakketten aan.

Voor sommige gesteenten, zoals vulkanische en metamorfe gesteenten, die geen fossielen bevatten of waarvan de fossielinhoud vernietigd werd, kan op deze wijze uiteraard geen ouderdom bepaald worden. Sinds de tweede helft van deze eeuw is het echter technisch mogelijk aan sommige gesteenten een absolute ouderdom toe te kennen. Dank zij de strikte wetten van de fysica die het verval van radioactieve elementen zoals uranium, thorium, rubidium, kalium-40 en koolstof-14 beheersen, kan de absolute ouderdom, uitgedrukt in jaren, met een redelijke nauwkeurigheid berekend worden.

Uiteindelijk komt men tot het opstellen van een tijdschaal bestaande uit chronologisch gerangschikte eenheden: een chronostratigrafie. De basiseenheid is hierbij de "etage", de gesteenten afgezet tijdens een bepaalde tijd. Voor de naamgeving ervan gebruikt men een geografische naam gevolgd door het suffix "-iaan". Zo behoort de Formatie van Boom tot de Rupeliaan-etage. Wat te lezen valt als: "tijdens de Rupeliaan-tijd werd de Boom Klei afgezet". Een internationale standaardisatie van deze "etage"-namen wordt nagestreefd. Zo zijn de namen Rupeliaan en Ieperiaan internationaal aanvaarde termen. Meerdere opeenvolgende etages worden dan in een "tijdvak" van een grotere orde samen gebracht, bijvoorbeeld "het Oligoceen" en deze laatste andermaal in een nog omvangrijkere "periode" zoals het Krijt, het Tertiair, het Quartair. De aldus bekomen hiërarchische indeling van de geologische geschiedenis wordt in een chronostratigrafische tabel of kolom voorgesteld (zie afbeelding 1.3).

De ruimtelijke verbreiding van de aan het oppervlak voorkomende gesteenten wordt op een geologische kaart afgebeeld. Overeenkomstig het voorgaande kunnen ook hier twee verschillende types van kaarten opgemaakt worden. Lithostratigrafische kaarten vermelden de in het veld waarneembare feiten en hebben dus een praktisch nut. Deze kaarten geven informatie over de ondergrond waarop of waarin bijvoorbeeld een bouwwerk moet uitgevoerd worden, of over de verspreiding van een te ontginnen delfstof. Chronostratigrafische kaarten, daarentegen, geven de gesteenten met gelijke ouderdom aan, ongeacht hun lithologische aard. Verschillende types van gesteenten, zoals zand en klei, kunnen immers van dezelfde ouderdom zijn. Deze kaarten geven een voorstelling van de geologische geschiedenis van de aardkorst en zijn dus eerder van abstracte aard.

De eerste reeks geologische kaarten van het Koninkrijk België verscheen aan het einde van de vorige eeuw. Zoals te verwachten deden de geologen van toen hun uiterste best om de toenmalige stand van de wetenschap daarin te verwerken. Zij opteerden daarom voor kaarten van het



AFB. 1.3 CHRONOSTRATIGRAFIE
 Vereenvoudigde stratigrafische tabel (in miljoenen jaren). In de rechte kolom zijn de periodes aangeduid waarin gesteenten in Vlaanderen werden afgezet. De witte vlakken duiden de lange periodes aan waarin geen afzetting of erosie plaatsvond.

chronostratigrafische type. Sinds enkele decennia echter wordt de rol van de geologie in het dagelijks leven sterker geapprecieerd. Blijkt nu immers dat de geologie aan de basis ligt van de beheersing van een hele reeks problematieken: fundering van grote bouwwerken, afvalberging, milieuvuiling en -beheer, grondwatervoorziening, enzovoort. Daarom besloot het Vlaams Gewest in 1992 tot het opmaken van een reeks nieuwe geologische kaarten, ditmaal van het lithostratigrafische type. Hiermee hoopt men een meer gebruikersvriendelijk instrument te creëren.

Hierna volgt een samenvatting van de geologische geschiedenis van Vlaanderen.

2 DE GEOLOGISCHE GESCHIEDENIS VAN VLAANDEREN

F. Gullentops en L. Broothaers

2.A HET PALEOZOÏCUM

De oudste gesteenten die aan het oppervlak van het Vlaams Gewest waargenomen kunnen worden, bevinden zich in het dal van de Zenne, nabij de taalgrens. Ze behoren tot het Massief van Brabant en zijn even oud als de oudste gesteenten van de Ardennen. Ze zijn van Cambrium-ouderdom en hebben twee continentale cycli meegemaakt.

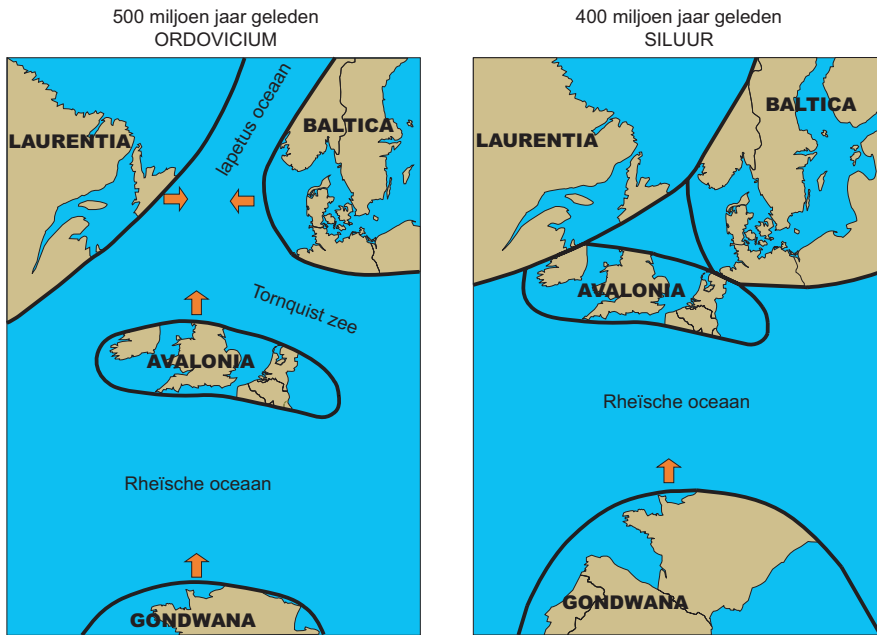
Om de oudste geologische geschiedenis van Vlaanderen te begrijpen moet men het geheel op een wereldschaal bekijken, in een periode waarin het continent Europa nog maar gedeeltelijk in vorming was. Belangrijk is in te zien dat de continenten van toen niet dezelfde waren als de huidige, en dat het huidige Europa een amalgaam is van stukken van vroegere continenten die bij botsingen aan mekaar zijn blijven hangen.

In de loop van het Siluur-tijdvak botsten drie microcontinenten, Avalonia, Baltica en Laurentia, tegen mekaar aan (Afb. 1.4).

Avalonia, dat landmassa's bevatte die we nu tot Zuid-Engeland, Engeland en de Benelux zouden rekenen, werd echter op grote afstand door een reusachtig continent, Gondwana, gevolgd.

Daarbij gleden de oceanische korst tussen Gondwana en Avalonia onder deze laatste door. Met als gevolg dat de zuidelijke helft van Avalonia sterk samengedrukt en geplooid werd (Afb. 1.5).

Deze "Caledonische" plooifase gaf het ontstaan aan een gebergte dat zich van onze provincie Brabant tot het Engelse East-Anglia uitstrekte: het "Massief van Brabant". De vulkanische gesteenten die daarbij ontstonden kan men nu zien bij Quenast en Lessines in Wallonië: onze vertrouwde kasseien. Ook in de ondergrond van Vlaams Brabant, Oost- en West-Vlaanderen komen dergelijke vulkanische gesteenten voor.



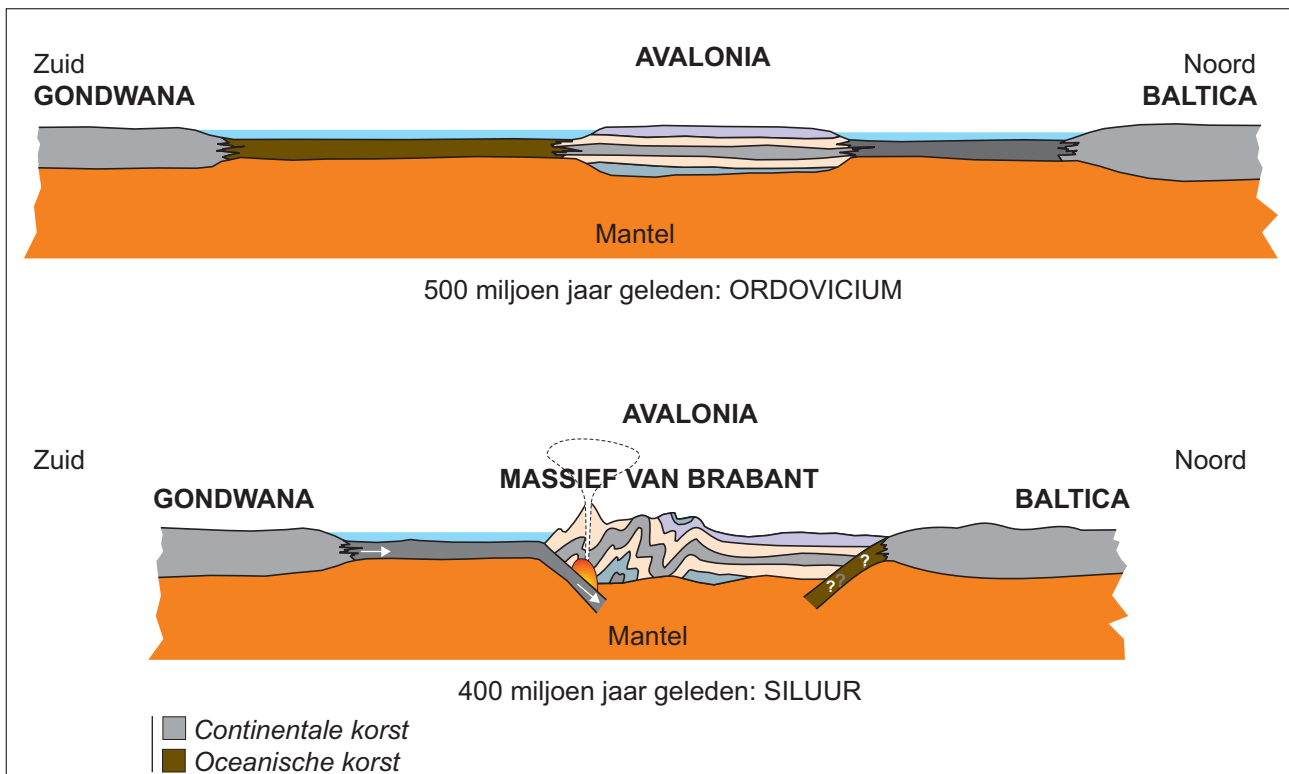
AFB. 1.4 DE CALEDONISCHE PLOOIINGSFASE
Continentverschuivingen tijdens het-Ordovicium en het Siluur

Tijdens het **Onder-Devoon** tijdperk werd dit Caledonische gebergte geërodeerd. De afbraak leverde aanvankelijk grof materiaal zoals grind, later veel zand. Dit materiaal wordt in België slechts in de Ardennen aangetroffen.

Naarmate het continent door de erosie meer afgevlakt werd raakte de oceaan opgevuld, steeg het zeepil en trad een trapsgewijze transgressie in: alle flanken van het Massief van Brabant kwamen nu onder water te liggen. Tijdens het **Midden-Devoon** werd dan ook in de Kempen afbraak-

materiaal afgezet. Door het verminderen van het landoppervlak werd de activiteit van de erosie sterk gereduceerd, zodat bij ontbreken van vers puin de zeebodem in het zuiden van België nu met lagen kalksteen van biologische oorsprong bedekt kon worden. Vanaf het **Dinantiaan** (Onder-Carboon) was dit ook in de Kempen het geval. De verspreiding van deze post-Caledonische gesteenten is in afbeelding 1.6 samengevat.

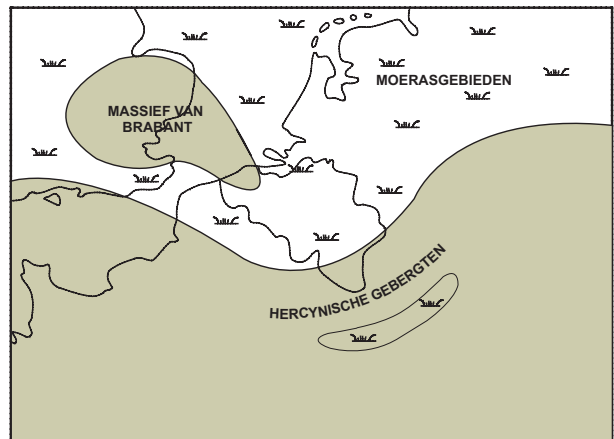
Gedurende het **Carboon** werd in onze contreien een nieuwe continentvorming merkbaar. Afbeelding 1.4 toont



AFB. 1.5 HET MASSIEF VAN BRABANT
Ontstaan van het Massief van Brabant tijdens de-Caledonische plooiingsfase.

hoe het Gondwana-continent langzaam naar het pas gevormde Laurasië-continent, bestaande uit Laurentia, Baltica en Avalonia, toegleed. Tijdens het **Boven-Carboon**-tijdperk botsten de twee tegen mekaar aan. Hierdoor werden de Ardennen samen met andere gebieden ten zuiden en ten oosten van België sterk opgepllood, de **Hercynische** plooiing, ook nog **Varistische** plooiing genoemd (Afb. 1.7). Vanaf het Namuriaan produceerden de nieuwe gebergtes op hun beurt grote hoeveelheden puin die in de bekken rondom het Massief van Brabant afgezet werden. Door deze opvulling werd de zee gestaag teruggedreven. De verlanding hield echter min of meer gelijke tred met de langzame verzakking van de bekken. Door het samendrukingsregime tussen de gebergtes werden deze plooitroggen immers langzaam verder uitgediept. Alzo ontstonden reusachtige moerasgebieden met een overvloedige evenaarsplantengroei. Daar de gebergtevorming vanuit het zuiden begon en zich vervolgens naar het noorden voortzette, manifesteerden deze gebeurtenissen zich in het Bekken van de Kempen pas tijdens het **Westfaliaan**.

schommelingen van de zeespiegel werden deze moerasen periodisch door delta- en zeersedimenten overspoeld. De plantenresten werden door het gewicht van de latere bovenliggende gesteenten samengedrukt en gedeeltelijk ontgast: ze werden in steenkool omgezet. Voor de vorming van een steenkoollaag van 1 meter dikte was een laag plantenresten van minstens 25 meter nodig. Door herhaaldelijke moerasvorming en verdrinking werd op deze wijze een meer dan 2000 meter dik pakket van sedimenten en steenkoollagen opeengestapeld.

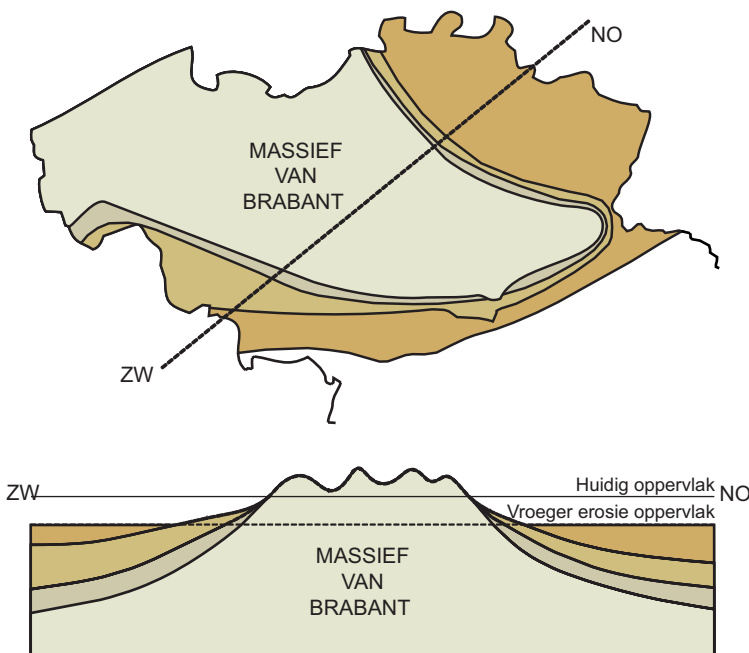


AFB. 1.7 PALEOGEOGRAFIE TIJDENS HET BOVEN-CARBOON
De gebieden ten zuiden van ons land worden tengevolge van de-Hercynische plooiingsfase opgeheven en geërodeerd. Een grote hoeveelheid fijn sedimenten vult het bekken op en er-ontstaan uitgestrekte moerassen waarin een weelderige subtropische plantengroei voorkomt.

Op het hoogtepunt van de plooiingsfase duwden de Ardennen de hele plooitrog van Samber en Maas zoals een accordeon in mekaar en schoven de lagen boven op elkaar. Het Massief van Brabant kon deze druk evenwel opvangen zodat de steenkoollagen ten noorden ervan, in de Kempen, ongepllood bleven.

2.B HET MESOZOICUM

Zo een 280 miljoen jaar geleden, aan het einde van het Carboon-tijdperk en na afloop van de Hercynische gebergtevorming, had zich een groot supercontinent gevormd: Pangea. Als gevolg van al de resulterende gebergtevormingen lagen tijdens het **Perm** grote delen van West-Europa boven de zeespiegel. Een nieuwe continentale cyclus kon nu aanvangen (Afb. 1.8). In West-Europa bestaan de afzettingen van Perm- en Triasouderdom voornamelijk uit rode gesteenten. Dit wijst op een klimaat te vergelijken met de huidige Sahel. In Noord-Nederland en Noord-Duitsland droogde de voorloper van onze Noordzee tijdens het Perm zelfs verscheidene malen uit, waardoor dikke zoutafzettingen ontstonden. België bleef al die tijd boven het zeeniveau uitsteken.



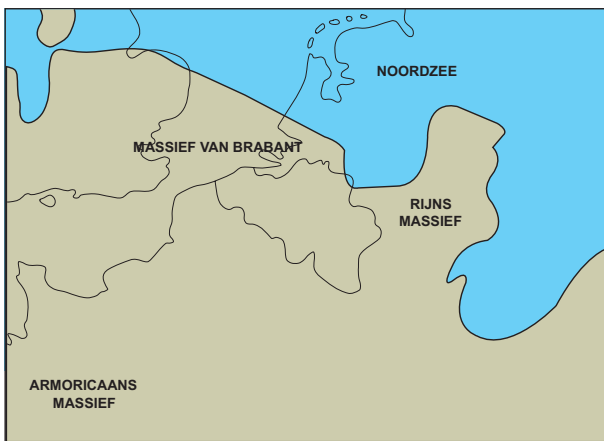
- Boven-Carboon
- Onder-Carboon
- Midden- en Boven-Devoon
- Cambrium-Ordovicium-Siluur

AFB. 1.6 DE PALEOZOISCHE GESTEENTEN
Voorkomen van de Paleozoïsche gesteenten rond het Massief van Brabant. In Vlaanderen werden deze gesteenten in het Bekken van de Kempen afgezet. Ze bereiken er een maximale dikte van 4000 meter.

De afgestorven plantenresten werden onder het kalme water opeengehoopt en van de lucht afgesloten zodat ze niet verrotten. Het milieu kan het best vergeleken worden met de moderne moerasgebieden van de Everglades in Florida, of de delta van de Niger. Door de ritmische

Het super-continent Pangea was echter geen lang leven beschoren. Vanaf het **Jura**-tijdperk begon het weer uiteen te scheuren en ontstond de Atlantische Oceaan die zich ook in onze dagen, nog voortdurend verbreedt. Door die rek ontstonden er in West-Europa secundaire scheuren waarlangs een aantal smalle langwerpige repen continent zouden wegzakken: slenken. Hiervan belangen de Rijn Slenk en de Roerdal Slenk ons aan. Deze slenken fungeerden als valkuilen en verzamelden grote hoeveelheden afbraakmateriaal. Zo ook in het noordoostelijk deel van de Kempen dat tot de Roerdal Slenk behoort.

In de loop van het Jura-tijdperk was het continent onder een nog tropisch klimaat alweer zo goed als afgevlakt, waardoor het zeepil weer ging stijgen: een belangrijke transgressie zou grote delen van Europa weer in ondiepe zeeën veranderen.

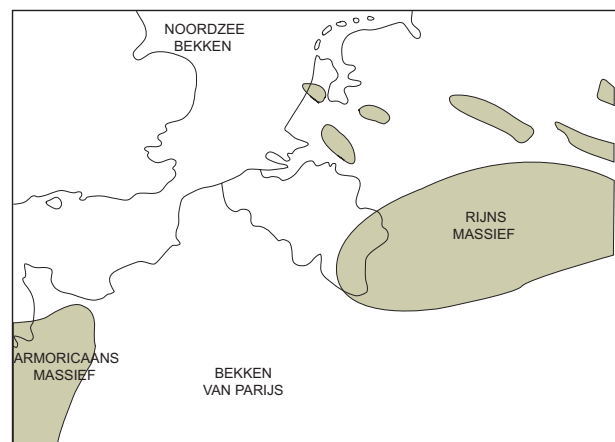


AFB. 1.8 PALEOGEOGRAFIE TIJDENS HET PERM
De Hercynische plooiingsfase verplaatst zich naar het noorden waardoor gans ons land een continentale fase kent en er erosie plaatsgrijpt.

Sinds het **Midden-Krijt** had de zee vanuit het Bekken van Parijs ook de Kom van Bergen bereikt, maar het Massief van Brabant vormde blijkbaar nog een onoverkomelijke hindernis. Pas tijdens het **Campaniaan** (Boven-Krijt), omdat het peil van de zee zeer aanzienlijk steeg, werd ook ons gebied overspoeld (Afb. 1.9). Tijdens de lange voorafgaande tijd, meestal onder nog tropisch klimaat, was het land behoorlijk afgevlakt. De transgressie spaart plaatselijk enkele residuele bodems van die schiervlakte; hierop wordt een glauconiethoudende laag afgezet: de Herve Smectiet. Aan de basis zandig, toont de opeenvolging naar klei en mergel de dieper wordende zee vanuit het noordoosten.

Een groot deel van toenmalig Europa werd uiteindelijk door de zee bedekt. Slechts lage vlakke eilanden bleven over, zoals misschien een stuk Ardennen en het Centraal Massief, de Alpen bestonden nog niet. Daardoor werd er zeer weinig puin, zand en klei, in zee gebracht. Toch bezonk er overvloedig slijk dat bijna uitsluitend bestond uit de resten van micro-organismen, zo klein, een paar micrometer, dat ze pas werden ontdekt toen echt goede micros-

copen ter beschikking kwamen. Deze coccolithen bestaan uitsluitend uit calciet (CaCO_3) en het afgezette slijk werd zuiver wit krijt. Iedereen kent wel de hagelwitte krijtrotsen van Calais en Dover, maar zou het ook u niet verwonderen ditzelfde uitzonderlijke gesteente tot in de Krim terug te vinden. De tijd waarin het zo typisch voorkomt werd daarom naar het gesteente de Krijt-periode genoemd. Dergelijk gesteente komt ten noorden van het Massief van Brabant overal in de ondergrond voor. Het dagzoomt wel in de Voerstreek en ruim in Nederlands Limburg als **Gulpen Fijnkrijt** (Afb. 1.10)



AFB. 1.9 PALEOGEOGRAFIE TIJDENS HET BOVEN-KRIJT
De zee overspoelt opnieuw het inmiddels afgevlakte landschap.

Naar het einde van het Krijt ontstaan er bodembewegingen en de zee trekt zich geleidelijk terug, zo ook van de oprijzende Ardennen. In de nu ondiepe strandzeeën krioelt het van organismen waarvan skeletten en schelpen door de golven tot korrelkrijt worden gemalen. In de valleiwanden van Maas en Jeker rond Maastricht is dit prachtig ontsloten en daarom Maastricht Korrelkrijt genoemd. Het voorblad van dit hoofdstuk toont een mooi geologische profiel te Kanne. In het **Maastricht Korrelkrijt** komt een geelkleurige laag voor die bijzonder geschikt is als bouwsteen en dan ook systematisch werd ontgonnen. Hierop rusten fijne zanden van het Tongeriaan, het geheel wordt afgedekt door een eolische leemlaag.

De rijke fauna wordt er al twee eeuwen grondig bestudeerd, waardoor het afsluitend tijdvak van de Krijt-periode internationaal als **Maastrichtiaan** bekend is.

2.C HET CENOZOÏCUM

Cenozoïcum betekent periode van de recente organismen. En inderdaad op het einde van het Maastrichtiaan verdwijnen plots een ontelbare hoeveelheid soorten, ja hele geslachten en families. Daarna ontstaan geleidelijk aan nieuwe soorten die leiden tot de huidige biologische wereld. Deze enorme evolutie is sinds lang bekend en was de basis voor de indeling Secundair-Tertiair, nu Meso-Cenozoïcum. Begrepen is ze echter nog



AFB. 1.10 GULPEN FIJNKRIJT

Te Lixhe wordt het Gulpense Fijnkrijt in een uitgestrekte groeve ontgonnen. Het witte krijt wordt er bedekt door gele loess.

niet, al is wel iedereen het er nu over eens dat een trage Darwiniaanse evolutie hiertoe niet in staat is. Van mogelijke catastrofale oorzaken wint de hypothese van een botsing met een reuzenmeteoriet steeds meer veld.

Deze nieuwe Era, die al 67 miljoen jaar duurt, groepeerd het **Tertiair** en het **Quartaire** Tijdperk. Dit laatste omvat slechts de laatste 2 miljoen jaar maar is wel heel belangrijk omdat de aarde dan drastische klimaatwisselingen heeft gekend en daarom ook wel de **Ijstijd**-periode wordt genoemd (Afb. 1.3). En zeker belangrijk omdat ontstaan en ontwikkeling naar de moderne mens hierin heeft plaats gevonden. Het Cenozoïcum wordt in tijdvakken ingedeeld die verwijzen naar de evolutie van de organismen sinds het Krijt tot nu: paleo-(ceen):oud (leven), eo-:vroeg, oligo-:weinig, mio-:midden, plio-:veel, pleisto-:meest, holo-:alles.

2.C.1 De tertiaire periode

In 1850 had A. Dumont zijn regeringsopdracht vervuld om een geologische kaart van het land op te nemen, die op schaal 1:160.000 werd gepubliceerd. In het Vlaams Gewest vormen lagen van Tertiaire ouderdom het substraat, maar ze zijn bijna overal bedekt door een mantel van Quartaire afzettingen. Door een moeizaam bezoeken van alle kleine groeven, holle wegen en eerste spoorwegin-snijdingen was hij er toch in geslaagd de zanden en kleien van de ondergrond in laagpakketten in te delen en hun correcte opeenvolging te ontrafelen. Zijn systeem vormt nog altijd de basis van de geologische indeling.

2.C.1.a Het Paleoceen (Afb. 1.11 en 1.12)

In het bovenste deel van wat op het eerste gezicht Maastricht Korrelkrijt was, vond men in de kernboringen en mijnschachten van het oostelijk Limburgs Steenkoolbekken een overvloed van duidelijk Tertiaire fossielen. De schelpen zijn dikwandig en vele erg groot, typisch voor warme zeeën. Ze waren identiek aan die welke in de Grove Kalksteen van Bergen waren gevonden en waarvoor het **Montiaan** tijdvak was geschapen. De laag werd later bij het graven van het Albertkanaal uniek ontsloten, wat de naam **Vroenhoven Korrelkalksteen** wettigt (Afb. 1.13). Dit verharde krijt wordt ook op enkele plaatsen rond Parijs aangetroffen. Het stelt ons in staat te besluiten dat een ondiepe, warme subtropische zee zich ruim uitstreckte, met verbinding naar de zuidelijke Atlantische Oceaan. En dat ook na de "metoor-inslag" West-Europa er nog erg vlak bijlag, met nog een krijtachtig milieu.

In dezelfde boringen wordt de korrelkalksteen bedekt door een complex van zwarte kleien, soms typisch bloedrood gevlekt, met lignietresten en hierop fijne zanden met brakwaterfauna. Ze worden samengevat als **Formatie van Eidsen**. Ze leert dat de zuivere kalkzee plaats maakt voor lagunes met aanvoer van puin vanaf oprijzend land. De formatie werd trouwens slechts uitzonderlijk bewaard, waar ze samen met de Vroenhoven Korrelkalksteen door lokale bodemdaling werd gespaard van latere erosie.

In de ondergrond van de Kempen en Haspengouw volgt hierop een uniforme laag fijn, grijsgroen glauconiet-zand die bij de taalgrens dagzoomt: het **Orp Zand**. Het is



**AFB. 1.13 VROENHOVEN
KORRELKALKSTEEN**

De Vroenhoven Korrelkalksteen rust op het Maastricht Krijt, het contact is aangegeven door een pijl. De lithologie van beide afzettingen is gelijkaardig. Tussen beide afzettingen sloeg de meteor in, waardoor hun fauna echter totaal verschillend is.

Daarna zet een opnieuw stijgend zeepeil een nieuwe forse transgressie in, die de Noordzee tot aan Parijs brengt. Ze begint weer met een dunne laag **Overbroek Glauconietzand**, die in de groeve aldaar de onderliggende mergel afsnijdt, maar verder naar het zuiden onmiddellijk op de Paleozoïsche sokkel rust. Dit levert het bewijs dat de zee de bult heeft weggeschaafd die door de opheffing van Brabant was ontstaan. Hierop wordt een tientallen meter dikke laag kleilig zand afgezet, die in Haspengouw plaatselijk nog zeer kalkrijk is: de **Lincen Tuffeau**. In de diepere zee van

de Kempen wordt gelijktijdig vette klei afgezet, en op de stranden bij Parijs zuiver schelprijk zand. Het hoge zandgehalte van die zee maakt duidelijk dat de randgebieden van de Noordzee reeds hoger opgerezen zijn en dus meer puin kunnen leveren. Wanneer deze zee zich terugtrekt tot in Nederland, schuift het strand mee en laat ook bij ons een laag zand achter: het **Hoegaarden Zand**. Al deze lagen, die in Haspengouw nu mooi ontsloten zijn, worden samengevat als **Formatie van Hannut**.



AFB. 1.14 CONTACT FORMATIE VAN HEERS EN FORMATIE VAN HANNUT

Na de afzetting van de bleke Gelinden Mergel aan de basis van de wand trekt de zee zich tijdelijk terug om daarna terug op te komen en glauconietrijke strandzanden af te zetten: het donkergroene Overbroek Glauconietzand. Het contact tussen beide afzettingen is duidelijk waar te nemen in een wand te Overbroek. Naarmate het bekken verdiept, wordt het kalkaandeel in het sediment terug groter en wordt het blekere Lincen Tuffeau afgezet.



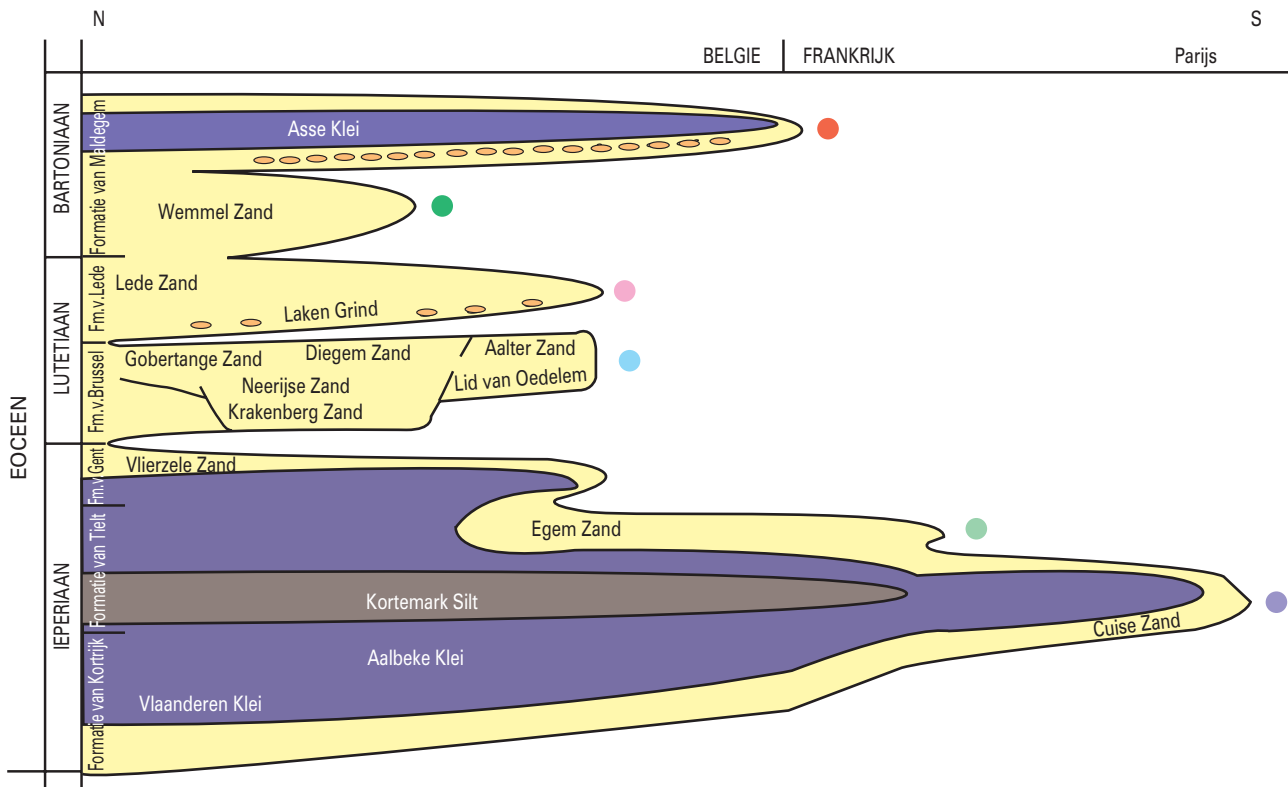
AFB. 1.15 ROMMERSOM KWARTSIET
Het Hoegaarden Zand is gebleekt door de-humuszuren uit het moeras van het Bos van Overlaar. Verkiezeling is opgetreden waardoor het zand werd omgezet tot kwartsiet met typische globde vormen (Rommersom).

Terwijl de zee zich terugtrok, viel het strandzand droog en kon het begroeien. Het is zeer uitzonderlijk dat een dergelijk bosbestand bewaard blijft. Dit gebeurde nochtans in de streek van Tienen, doordat de afgestorven boomstronken rechtop verkiezelden. In de insnijding van de E40 bij

Overlaar zijn ze zichtbaar geweest. Gelijktijdig werd het zand zelf verkiezeld tot de uitermate harde **Rommersom Kwartsiet** (Afb. 1.15). Elders ontstonden lagunes waarin zware klei werd afgezet en er mondde een stroom uit (de oer-Maas?) waarvan de bedding overblijft met grof zand en keien gevuld. In één van de keilaagjes, bij Hakendover, worden sinds lang overvloedige resten gevonden van één van de oudste en rijkste zoogdieren fauna's van Europa. Teilhard de Chardin maakte er de eerste studie van. Al deze continentale afzettingen worden samengevat als **Tienen Formatie**. De "tijd" waarin deze laatste sedimentatiecyclus van het Paleoceen valt, wordt in België het **Landeniaan** genoemd.

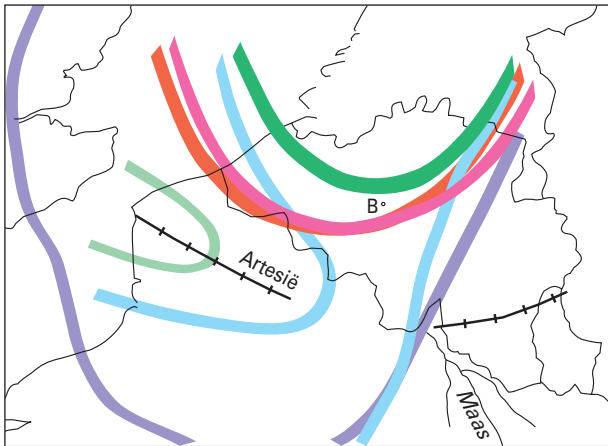
2.C.1.b Het Eoceen (Afb. 1.16 en 1.17)

Het Eoceen begint met een zeer opvallende transgressie: niet alleen reikt de Noordzee tot voorbij Parijs, maar tevens deint ze uit naar het westen tot voorbij Londen. De zuidelijke Noordzee bereikt hiermee haar grootste uitbreiding. Het zwaartepunt verschuift daarbij naar het westen en de bodem van de zee zakt snel weg. In een eerste tijd, het **leperiaan**, kan er in dat dalende bekken meer dan 150 m sedimenten worden geborgen. Het begint met goed 100 m **Vlaanderen Klei**, die nu **leperiaan-klei** wordt genoemd. De weinige fossielen getuigen van een



AFB. 1.16 STRATIGRAFIE VAN HET EOCEEN

Het Eoceen start met een belangrijke invasie van de zee: tijdens het Ieperiaan reikt de Noordzee tot aan Parijs. In het diepe bekken wordt een meer dan 100 meter dikke kleilaag afgezet. Daarna trekt de Noordzee zich schoksgewijs terug. De-geografische verbreiding van elke zee-invasie is met een overeenstemmende kleurencode in figuur 1.17 weergegeven.



- De verbreiding van de Noordzee tijdens de afzetting van de Asse Klei
- De minst verre uitbreiding tijdens het Vroeg-Bartoniaan
- De afgesloten Noordzee tijdens het Laat-Lutetiaan
- De nauwe opening naar de Golf van Biskaye tijdens het Vroeg-Lutetiaan
- De Artesische kust op het einde van het leperiaan
- De verste uitbreiding tijdens het leperiaan
- ↔ As van opgeheven gebied

AFB. 1.17 PALEOGEOGRAFIE TIJDENS HET EOCEEN
Noordzee-kusten tijdens het Eoceen.

diepe zeebodem met gering zuurstofgehalte. Laagjes van zeer fijn zand worden bij stormweer aangevoerd van de verre stranden. De bovenste laag, de **Aalbeke Klei**, is zelfs volkomen zandvrij en zo de zuiverste mariene klei van ons Tertiair.

De kenmerken van de hierop liggende **Formatie van Tielt** tonen dat het bekken stilaan gevuld raakt eerst met grof slijk, het **Kortemark Silt**, en dan met het fijne **Egem Zand**. Dit laatste is in woelig water met sterke stroming afgezet en bevat trouwens veel fossielen die op zuurstofrijk water wijzen. De zee is dus in regressie en het strand beweegt noordwaarts over Vlaanderen. In ondiep water worden in een beperkte golf nog een aantal dunnere lagen afgezet die als **Formatie van Gent** worden samengevat en eindigen met het strand nabije **Vlierzele Zand** (Afb. 1.18).

Het terugtrekken van de leperiaan zee is in aanzienlijke mate beïnvloed door de sterke opheffing van de as Weald-Artésië-Ardennen, een verre rimpel van de plooiing van de Pyreneeën door het opschuiven van het Afrikaanse continent. Een gevolg was ook het blokvormig wegzakken van het Engels Kanaal tussen Bretagne en Cornwall. Warm Atlantisch water drong opnieuw binnen en maakte de verbinding met de Noordzee door het laagste punt van de as van Artésië heen: het Nauw van Laon. Zoals nu door het Nauw van Calais werden sterke getijdestromingen veroorzaakt die in Brabant ten oosten van de Zenne een brede zuid-noord geul uitdiepen in de zeebodem. Gemiddeld 30 m van de leperiaan-afzettingen worden weggeschuurd, maar in plaatselijke evenwijdige geulen wordt het Landenian bereikt en zelfs de sokkel van het Massief van Brabant. Met deze doorbraak begint de **Lutetiaan** tijd (Lutetia = Parijs).

De diepe geul begon zich dan op te vullen, waarschijnlijk gelijktijdig met erosie op andere plaatsen. Het is eerst het grove **Krakenberg Zand**, volledig opgebouwd met schuine gelaagdheden, afhellend in de richting van de stromingen, evenwijdig aan de geulen. Dan volgt het nog steeds schuin gelaagde, middelmatig fijn **Neerijse Zand**, wat bewijst dat de intensiteit van de stromingen afneemt. Sommige kenmerkende zandlichamen hebben duidelijk de vorm en de structuur van lange zandbanken zoals er ook nu weer voor onze kust liggen. Zeer kenmerkend komen in deze zanden onregelmatige knollen tot platen opaalzandsteen voor, zogenaamde grotstenen. Ze ontstonden door aaneenklitting met het opgeloste opaal van de skeletnaaldjes van sponzen die overvloedig in het water voorkwamen. De opvulling eindigt aan de twee kanten van de geul met de fijne **Diegem** en **Gobertange Kalkzanden**, waarin veel regelmatigere banken kalkzandsteen voorkomen.

Al deze afzettingen werden samengevat als **Brussel Zanden** (Afb. 1.19). Het **Brusseliaan Event** heeft betrekking op de tijd dat het Nauw van Laon open was. Door voortgezette opheffing van Artésië sluit het inderdaad af, misschien geholpen door een daling van het zeepeil. Waarschijnlijk is dit gebeurd vóór de afzetting van de fijne kalkzanden. Er is inderdaad een zeer groot verschil tussen de overvloedige, maar fijne schelpen- en microfauna van onze kalkzanden en de reuzenschelpen en grove microfauna in het Bekken van Parijs. Het is de tegenstelling tussen een koelere boreale Noordzee en een subtropisch Bekken van Parijs gescheiden door het zandige istmus van Artésië, waarop toch palmen groeiden, zoals ingevlot hout en stuifmeelkorrels leren.



AFB. 1.18 VLIERZELE ZAND
Naarmate de leperiaan-zee zich terugtrekt wordt het sediment zandiger. Het Vlierzele zand wordt afgezet als een serie parallelle getijdebanken.



AFB. 1.19 BRUSSEL ZAND
Schuine gelaagdheden en boorgaten in de Brussel Zanden. De schuine gelaagdheden wijzen op sterke stromingen, de boorgaten op een marien milieu.

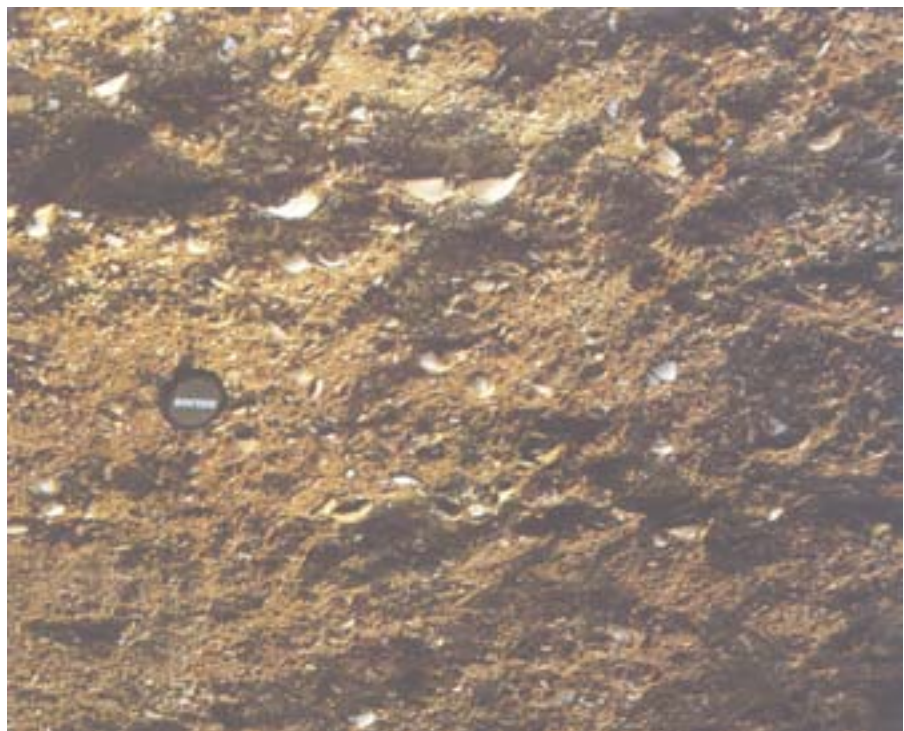
Ten westen van de Zenne was Zuid-Vlaanderen tijdelijk een deel van Engeland en, buiten de geul, vormen zich een aantal kustnabije afzettingen die als **Formatie van Knesselare** worden samengevat. Hierbij hoort het **Oedelem Lid**, fijne tot kleiige zanden met veel schelpgruis die werden afgezet aan een riviermonding, in wadden en lagunes. En hierop volgt het **Aalter Zand**, een fossielrijk strandzand (Afb. 1.20).

Een duidelijke stijging van het zeepil veroorzaakt hierna een transgressie die het strand tot tegen de as van Artesië brengt en die een erg homogene laag **Lede Zand** over het gehele gebied uitspreidt. Het zandbankenlandschap van Brussel wordt erdoor genivelleerd zodat aan de basis veelal grove, herwerkte bestanddelen voorkomen, het **Laken Grind**. Zolang het zand niet ontkalkt is, bevat het verschillende banken zeer gezochte kalkzandsteen.

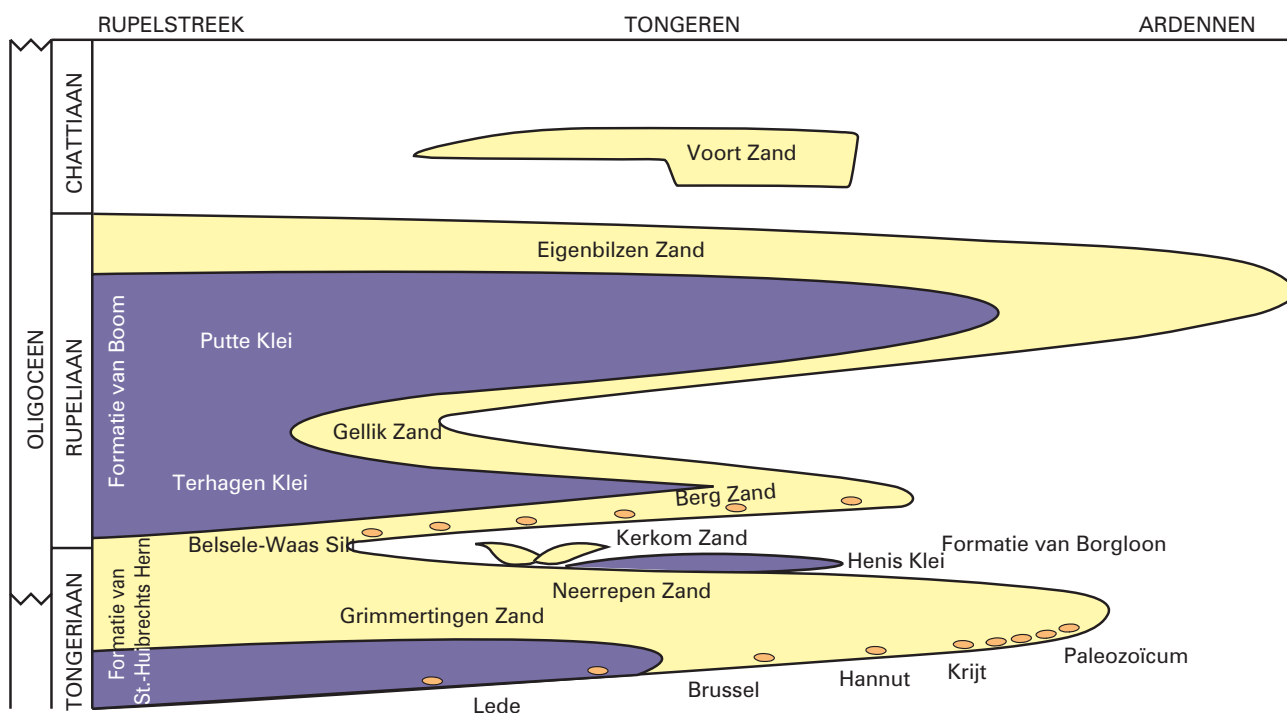
Hierop volgen nog een drietal afwisselingen van zand- en kleilagen die als **Formatie van Maldegem** worden samengevoegd en tot de volgende **Bartoniaan**-tijd behoren. Het onderste **Wemmel Zand** is een fossielrijk strandzand waarvan de

typelokaliteit ongeveer de meest zuidelijke verbreiding weergeeft. Hierop bevindt zich de **Zwarte Bank**, een laag bijna zuiver glauconiet die weer een belangrijke transgressie aantoont en gevonden wordt tot over de Franse grens. Ze wordt trouwens gevolgd door de zware **Asse Klei** wat bewijst dat die zee ook vrij diep was. De volgende schommelingen tonen een kleiner wordende Noordzee waarvan de sedimenten uiteindelijk alleen in boringen nabij de Nederlandse grens nog teruggevonden worden.

De Eoceen-periode begon dus met de grootste uitbreiding van de Noordzee naar het zuiden, zag de afzondering van het Bekken van Parijs en dan met talrijke schommelingen het inkrimpen van de zee. Er kwam progressief ook meer zand in die zee vanuit een steeds heuveliger ommeland; vooral de westelijke boord met Wales en Schotland waren reeds sterk opgerezen. Dan treedt zeer abrupt een uiterst belangrijke paleo-geografische verandering op. Als voorbode van de Alpiene plooiing zakt het Rijns bekken in. De Noordzee breidt zich aanzienlijk naar het oosten uit tot in Keulen en overspoelt de toen nog vrij vlakke Ardennen en Condroz. We behandelen deze grote vernieuwing aan het begin van een nieuwe periode: het Oligoceen.



AFB. 1.20 AALTER ZAND
Het fossielrijke Aalter Zand werd afgezet als strandzanden langs de opwelving van-Artesië.

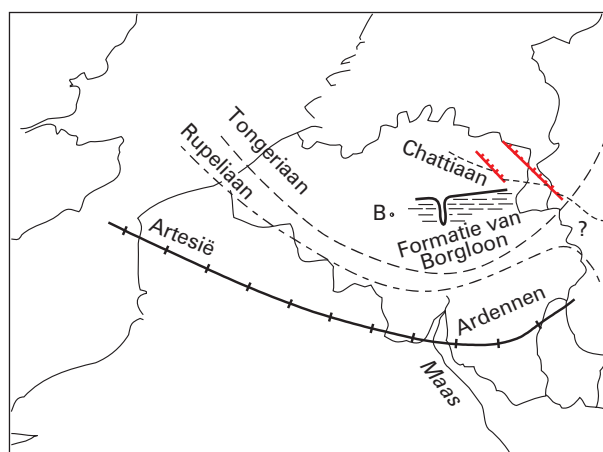


AFB. 1.21 STRATIGRAFIE VAN HET OLIGOCEEN
Tijdens het Tongeriaan dringt de zee ver door naar het zuiden en overdekt achtereenvolgens het Lede Zand, het Brussel Zand, de Formatie van Hannut, het Krijt, en ten slotte zelfs de Paleozoïsche gesteenten in de Ardennen. De Oligocene Noordzee zet een dik kleipakket af in het bekken en zandigere sedimenten aan de kusten.

2.C.1.c Het Oligoceen (Afb. 1.21 en 1.22)

De uitzonderlijke nieuwe transgressie naar het zuidoosten overspoelt land dat een hele tijd buiten bereik van de zee was gebleven en dus heel wat riviererosie had gekend. Daardoor bedekt de nieuwe zee naar het oosten steeds oudere lagen: vanaf Leuven de Brussel Zanden, vanaf Tienen de Formatie van Hannut, vanaf St.-Truiden de Formatie van Heers, vanaf Tongeren het Krijt en bij Luik zelfs rechtstreeks het Paleozoïcum. Over die zeebodem wordt het zeer homogeen, kleiig, **fijn Grimmertingen Glimmerzand** afgezet. Het is herkenbaar in Nederlands Limburg en tot in het Rijns Bekken. Bijna zeker door een zeepeildaling volgt een korte regressie waardoor de strandlaag **Neerrepen Zand** hierop wordt afgezet. Dit reikt tot de laagste stand van de fossiele kustlijn bekend van Leuven tot Heerlen. Samen worden de afzettingen ondergebracht in de **Formatie van St.-Huibrechts Hern**, naar de typeboring die hier werd uitgevoerd. De lagen zijn gemiddeld een 20-tal meter dik. Al die namen komen uit de buurt van Tongeren waar talrijke ontsluitingen haast sinds twee eeuwen werden bestudeerd. Het betreffende tijdvak wordt dan ook **Tongeriaan** genoemd.

Op de vrijgekomen kustvlakte wordt een weelde van moerasafzettingen gevormd die wonderwel bewaard zijn



—+— As van opgeheven gebied
- - - - - Breuk

AFB. 1.22 PALEOGEOGRAFIE TIJDENS HET OLIGOCEEN

Meest zuidelijke verbreidingen van de Noordzee tijdens het Oligoceen.

De Oligocene Noordzee breidt zich naar het oosten uit door de beginnende inzakkings van de Rijn Slenk, maar wordt naar het zuiden gestopt door de opwelling van de as Artesië-Ardennen.

De Formatie van Borgloon werd in een brede lagune afgezet.

en door hun fossielrijkdom paleontologisch zeer belangrijk zijn. In uitgestrekte lagunes wordt de vette **Henis Klei** afgezet (Afb. 1.23). Brakwaterinbraken leveren de schelprijke **Oude Biezen** en **Boutersem Mergels**. In de geul van een estuarium (weer de oer-Maas?) zijn de Kerkom Stroomzanden bewaard. In lokale plassen werden de **Hoogbutsel** en **Hoeleden Laag** afgezet waaruit een uitermate rijke en beroemde vertebratenfauna werd opgegraven. Al deze perimariene afzettingen worden samengevat als **Formatie van Borgloon**.



AFB. 1.23 HENIS KLEI

De Henis Klei (Formatie van Borgloon) is afgezet in een lagune die daarna verlandt. Dit resulteert in de afzetting van ligniet, de donkere banden in de-top van deze wand te Borgloon.

Al die delicate afzettingen bleven in Haspengouw van erosie gespaard dank zij de snelle bedekking door de opnieuw vooruitschrijdende zee, die in feite na een korte onderbreking de **Tongeriaan**-transgressie voortzet. De uitbreiding van de zee bereikt nu een tweede maximum tijdens het Tertiair. Ze geraakt niet over de as van Artesië maar

dringt diep door in de Ardennen. Er zijn aanduidingen dat ze het bekken van de beneden Moezel bereikte en aansluiting vond met een zeearm in de Rijnslenk van Mulhouse. Van een zo uitgebreide zee kan men verwachten dat ze ook diep was. En inderdaad, na de Ieperiaan-klei, wordt een tweede dikke kleilaag afgezet, de **Boom Klei**, die in de ondergrond van de Kempen tot 100 m dik wordt (Afb. 1.24). Zijn typische gebande structuur en het voorkomen van platte kalkversteningen, de septaria, vindt men terug tot in Saksen waar hij als Septarien-Ton gekend is. In het ontsluitingsgebied langs de Rupel kan men een onderste lid de grijze, meer kalkhoudende **Terhagen Klei** onderscheiden van een bovenste donkerdere, meer organische **Putte Klei**. Waar in het Land van Waas de basis zichtbaar is blijkt die zandiger te worden wat als **Belsele-Waas Silt** wordt aangeduid.

In zuidoost-Limburg, waar de zee al minder diep was, zijn de schommelingen van haar peil weerspiegeld door scherpe afwisselingen van zand en klei. Het **Berg Zand** aan de basis en daarop de **Kleine-Spauwen Klei** zijn zeer schelpenrijk en illustreren de overgang van een strand naar de diepere zee. Het volgende **Gellik Zand** (vroeger Kerniel Zand) betekent een kortstondig ondieper worden van de



AFB.1.24 BOOM KLEI

De horizontaal gelaagde Boom Klei is een cyclische afzetting met wisselingen in klei- en siltgehalte, in organische materiaal en in carbonaat-gehalte.

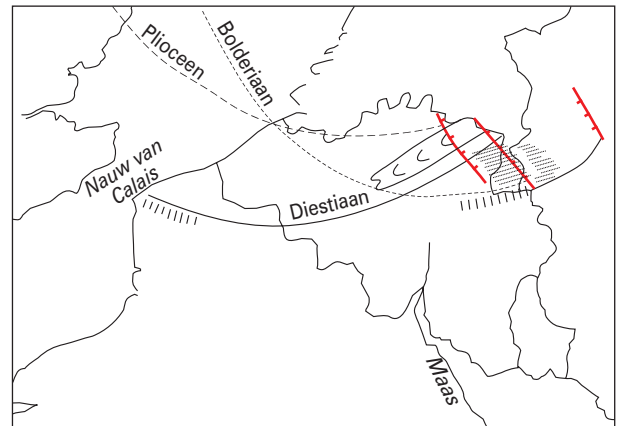
zee, waarna een mufte klei, de Putte Klei, de diepste zee en dus ook de verste transgressie vertegenwoordigt. Het afsluitende kleirijk **Eigenbilzen Glauconietzand** kondigt het ondieper worden van de zee aan en is het begin van een grote regressie.

Het tijdvak waarin deze evolutie zich afspeelt werd **Rupeliaan** genoemd. Al haar lithologische eenheden documenteren een prachtige sedimentatiecyclus, één van de best ontrafelde ter wereld. Geen wonder dat het Rupeliaan een internationaal begrip is geworden. Zoals de Tongeriaan-transgressie veroorzaakt werd door het begin van de Alpiene plooiing, zo is de Rupeliaan-regressie het gevolg van het paroxisme ervan. Door de druk van de Alpen-plooi bundel, en eigenlijk van Afrika erachter, rijzen de oude massieven ervoor omhoog: Ardennen, maar ook Vogezen en Centraal Massief. Langs oude reklijnen storten panelen van de aardkorst in en ontstaan diepe slenken. Het uitzicht van het huidige Europa wordt op dit moment geboren.

Tijdens de volgende tijd, het **Chattiaan** (van Kassel), bedekt de zee nog Noord-Duitsland en vult de zakkende slenken op zoals de Roerdal Slenk. De randbreuken van deze slenk lopen door noordoost-Limburg zodat ten oosten ervan tot 60 m **Voort Zand** werd afgezet, terwijl de zeegolf naar het westen amper over de breukranden heengreep. Het was de eerste periode van sterke aardbevingsactiviteit.

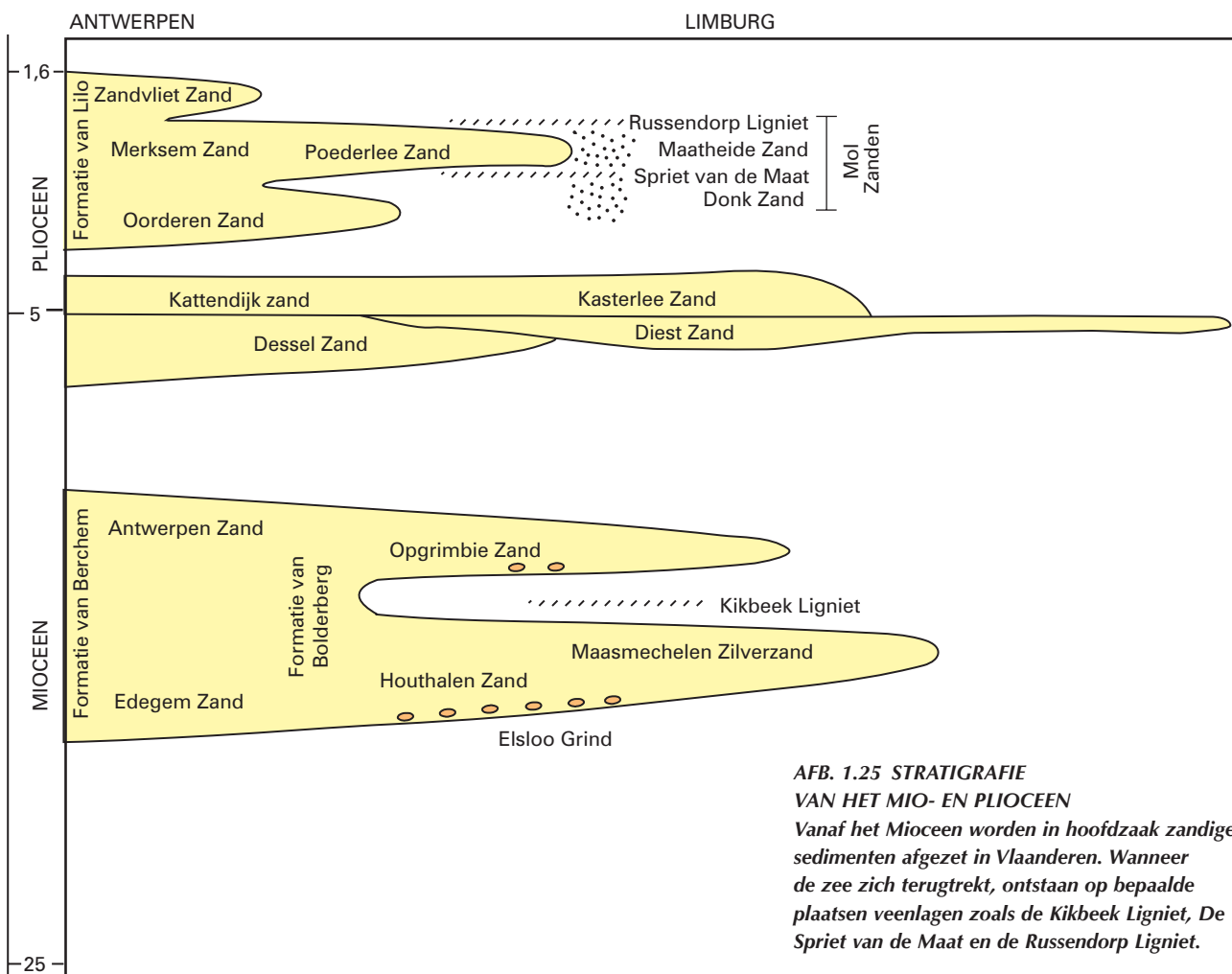
2.C.1.d Het Mioceen (Afb. 1.25 en 1.26)

Het Mioceen-tijdperk is dus voor ons land overwegend continentaal. De Ardennen waren al een paar honderd meter opgeheven, Midden-België was een



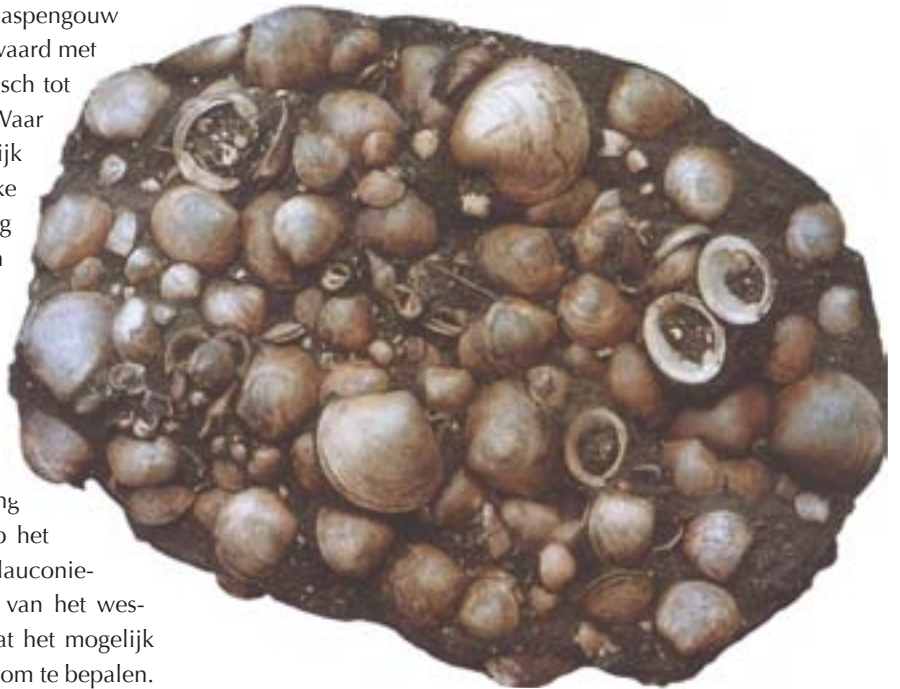
- Diepe Diestiaan-geul
- Dikke Bolderiaan-afzettingen in de slenk
- Breuk
- Zeeklif

AFB. 1.26 PALEOGEOGRAFIE VAN HET MIO- EN PLIOCEEN
Noordzeekusten tijdens het Mioceen en het Plioceen. De Bolderberg Zanden worden zeer dik naar de Rijn Slenk toe, vooral waar breukwerking optreedt.



AFB. 1.25 STRATIGRAFIE VAN HET MIO- EN PLIOCEEN
Vanaf het Mioceen worden in hoofdzaak zandige sedimenten afgezet in Vlaanderen. Wanneer de zee zich terugtrekt, ontstaan op bepaalde plaatsen veenlagen zoals de Kikbeek Ligniet, De Spriet van de Maat en de Russendorp Ligniet.

laagvlakte. Hier en daar, in Brabant en Haspengouw zijn delen van het toenmalig landschap bewaard met rode bodems die getuigen van het subtropisch tot warm-gematigde klimaat dat toen heerste. Waar die landschappen zijn bewaard, is duidelijk later geen zee meer geweest. De zuidelijke "Vlaamse" bocht van de Noordzee was erg gekrompen en beperkt tot een inham in Zuid-Nederland. Een belangrijke zeecyclus bereikt toch de Kempen. In Limburg worden de gele **Bolderberg Zanden** afgezet. Ze zijn tot 50 m dik en toch zuiver kleilloos zand, gewassen onder invloed van golven en stromingen in een ondiepe zee-golf. Aan de basis ligt het **Elsloo Grind**, herwerking van de spaarzame harde elementen die op het land aanwezig waren. Hierop volgt licht glauconietisch **Houthalen Zand** dat in de boringen van het westelijk mijnbekken zeer fossilrijk wordt, wat het mogelijk gemaakt heeft een Midden-Miocene ouderdom te bepalen. De gele zanden worden naar boven toe spierwit doordat ze van alle ijzeroxiden zijn ontdaan: het **Maasmechelen Zilverzand**. Dit komt alleen voor waar het zand wordt opgevolgd door de **Kikbeek Ligniet** (Afb. 1.27). Deze lignieten werden gevormd in uitgebreide kustmoerassen tijdens een korte regressie van de zee. De overvloedige humuszuren, die ontstonden door de ontbinding van de plantenresten, bleekten de onderliggende zanden. Tijdens die afzetting



AFB. 1.28 HET ANTWERPEN FOSSIELZAND
Het Antwerpen Zand wordt gekenmerkt door een hoog glauconietgehalte (tot 80%) waardoor het een donkergroene tot zelfs zwarte kleur vertoont en door de talrijke schelpenlagen afgezet in ondiep water. Door de golfwerking ligt het overgrote deel van de schelpen met de bolle kant naar boven.

zakt de Roerdal Slenk verder in zodat de lignietlagen in de continu zakkende moerassen er meer dan 100 m dik worden. Ten oosten van de randbreuk, de Feldbiss te Aken, wordt deze rijkdom op grote schaal ontgonnen. In Limburg worden de kustmoerassen echter bedekt door een nieuwe zeepuls die het **Oprimbie Zand** afzet (Afb. 1.27). Naar het zuiden drong de Bolderberg-zee niet ver door. Een grindstrand vertrok aan de toenmalige krijtkliffen van Heerlen tot Tongeren en strekte zich uit tot Leuven.

In het westen van de provincie Antwerpen rusten op de Boom Klei mariene zanden met een zo hoog gehalte aan donkergroen glauconiet dat ze bijna zwart zijn: de **Formatie van Berchem** (Afb. 1.28). Ze zijn erg fossilrijk en daaruit blijkt dat ze ongeveer van dezelfde ouderdom zijn als het **Bolderberg Zand**. Ook laten zij een dubbele zeeschommeling zien. De hele tijd werd daarom vroeger als Bolderiaan samengevat. Er blijven echter nog veel vraagtekens, niet alleen omdat door latere erosie de verbinding tussen de Limburgse en Antwerpse afzettingen werd onderbroken. Ook is de bijzonder bruuske overgang merkwaardig van de typisch volmariene zanden uit de Antwerpse ondergrond aangevoerd uit het Schotse hoogland naast de Limburgse kusthaffen met sedimentaanvoer uit het Europese binnenland.

De Noordzee krimpt daarna weer en pas naar het einde van het Mioceen toe verschijnt opnieuw een zeebocht in de Noorderkempen waarin het **Dessel Zand** wordt afgezet, alleen in boringen trouwens bekend. Daarop volgt



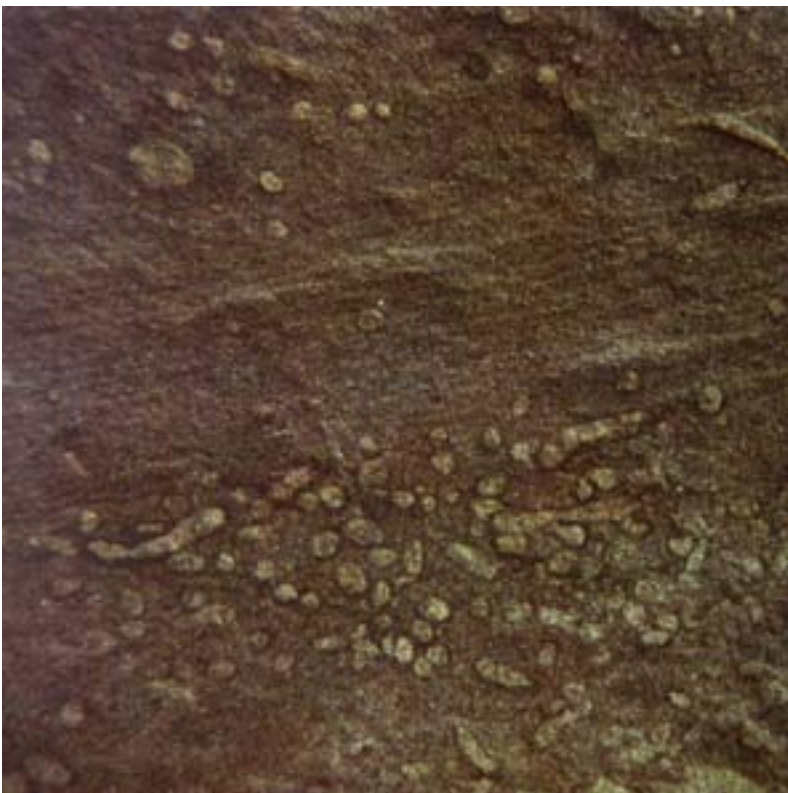
AFB. 1.27 DE FORMATIE VAN BOLDERBERG
Het spierwitte Maasmechelen Zilverzand wordt op de voorgrond intensief ontgonnen. Op deze zanden komt een met ligniet opgevulde geul voor: de Kikbeek Ligniet is de donkere band aan de basis van de groeewand. Hierop werd door de zee het Oprimbie Zand afgezet. Pas veel later heeft de Maas hierover een grindpuinkegel gestort: de geelbruine afzettingen achteraan in de-groeve.

echter een spectaculaire zeetransgressie, de grootste sinds het Eoceen, waarbij het typische ijzerhoudend **Diest Zand** afgezet wordt. Het is herkenbaar vanaf Kwaadmechelen over het Hageland, langs de heuvels van Zuid-Vlaanderen die nog de lijn van het verste strand volgen en tot aan de toenmalige, maar nog herkenbare zeekliffen bij de Kaap Blanc Nez. Het is een grof glauconiethoudend zand, later meestal tot ijzersteen verweerd, typisch afgezet in schuine gelaagdheden door sterke noordoostelijke gerichte stromingen die dus evenwijdig aan de kust liepen (Afb. 1.29). Merkwaardig is dat het een diepe geul opvult, 20 km breed van Ramsel tot Pellenberg en vanaf Everberg over meer dan 100 km te volgen naar het noordoosten door de Kempen. De geul, bestaande uit parallelle voren, is tot 80 m diep, ruimt de Bolderberg Zanden op en breekt bij Laakdal zelfs door de Boom Klei. In erosie en sedimentatie zijn, zoals tijdens het Brusseliaan, de kracht van uiterst sterke getijdestromingen te herkennen. De transgressie had dus verbinding gemaakt met het Kanaal. Omdat de toenmalige kustlijn tot aan het Nauw van Calais reikt en geen andere opvallende doorgang bestaat, is een verbinding zoals nu waarschijnlijk. Ook nu weer is het binnendringend Atlantische water relatief warm en brengt nieuwe fauna-elementen aan met afzetting in het rustiger randwater van kalkrijke bryozoën-zanden.

De regressie van de zee, terug tot in de Noorderkempen, moet zeer snel zijn geweest, aangezien de zandbanken die voor de kust lagen van erosie werden gespaard. Hun structuur kon de latere erosie voldoende oriënteren om de parallelle heuvels van het Hageland te veroorzaken.

Deze merkwaardige zeecyclus, met zijn unieke documentatie, verdient een eigen naam: de **Diestiaan event**. Wil men nadenken over de waarde van de schommeling van het Diestiaan zeepeil, dan moet men bedenken dat het strand langs de as van Artesië niet 150 m hoog was zoals nu. Inderdaad dit horizontale strand ligt nu op 100 m bij Pellenberg en 60 m bij Kwaadmechelen. De huidige schuine ligging is een tastbare maat voor de latere tectonische scheefstelling: opheffing nog van Artesië en Brabant, daling van de Noordzeebodem in de Kempen. Het reliëf was dus tijdens het Diestiaan nog veel vlakker en de zeetransgressie was het gevolg van een veel geringere zeepeilstijging dan de huidige hoogteligging van het strand laat vermoeden.

Rond die tijd doet er zich een andere merkwaardige gebeurtenis voor. Door het verder opschuiven van Afrika, heffen het Atlas-gebergte en de Sierra Nevada in Spanje zich verder op en sluit de Straat van Gibraltar zodat de Middellandse Zee een binnenzee wordt. In het warm-droge klimaat is de verdamping van het zeewater belangrijker dan de neerslag plus de aanvoer van rivierwater. Ook nu bestaat dit deficit en wordt het aangevuld door een zee-stroom van Atlantisch water. Bij gebrek hieraan dampte de Middellandse Zee geleidelijk in, en een dikke laag zeezout onder de zeebodem bewijst dit. Het verdampte water viel elders terug als neerslag en deed het oceaanepeil evenredig stijgen, naar raming met 15 m. Toen de Straat van Gibraltar opnieuw functioneerde, kan men zich indenken dat de oceaan in een minimum van tijd de put weer vulde en zijn eigen normaal peil dus ook herstelde. Deze merkwaardige cyclus deed zich voor op het einde van het Mioceen, wan-



AFB. 1.29 HET DIEST GLAUCONIETZAND
Het Diest Glauconietzand werd afgezet als zandbanken en intens door zeewormen doorwoeld (Bennenberg, Nieuwrode)

neer ook de afzetting van het Diest Zand wordt geplaatst. Het Diestiaan vertegenwoordigt dus de korte tijd van wereldwijde stijging van het oceanapeil door uitdamping van de Middellandse Zee.

2.C.1.e Het Pliocen

Tijdens deze relatief korte laatste periode van het Tertiair komen een reeks zanden tot afzetting die de ondergrond bepalen ten noorden van de lijn Antwerpen-Herentals-Bree. We vermelden alleen de meest essentiële eenheden waarvan de hier geschetste samenhang trouwens niet altijd bevredigend is gekend.

In het westen heerst een Noordzeebaai die ook East-Anglia bereikt en waarvan kleine schommelingen min of meer strandnabije zanden afzetten. Kenmerkend is dat ze meestal zeer schelprijk zijn zodat alle havenwerken in het Antwerpse grote hoeveelheden fossielen aan het licht brengen. Aan de basis zet een nog relatief diepe zee, die trouwens tot in de Zuiderkempen reikte, het glauconietrijke, kleiige **Kattendijk Zand** af. Ze wordt opgevolgd door het zeer schelprijke **Oorderen Zand** dat verschillende strandgordels bevat en duidelijk regressief is (Afb. 1.30). Ook een leek moet het opvallen hoe de globale schelpenaanblik



AFB. 1.30 HET OORDEREN SCHELPEZAND
De Pliocene Noordzee trekt zich terug. In een brede baai worden zeer schelprijke strandzanden afgezet. Deze schelprijke strandzanden lijken, in vergelijking met de ongeveer 15 miljoen jaar oudere schelpen uit het Antwerpen Zand (zie Afb. 1.28), al heel wat meer op de schelpsoorten van het huidige Noordzeestrand.

van ons huidige strand verschilt. Het **Merksem Zand** vertoont opnieuw transgressieve kenmerken, en de schelpen hebben een grotere verwantschap met het huidige strand. In het uiterste noorden is het **Zandvliet Zand** een reeks van terugtrekkende stranden met nog alleen ontkalkte fossielsporen. Al die zanden samen zijn meer dan 70 m dik opgestapeld, wat erop wijst hoe de zeebodem voortdurend is blijven inzakken.

In het oosten zijn de randbreuken van de Roerdal Slenk zeer actief, zodat vanaf Bree wel 200 m sediment kon worden geborgen. Het zijn overheersend grove zanden en grind behorend tot de **Kiezelooliet-formatie**; hierin overheersen witte kwartskeitjes en kenmerkende verkiezelde oölietische kalksteen. Die werden in de slenk aangevoerd door rivieren vanuit het zuiden. De belangrijkste was eerst de Maas die in Aken in de slenk uitmondde en toen nog de hele westelijke Vogezen draineerde. Daarbij kwam de oer-Rijn die aanvankelijk alleen maar uit de Moezel-Saar bestond, maar later aan belang won toen zij er de Mainz bijkreeg en op het einde ook de Alpen-Rijn bemachtigde.

Tussen beide stromen worden de **Mol Zanden** afgezet in een deltaïsch milieu met tussenschakelingen van moerassen (Afb. 1.31). Het onderste **Donk Zand** vult een delta-arm op ingesneden in het **Kasterlee Zand (= Kattendijk Zand)**, en het wordt bedekt door de **Spriet van De Maat**. De breuk van Rauw, de uiterste westelijke rand van de Roerdal Slenk, is nu zeer actief zodat ten oosten ervan het bovenste **Maatheide Zand** in het wegzinkende compartiment wel 40 m dik kan worden. Hierop rust in de buurt van Postel nog een marien zand (= **Zandvliet Zand**) en is dit geheel meer dan 100 m dik.

2.C.2 De Quartaire Periode

Door het veranderende uitzicht van de aarde was het klimaat stilaan gaan verkoelen. Een grote brok van het oude Gondwana-continent was over de zuidpool aan het schuiven, zodat zich op Antarctica een enorme ijskap kon ontwikkelen. In de Arctische Oceaan bemoelijkten oprijzende drempels, zoals de Aleouten-eilandengordel, het doorstromen van warmer zeewater, zodat de hele omgeving eveneens afkoelde. Overal ter wereld bereikte het oprijzen van de gebergten recordhoogten, zodat ze zelfs op de evenaar de eeuwige sneeuwgrens bereikten en er zich gletsjers vormden. Maar ook de gemiddelde hoogte van de continenten was aanzienlijk gestegen wat



AFB. 1.31 DONK ZAND

De ontginning van het spierwitte Donk Zand wordt vergemakkelijkt door de slechts dunne laag dekzanden, maar bemoeilijkt door de hoge-watertafel.

overall een verkoeling meebracht. Zo werd het kritische punt bereikt waarbij de relatief kleine, steeds aanwezige schommelingen in insolatie (zonne-energie ontvangen door het aardoppervlak), verantwoordelijk werden voor aanzienlijke klimaatschommelingen. Verschillende keren vormden zich enorme ijskappen op Canada en Schotland-Scandinavië, die naar het zuiden uitdeinden, eenmaal zelfs tot Nijmegen-Krefeld. Zij koelden natuurlijk hun omgeving nog meer af. Voeg daarbij dat door het opbergen van neerslag in landijs het oceanpeil om en bij de 100 m kon dalen, waardoor bv. de zuidelijke Noordzee droogviel. Tot overmaat van ramp brak herhaaldelijk de noordelijke tak van de Golfstroom af, zodat we verstoken bleven van de invloed van tropisch zeewater. Al deze factoren samen leidden tot een temperatuurdaling van enkele graden; in onze streken daalde het jaargemiddelde enkele keren met 15°C. Koud genoeg opdat de bevroren grond ook 's zomers niet zou ontdooien en de toendra zou heersen. Glacialen, niet altijd even koud, wisselen zo cyclisch af met interglacialen waarin een gematigd klimaat, soms wel warmer dan nu, en plantengroei zich herstellen.

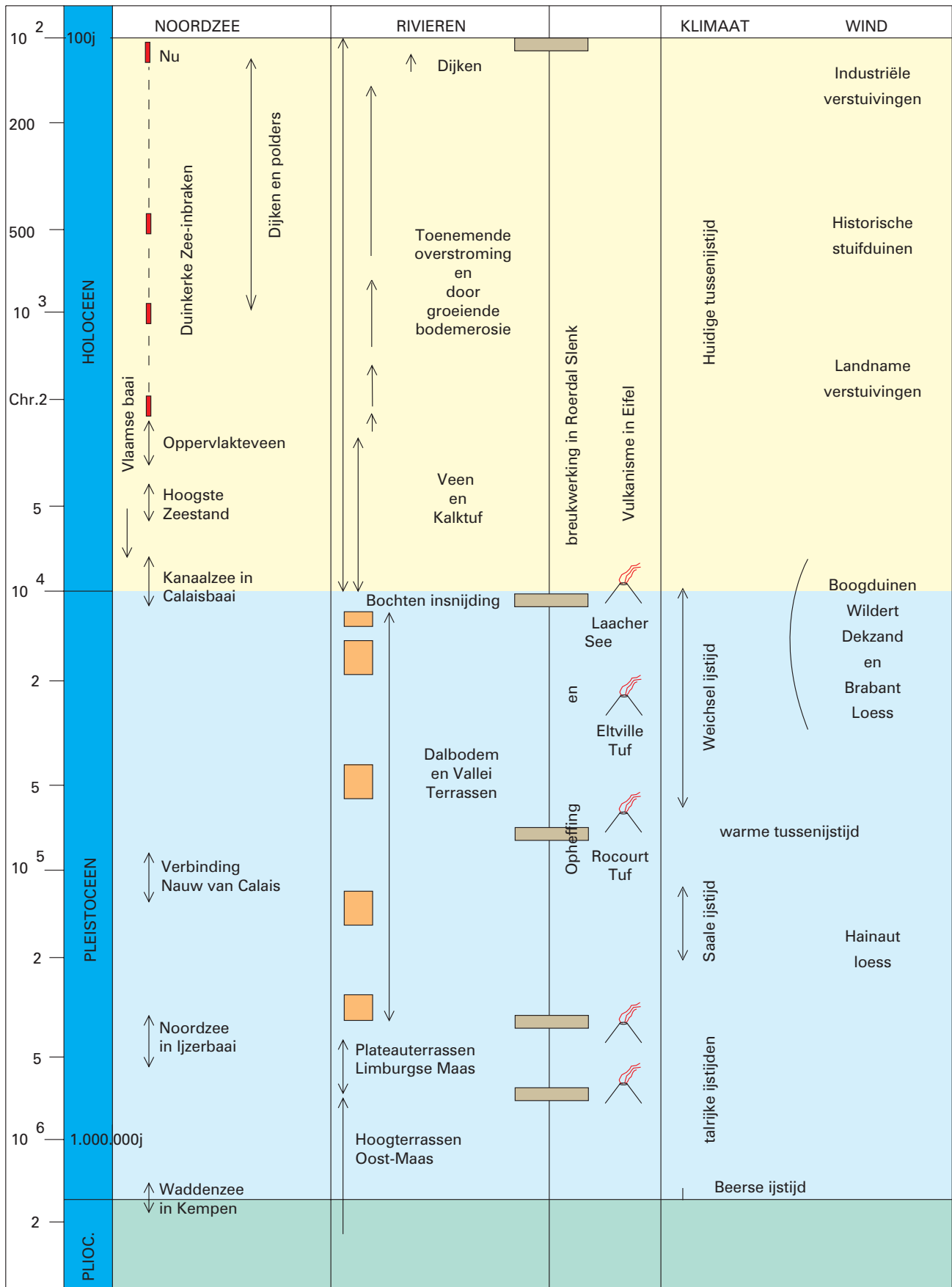
Deze uitzonderlijke gebeurtenissen van de ijstijden wettigen het samenvoegen in een afzonderlijke periode. Door overeenkomst laat men deze beginnen wanneer in de

Middellandse Zee de fauna deze verkoeling duidelijk registreert, blijkbaar zowat 1.700.000 jaar geleden (Afb. 1.32).

2.C.2.a Het Pleistoceen (Afb. 1.33)

Rond die tijd was de laatste zee (= **Zandvliet Zand**) in de Noorderkempen overgegaan in een wadkust waarop brakwaterschorren kleilagen werden afgezet: de **Kleien van de Kempen** (Afb. 1.34). Ze bevatten een lid bestaande uit zanden en veenlaagjes, het **Beerse Zand**. Dit lid toont een duidelijke regressie van de zee met afzetting van eolisch zand in plots erg koude omstandigheden die een toendralandschap benaderen. Vermoedelijk is de regressie het bewijs van een verhoogde hoeveelheid landijs. Dit maakte het mogelijk de **Beersiaan-ijstijd** te definiëren, het eerste glaciaal dat bij ons omstandig wordt geregistreerd. Andere feiten wijzen erop dat dit plaatsgrijpt rond de tijd dat men bij conventie het Quartair laat beginnen.

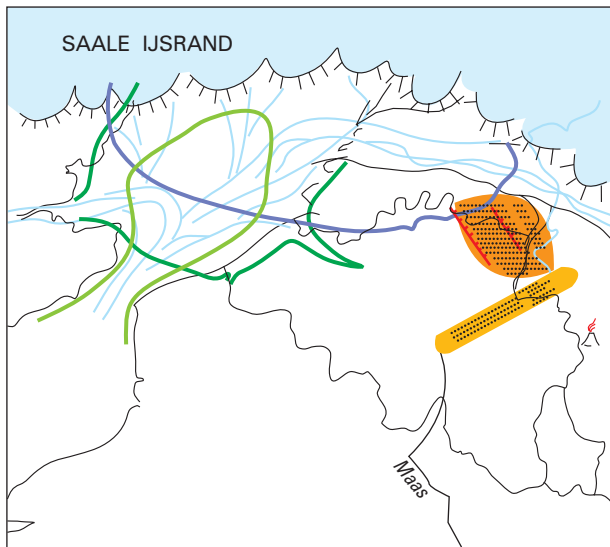
Het zal een hele tijd duren voor de Noordzee opnieuw het land overspoelt, zodat tijdens het Quartair hoofdzakelijk landerosie heerst. Rivierdalen worden uitgeschuurd in het verder oprijzende land dat stilaan zijn huidige reliëf krijgt. Tengevolge van de klimaatschommelingen zijn er toch een aantal zeer bijzondere afzettingen.



- | zee-inbraken
- terrassen
- breukwerking Roerdal Slenk

AFB. 1.32 STRATIGRAFIE VAN HET QUARTAIR

Het Quartair is de laatste en kortste geologische periode. Deze periode wordt gekenmerkt door zes grote cycli van koudere periodes (ijstijden) en warmere periodes (tussenijsijden). Let op de logaritmische tijdsschaal.



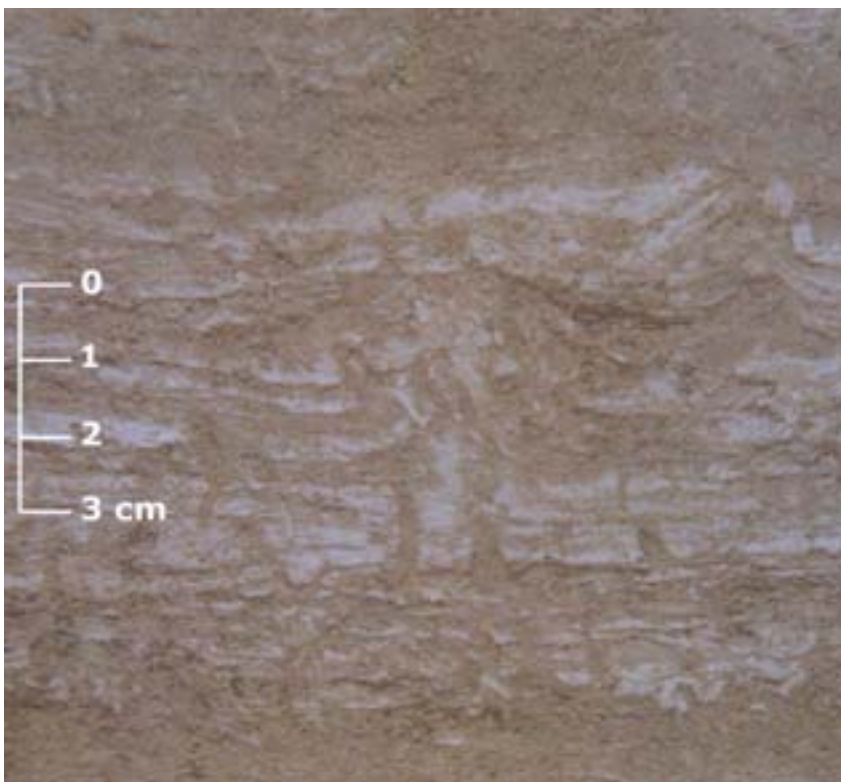
- Pre-Boreale kust 7.000 v. Chr.
- Saale-ijstijd 200.000 v. Chr.
- Verwilderd rivierstelsel vóór de ijsrand
- Kustlijn 400.000 v. Chr.
- Maasafzettingen 700.000 v. Chr.
- Maasafzettingen 1 miljoen v. Chr.
- Tertiair/Quartair wende 1.6 miljoen v. Chr.
- - - Breuk

AFB. 1.33 PALEOGEOGRAFIE VAN HET PLEISTOCEN

De grote rivierdalen kennen periodisch zeer verschillende omstandigheden. In de koude en sneeuwrijke aanloop van een glaciaal kennen zij grote smeltwaterdebieten die met een zakkend zeepeil leiden tot diepe uitschuring van de dalen. In de zeer koude en droge afloop van een glaciaal versmact hun verkwinvend debiet in de overvloed

van eolisch materiaal en vullen ze de dalbodems op. In het volgend interglaciaal kan het stijgend zeepeil diepe estuaria vormen waarin onder gematigd klimaat kleien en venen worden afgezet. Zo ontstaat de Vlaamse Vallei diep uitgeschuurd op de oost-west as Demer-Rupel-Schelde, met haar vertakkingen in de zuidelijke toevoerrivieren en opgevuld met hoofdzakelijk zandige afzettingen. Door die opvulling vinden Leie en Schelde pas tegen het einde van de laatste ijstijd de huidige loop via Antwerpen en in Bath verder nog naar het noorden.

Ook de Maas diepte haar dal uit in de oprijzende Ardennen en stroomde in Luik nog door Nederlands Limburg, richting Aken. Ze was veel belangrijker dan nu, aangezien ze de Moezel nog als bijrivier had en ze dus een aanzienlijk stuk Vogezen draineerde. Toen het Limburgs blok van de Roerdal Slenk verder wegzakke langs de Breuk van Rauw werd de Maas in Luik naar het noorden afgebogen en zette in de Limburgse Kempen de **Winterslag Zanden** af. Ook de Rijn werd hierdoor aangetrokken en liet in een wijde bocht de **Lommel Zanden** achter. De Vogezen waren inmiddels voldoende hoog opgerezen zodat bij de volgende klimaatsverslechtering er een belangrijke ijskap kon ontstaan. Moezel en Maas kregen ontzaglijke smeltwaterdebieten die in de Kempen een puinkegel met **Zutendaal Grind** opwierpen. De Roerdal Slenk zakte dan verder weg langs breuken die in het gebied van Bree nog duidelijk zichtbaar zijn. De Maas sneed zich daarna scherp in en zette een aantal dalbodemterrassen af die zoals de huidige bedding nog grindrijk zijn, maar toch geen Vogezengesteenten meer bevatten omdat de Moezel inmiddels in Toul naar de Rijn was afgebogen. Deze afzettingen documente-



AFB. 1.34 DE KLEIEN VAN DE-KEMPEN
De Kleien van de Kempen werden in een schorre-omgeving afgezet: dit zijn plaatsen die enkel bij springtij en stormvloed door de zee overstroomd worden. Sporen van mariene organismen zijn op de foto duidelijk te zien (Rijkevorsel).



AFB. 1.35 HET ZUTENDAAL GRIND

Het Zutendaal Grind vormt de top van het Kempens Plateau. De vertering en verstoring ervan documenteert een opeenvolging van latere ijstijden en tussenijstijden.

ren uitstekend de klimaatsveranderingen van de twee laatste ijstijden (Afb. 1.35).

Telkens als in een toendraklimaat de boomgroei, soms vrijwel alle plantengroei, verdween, kreeg de wind vrij spel en werden zand en stof in enorme hoeveelheden aangevoerd. In de laatste **Weichseliaan-ijstijd** bereikt dit zijn maximum in het uiterst koude, droge klimaat wanneer de ijskap sterke oostenwinden genereert. Deze vinden in de uitgestrekte smeltwatervelden van de Baltische Vlakte het ideale gletsjerpuijn om te verwaaien. Een gordel eolische dekzanden wordt afgezet die uitloopt in de Kempen en noordelijk Vlaanderen. Meestal vormen ze een echte mantel, het **Wildert Dekzand** genoemd, elders ontstaan typische microreliëfs. De dekzanden worden door de rivieren herwerkt en uit hun bedding waaien dan weer oeverwallen op die bijvoorbeeld parallel aan de Nethen verlopen: het **Zammel Oeverwalzand**.

Het stof dat honderden meter hoog wordt opgezwiept is verder kunnen waaien en komt als loess tot bezinking in de meer zuidelijk gelegen heuvels (Afb. 1.36). Natuurlijk is er een min of meer brede overgangszone waarin dekzanden naar het zuiden binnendringen. Eerst verspoelt de loess nog en concentreert zich in alle inkepingen van het reliëf. Later in de droogste faze vormt de **Brabant Loess**

een poederachtige mantel die een patroon van langgerekte ruggen kan vertonen, opgeworpen door de overheersende noordoosten-winden.

Toen het laatste glaciaal klimaat al aan het verbeteren was, is er nog een korte (800 jaar lang) maar hevige koudeopstoot geweest waarbij de reeds koloniserende pijnbossen werden uitgeroeid en in droge gebieden de dekzanden



AFB. 1.36 LOESS

Milimeter dik laagje vulkanische as, de Eltville Tuf genoemd, in loess (zie pijl).

De ouderdom van het aslaagje wordt geschat op ongeveer 24.000-jaar (Lixhe).

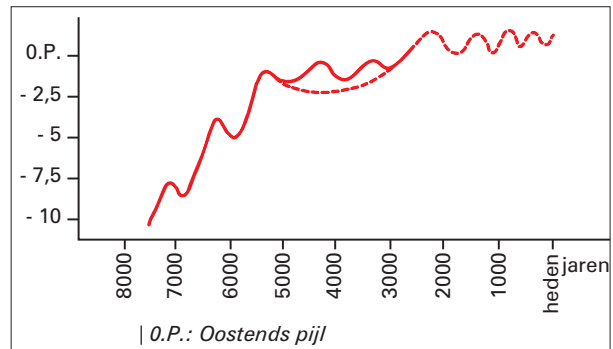
ten prooi vielen aan verwaaiingen door sterke westenwinden. Uitgestrekte duinvelden onstonden met opwaaien van grote paraboolduinen die naar het oosten opschoven: het **Hechtel Duinzand**.

Hoe tijdens het Pleistoceen finaal de huidige, zuidelijke Vlaamse Baai van de Noordzee ontstond is grotendeels nog een raadsel. Ze is duidelijk niet gevormd door een zakkende zeebodem aangezien die bestaat uit dezelfde Eocene lagen als die welke in West-Vlaanderen voorkomen. De baai is dus door erosie uitgeschuurd. Aanduidingen zijn zeer schaars: langs de IJzer bij Herzele zijn estuariene brakwaterkleien bekend uit het voorlaatste interglaciaal, bij Brugge uit het laatste interglaciaal. Hierbij hoort de rechte fossiele zeeklif die het Vlaamse Laagplateau zo indrukwekkend van de polders scheidt. Dus bestond de **Vlaamse Baai** met zekerheid de laatste 300.000 jaar. Pas toen is trouwens ook het huidige Nauw van Calais ontstaan. Een aannemelijk scenario hiervoor is het overlopen van een Noordzee die tussen Denemarken en Engeland door gletsjerijs was afgesloten. De smeltwaters deden het zeeniveau stijgen tot het water weg kon vloeien door het laagste punt van de toenmalige Artesië-Weald istmus. Als men bedenkt dat al de Europese rivieren, Weichsel, Elbe, Wezer, Rijn, Maas en Theems hier samen doorvloeiden, kan men zich voorstellen dat snel een groot dal moet zijn uitgeschuurd. Wanneer de zee opnieuw steeg bij het volgende interglaciaal, werd ze een zeeëngte waarbij de getijdestromen voor verdere verbreding zorgden.

2.C.2.b Het Holoceen

Na de laatste koude-opstoot begint dan het huidige interglaciaal, praktisch 10.000 jaar geleden. Uitermate snel wordt de koude woestijn vervangen door een nieuw gematigd plantengedrag. Onder de normale woudbedekking bereikt de natuur een nieuw evenwicht, waarbij de belangrijkste natuurkracht uitgaat van het stijgend zeepeil (Afb. 1.37).

Bij het begin van het Holoceen was dit peil al zover gestegen dat Atlantisch water door het Nauw van Calais kon dringen in een kleine Vlaamse baai. Engeland bleef nog kortstondig verbonden met het vasteland over de brede landbrug van de Doggerbank. Die werd dan overspoeld rond 6000 voor Chr. Het laatste ijs in Scandinavië en Canada smolt af en de ijskappen van Groenland en de Zuidpool bereikten hun huidige evenwichtstoestand rond 3000 voor Chr. Daardoor bereikte de zee haar hoogste peil, mogelijk zelfs iets hoger dan nu. Aan de Westkust drong ze de baai van de IJzer binnen tot die werd afgesloten door een brede strandgordel. De sterke getijdestromingen door het Kanaal hoopen het zand van de zeebodem op in evenwijdige zandban-



AFB. 1.37 DE HOLOCENE ZEEPIEGELSTIJGING
Na de laatste ijstijd steeg het zeepeil schoksgewijs tot aan het Atlantisch maximum. Een wereldwijde lichte daling van het zeepeil wordt dan gevolgd door de cyclische vloedstanden.

ken voor de kust: de **Vlaamse Hoofden**. Ze zijn het actuele model van wat zich tijdens het Diestiaan en het Brusseliaan heeft afgespeeld.

Mede door een lichte daling van het zeepeil viel de kustvlakte droog en in een uitgebreid moeras vormde zich tot enkele eeuwen voor Chr. een veralgemeende veenlaag: het **Moeren Veen**. De laatste twee millennia, hoofdzakelijk door vernieuwd stijgen van het zeepeil, volgden dan een aantal **Duinkerke inbraken** van de zee. De twee eerste, pre- en post-Romeins, kennen een natuurlijk verloop: diepe krekken worden geslagen vanuit de riviermondingen, en van hieruit wordt het veen overdekt met een laag mariene klei. Na een paar eeuwen verzanden de krekken en wordt het gebied bewoonbaar. Hoe dit in zijn werk gaat kan men nu zien in het Land van Saftingen. Vanaf de derde inbraakfase rond de tiende eeuw organiseerde de bevolking zich om door dijken de zee te keren en kwamen de polders tot stand. Het Zwin was geslagen en in Zeeland kwam een



AFB. 1.38 HOLOCENE VEEN
Tardiglaciale geul van de Rupel opgevuld met Holoceen veen (Zeesluis van Hingene).

diepe zee-arm tot stand die bij Bath de Schelde bereikte. Pas sindsdien heeft de Schelde door toenemend getijderegime haar huidig estuarium ontwikkeld. Door toenemende organisatie kon aan de inbraken van de 15e en 20e eeuw het hoofd geboden worden.

Gelijktijdig kenden de **zeeduinen** perioden van opbouw en afbraak. Door een gunstige ligging dwars op de sterkste winden wordt het strandzand overvloedig inland gewaaid en er door de planten vastgelegd in duinen. Aan de Westkust is de duingordel breed aangegroeid en het onderwaaien van de abdij Ter Duinen toont de onstuitbare kracht. Aan de Oostkust is de oude gordel door de evolutie van het Schelde-estuarium volledig opgeruimd. De jonge, smalle duingordel en de sterke stranderosie hangen hiermee samen.

Door een combinatie van het stijgend zeepeil en van oerwouden waren ook in het binnenland de riviervlakten uitgebreide moerassen geworden, waarin zich metersdikke **veenlagen** ontwikkelden (Afb. 1.38). Hier was de drijvende kracht van verandering de mens die voor zijn beginnende

landbouw, percelen bos ontgon en de bodem aan regenerosie blootstelde (Afb. 1.39). In een eerste fase vanaf de Romeinse tijd en definitief vanaf de Middeleeuwen nam dit de grootste oppervlakte in. De weggespoelde grond verhoogde de rivierbeddingen, waardoor toenemende overstromingen **alluviale leem** in de valleien afzetten. In de valleien van Midden-België kan die tot 5 m dik zijn.

In de zandstreek had de regenerosie weinig effect omdat zanden zo doorlatend zijn en het reliëf erg vlak. Door het gebruik van de hogere gronden kwam hier echter de winderosie op gang. Zo ging de heidegrond verwaaien en onstonden nieuwe duinreliëfs gekenmerkt door het grijze **Kalmthout Duinzand**. Meteen wordt het duidelijk dat de mens een steeds belangrijker drijvende kracht is geworden in de evolutie van de natuur. En dat hij deze dringend alleen ten goede moet leren aanwenden. Weliswaar leert het verleden ook dat het verschuiven van de continenten en de cyclische klimaatwijzigingen zijn krachten ver te boven gaan.



AFB. 1.39 BODEMEROSIE

Bodemerosie kan katastrofale gevolgen hebben in grote percelen die volgens de-helling geploegd worden (Winge, 1979).

VERDERE LECTUUR:

Ter oriëntatie

Er bestaat een aanzienlijke hoeveelheid wetenschappelijke geologische literatuur over het Vlaamse Gewest in een aantal regelmatige publikaties van:

Académie royale de Belgique, vanaf 1769.

Koninklijke Academie van België, vanaf 1938.

Société géologique de Belgique, vanaf 1877.

Société belge de Géologie - Belgische Vereniging voor Geologie, vanaf 1887.

Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, vanaf 1900.

Geologisch Instituut van de Universiteit Leuven, vanaf 1913.

Natuur- en Geneeskundig Vennootschap, Gent, vanaf 1918.

Belgische Geologische Dienst, met o.a. Geologische kaarten 1/40.000 en toelichtingen 1880-1920

Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, met o.a. Geologische kaarten en toelichtingen 1/50.000 vanaf 1993.

KERAMISCHE DELFSTOFFEN



Kleimineralen hebben unieke fysische kenmerken die verklaard kunnen worden door hun structurele opbouw, hun samenstelling en hun korrelgrootte. In de natuur zijn ze hoofdzakelijk het gevolg van chemische verwerking, die het resultaat is van de interacties tussen atmosfeer, hydrosfeer en lithosfeer. Voorkomen en aard van de kleimineralen hangen dan ook samen met het klimaat.

De unieke eigenschappen van kleimineralen en hun gesteenten vormen de basis van de brede waaier van toepassingen gaande van vulstof en coating in papier tot porselein, van reukopvanger tot drager van parfums, van katalysator tot baksteen.

In België wordt klei voornamelijk ontgonnen als grondstof voor de grof-keramische industrie: bakstenen, dakpannen, tegels, geëxpandeerde klei,... Tevens worden - meestal hoogwaardige - kleigrondstoffen ingevoerd, o.a. voor porselein, rioleringsbuizen,...

1 KLEI EN LEEM: ALGEMEEN

W. Viaene en R. Ottenburgs

Klei en leem vormen, wegens hun plastische eigenschappen, de belangrijkste traditionele, keramische grondstoffen. Zij vertonen een bijna oneindige verscheidenheid in samenstelling en eigenschappen, en zijn wegens hun veelvuldig en ondiep voorkomen een relatief goedkoop uitgangsmateriaal.

Klei is een zacht sedimentair gesteente bestaande uit fijnkristallijne, waterhoudende aluminosilicaten ($x \text{ Al}_2\text{O}_3$, $y \text{ SiO}_2$, $z \text{ H}_2\text{O}$), de zogenaamde kleimineralen, en uit grotendeels grofkorrelige mineralen zoals kwarts, veldspaten, glimmers, carbonaten, Fe- en Ti-oxiden, organisch materiaal, enz.

Het plastisch gedrag wordt veroorzaakt door de kleimineralen, die noodzakelijk zijn voor de vormgeving van een keramisch product. Bovendien treden deze mineralen op als bindmiddel voor de niet-plastische mineraalcomponenten bij het bakken en branden van de klei.

Kleimineralen ontstaan bij verwerking van allerlei gesteenten. Ze worden gevormd uit de afbraakproducten van andere aluminium- en magnesiumhoudende silicaten. Ze krijgen hun definitieve eigenschappen na transport en afzetting in een waterig milieu of als windafzetting (leem). De niet-kleimineralen die eveneens voorkomen in een kleigesteente zijn in hoofdzaak mineralen die resistent zijn tegen verwerking.

De korrelgrootteverdeling van een klei kan worden voorgesteld door middel van een driehoeksdiagram (Afb.-2.1), waarop de drie hoekpunten staan voor 100% kleifractie (fractie $< 2\mu\text{m}$), 100% siltfractie ($2\mu\text{m} < \text{fractie} < 63\mu\text{m}$) en 100% zandfractie ($63\mu\text{m} < \text{fractie} < 2\text{mm}$). Binnenin deze driehoek zijn zones afgebakend die een

nauwkeurigere omschrijving van de kleihoudende grondstof mogelijk maken.

In de zandfractie treft men voornamelijk kwarts aan; dit kwarts kan zuiver zijn of bedekt met een film van ijzerhydroxyde (limoniet). Daarnaast treden soms concreties van ijzeroxide of calcië (CaCO₃) en schelpfragmenten op.

De siltfractie bestaat uit fijnkorreliger kwarts, al dan niet vergezeld van kleinere hoeveelheden veldspaten, chloriet, glimmer, calcië, ijzersulfide en organisch materiaal.

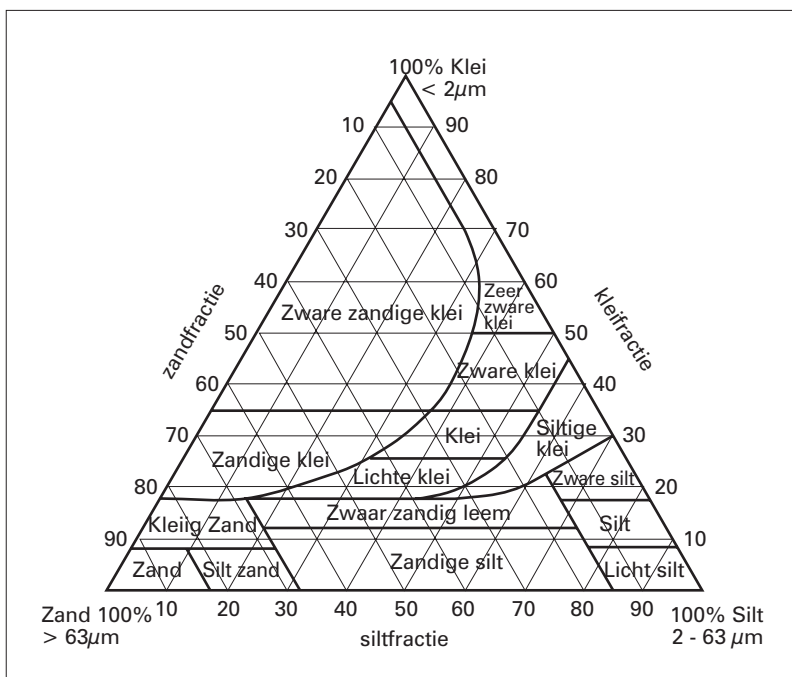
De kleifractie is hoofdzakelijk samengesteld uit kleimineralen; bovendien bevat ze beperkte hoeveelheden zeer fijn kwarts en gedeeltelijk verweerde veldspaten.

Uit de chemische samenstelling van kleien kunnen een aantal eigenschappen worden afgeleid. De samenstelling kan variëren over een ruim gebied. Het bereik voor de samenstellende oxide-componenten is weergegeven op afbeelding 2.2. De componenten zijn opgesplitst in vier groepen:

- hoofdcomponenten die de kleimineralen en kwarts samenstellen;
- fluxen: deze componenten dragen bij tot de vorming van een smeltbindmiddel bij het verhitten van de klei en van nieuwe verbindingen;
- thermo componenten: deze worden uitgedreven bij verhitting;
- nevencomponenten: deze hebben soms een effect op de kleurvorming bij verhitting. Belangrijk is hier het SO₄⁻²-gehalte; dit kan immers aanleiding geven tot een witte uitslag op de bakstenen.

De chemische analyse geeft echter beperkte informatie over het gedrag van kleigrondstoffen.

In verschillende mineralen kunnen meerdere componenten aanwezig zijn, waardoor ze een verschillend effect hebben.



Afb. 2.1 TEXTUURDRIEHOEKSGRAFIEK

De hoekpunten worden ingenomen door de zuivere zand-, silt- en kleifractie (100%). Het oppervlak tussen deze punten wordt verder ingedeeld in een aantal gebieden met welbepaalde korrelgrootte-samenstellingen. Zo bestaat "klei" uit 25 tot 45% kleifractie, uit 35 tot 55% siltfractie en uit 10 tot 40% zandfractie.

hoofdcomp (%)		fluxen (%)		thermo comp (%)		nevencomp (%)	
SiO ₂	54-79	Na ₂ O	0.2-1.2	H ₂ O ⁺	0.8- 5.0	TiO ₂	0.4-0.9
Al ₂ O ₃	5-18	K ₂ O	1.3-3.2	H ₂ O-	2,5- 7,5	P ₂ O ₅	0.1-0.?
		MgO	0.7-2.0	gloeiverlies (1000°C):	2.5-11.5	MnO	0 -0.?
		CaO	0.2-8.0	CO ₂	0 - 4.5		
		Fe ₂ O ₃	2.3-4.7	org C	0 - 1.8		
		FeO	0.2-2.0	S	0 - 1.9		
				F	0 - 0,1		

AFB. 2.2 CHEMISCHE SAMENSTELLING VAN VLAAMSE KLEIGRONDSTOFFEN.

De chemische samenstelling volgens de vier soorten componenten is weergegeven in gewichtsprocenten.

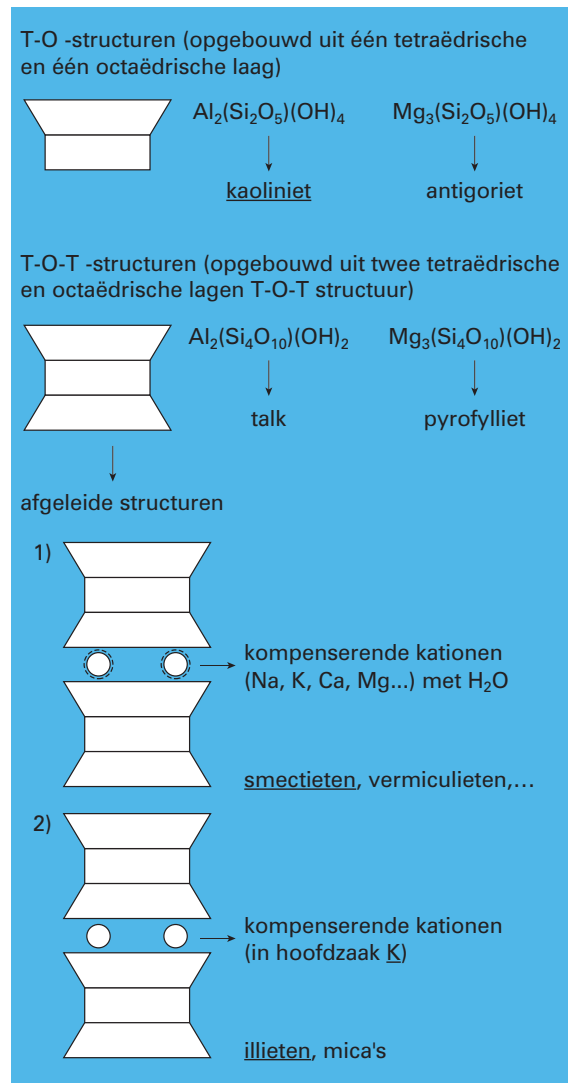
K₂O kan worden geleverd door kleimineralen, glimmers en veldspaten. K₂O dat vrijkomt bij ontbinding van kleimineralen is veel meer fluxerend dan K₂O van glimmers of veldspaten. CaO, afkomstig van fijnverdeeld calcium, bv. in een mergelklei, wordt vrijgezet rond 800°C maar vormt pas nieuwe mineralen bij ongeveer 1000°C. CaO van concreties of van schelpfragmenten kan aanleiding geven tot kalkluizen, witte brokstukjes bestaande uit Ca(OH)₂. Fe₂O₃ uit kleimineralen geeft een homogeen rode kleur; Fe₂O₃ uit concreties levert zwarte vlekken op.

Kristallografisch behoren de kleimineralen tot de fyllo- of bladsilicaten, die een gelaagde structuur bezitten, opgebouwd uit twee laagtypes. Het eerste bestaat uit een aaneenschakeling van tetraëders bestaande uit Si, Al, Fe,... omgeven door vier zuurstoffen. In een zelfde laag zijn de tetraëders gelijk georiënteerd, zodat de zuurstoftoppen -die niet neutraal zijn- een hexagonaal patroon vormen. Deze laag kan vereenvoudigd voorgesteld worden als een trapezium.

De tweede type laag is opgebouwd uit octaëders bestaande uit Mg, Al, Fe,... omgeven door zes zuurstoffen of hydroxylionen. De aaneenschakeling van deze octaëders gebeurt via ribben. De hoekpunten van deze octaëders vormen, zowel aan de bovenkant als aan de onderkant, eveneens een hexagonaal patroon - weliswaar gecentreerd - dat nagenoeg dezelfde afmetingen vertoont als het hexagonaal patroon van de tetraëdrische laag. De octaëdrische laag kan vereenvoudigd voorgesteld worden als een rechthoek.

Wegens de gelijkaardige afmetingen en de lading die de zuurstoftoppen van tetraëders hebben, kunnen deze twee typen van lagen aan elkaar gebonden worden. Deze aaneenschakeling vormt de hoofdbasis voor de indeling. Deze is weergegeven op afbeelding 2.3.

Van de T-O-T - structuren bestaan meerdere afgeleide structuren die ontstaan doordat er ladingen op de struc-



Afb. 2.3 INDELING VAN DE KLEIMINERALEN

Vereenvoudigde indeling van de bladsilicaten op basis van hun kristallografische opbouw. De voornaamste kleimineralen van elke groep zijn onderstreept.

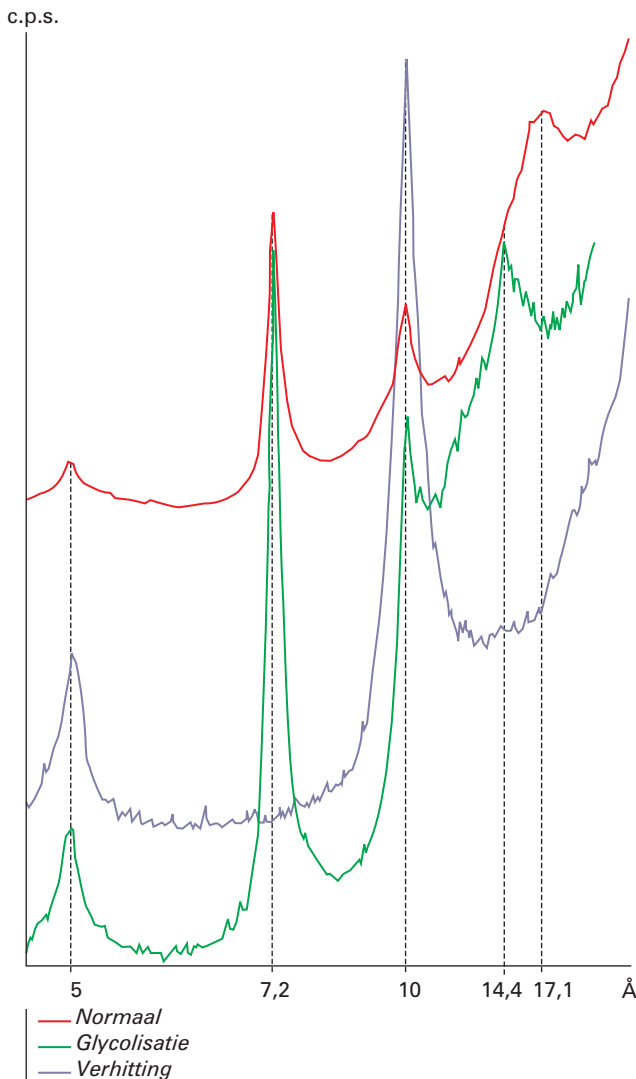
tuurlamellen aanwezig zijn. Indien in tetraëdrische holten Si^{4+} vervangen wordt door Al^{3+} , zal er een ladingstekort zijn; hetzelfde geldt wanneer Al^{3+} in octaëdrische posities door Mg^{2+} wordt vervangen. Dit ladingstekort is bij smectieten en vermiculieten relatief gering en wordt geneutraliseerd door Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ ...ionen. Bij illieten is het

ladingstekort groter en wordt het hoofdzakelijk geneutraliseerd door K^+ in de natuur.

Hiermee hebben we reeds de drie voornaamste kleimineralen vernoemd die in sedimentaire gesteenten voorkomen nl. kaolinite, smectieten en illieten. De twee laatste vormen een groep van mineralen: zij hebben een variabele samenstelling doordat tetraëdrische en octaëdrische posities door verschillende elementen bezet kunnen zijn, en doordat de ionen tussen de structuurlamellen kunnen variëren. Naast deze drie belangrijke kleimineralen heeft men nog chlorieten die tussen de structuurlamellen $\text{Mg}(\text{OH})_2$ of $\text{Al}(\text{OH})_3$ kunnen bevatten.

Wegens hun kleine afmetingen kunnen kleimineralen macroscopisch niet herkend worden. De voornaamste methode om kleimineralen te identificeren is Röntgen- of X-stralen-diffractometrie. Hierbij worden X-stralen gediffracteerd door netvlakken van de kristalstructuur. In afbeelding 2.4 zijn voorbeelden van opnamen weergegeven waarbij het monster verschillende behandelingen heeft ondergaan. Het monster van Boomse Klei bestaat uit smectiet, illiet en kaolinite.

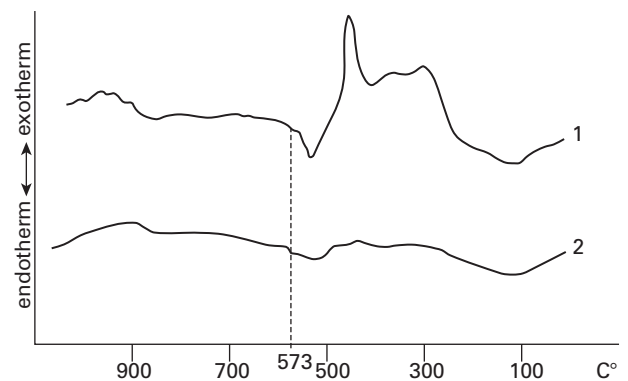
Een aanvullende techniek is de differentieële thermische analyse (DTA). Hierbij worden thermische effecten, endotherm of exotherm, geregistreerd tijdens verhitting. Afbeelding 2.5 bevat voorbeelden van verschillende kleisoorten. Ontwatering en afbraak van carbonaat insluitels



AFB. 2.4 X-STRALEN DIFFRACTIE

X-stralen diffractie van de kleifracie van de Boom klei.

De figuur toont een opname van een georiënteerd monster in initiële toestand (normaal), na glycolisatie, en na verhitting op 550°C. Smectiet vertoont onder normale omstandigheden een eerste piek op ongeveer 14Å ($1\text{Å} = 10^{-10}\text{ m}$) en een tweede op 7Å. Onder invloed van glycol zwelt smectiet op: de afstand tussen de kristallagen vergroot van 14Å naar 17Å. Bij verhitting worden smectieten afgebroken: de 14Å-piek ontbreekt dan ook op deze opname. Illiet-vertoont een piek op 10Å. Glycolisatie, noch verhitting tot 550°C hebben enige invloed op de kristalstructuur van dit mineraal: de-piek op 10Å blijft in beide gevallen behouden. De-eerste piek van kaolinite valt samen met de tweede piek van smectiet, op ongeveer 7Å. De twee kunnen van elkaar onderscheiden worden bij glycolisatie: kaolinite zwelt niet in tegenstelling tot smectiet. De-7Å-piek op de glycol-opname is enkel en alleen van kaolinite afkomstig. Het verwijt wel bij verhitting. De hoge schouder tussen de 10Å-piek en de 14Å-piek op de normale opname duidt op illiet-smectietische mengvormen.



AFB. 2.5 DIFFERENTIELE THERMISCHE ANALYSE

DTA-kurves van de Boom Klei (kurve 1) en leperiaan-klei (kurve-2).

Rond 100°C verdampft het geadsorbeerd water (endothermische reactie). Tussen 250 en 380 °C oxideert het organisch materiaal, rond 450°C ijzersulfide. Dit zorgt voor exotherme reacties die als duidelijke pieken tot uiting komen. Rond-500°C verliezen de kleimineralen hun structureel water (endotherme reactie). De kleine scherpe endotherme piek op 573°C is de omzetting van kwarts naar een meer stabiele vorm. De-ontbinding van carbonaten zal endotherme pieken teweegbrengen tussen 700 en 800°C. Vanaf 960°C worden nieuwe mineralen, zoals spinel, gevormd met exotherme reacties als gevolg.

zijn reacties die energie of warmte vergen (endotherme reactie), verbranding van organisch materiaal en oxidatie van ijzersulfides gaat gepaard met een warmte-afgifte (exotherme reactie). De vorming van nieuwe kristallijne fasen bij hogere temperaturen produceert eveneens warmte. Mulliet

($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) is één van dergelijke nieuw gevormde kristallijne verbindingen en draagt door zijn stengelige vorm bij tot de sterkte van het bakproduct (Afb. 2.6).



AFB. 2.6 SCANNING ELECTRONEN MICROSCOOP
Electronen microscoop-opname van mulliet-kristallen. Mulliet wordt gevormd tijdens het bakken bij temperaturen hoger dan 1000°C.

2 FYSISCHE EIGENSCHAPPEN VAN KLEIGRONDSTOFFEN

R. Ottenburgs

Keramik kent drie principieel verschillende vormgevingsmethoden:

- een korrelige massa met maximaal 5 gewichtsprocent water wordt **droog** (of semi-nat) **geperst** of gestampt;
- een plastische massa wordt gevormd door extrusie: dit is **natpersen**, in een vorm slagen, draaien of boetseren;
- een dikvloeibare suspensie van klei in water wordt gevormd door **gieten**.

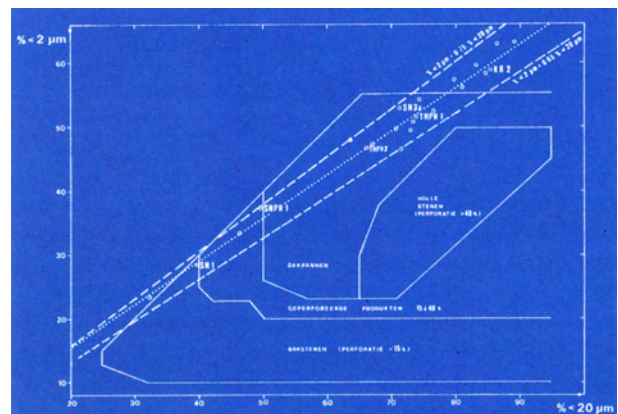
Klei wordt verwerkt tot allerlei bakproducten met elk een min of meer specifieke toepassing. Hardgebakken bakstenen worden gebruikt voor bestrating en keldermuren, middelharde voor dragende buitenmuren en de zachtere voor minder belaste binnenmuren. Granulometrisch dienen kleigrondstoffen aan bepaalde grensvoorwaarden te voldoen, willen zij in aanmerking komen voor de vervaardiging van een welbepaald industrieel product (Afb. 2.7).

Draineerbuizen worden vervaardigd uit meer refractaire kleien, die bij hogere baktemperaturen een waterdicht product opleveren met een grote kruindruk.

Dakpannen dienen eveneens waterdoorlatend te zijn, doch niet dezelfde sterkte te hebben als draineerbuizen, terwijl bv. bloempotten zachter gebakken zijn en wel waterdoorlatend.

Bij tegels wordt een onderscheid gemaakt tussen vloertegels voor buitenwerk en vloer- en muurtegels voor binnenvloeren en muurdecoratie. Eerstgenoemde dienen bestand te zijn tegen vorstwerking en alsdan dichtgesinterd. Voor elk type dient de geschikte klei te worden gekozen.

Klei bezit een hoge graad van plasticiteit, die het mogelijk maakt ze tot een gewenste vorm te kneden of te persen. Deze vorm blijft bewaard tijdens het daaropvolgend drogen en bakken. Deze plasticiteit wordt bepaald door de aard en de hoeveelheid van de aanwezige kleimineralen. Door water aan de klei toe te voegen, verkrijgt men een vormbare massa met een bepaalde consistentie. Indien te weinig water wordt toegevoegd, is de massa brokkelig (onvoldoende samenhang); wanneer de kleimassa te sterk bevochtigd wordt, gaat de klei vloeien. De plasticiteitsindex is het bereik van watergehalte waarbij een kleigrondstof plastisch vervormbaar is. Kaolinietrijke kleien vergen een nauwkeuriger controle op de watertoevoeging voor de vormgeving dan smectietrijke kleien; laatstgenoemde kleisoort heeft een veel grotere plasticiteitsindex. De hoeveelheid vormgevingswater beïnvloedt evenwel sterk de droogkrimp en droogtijd. De aard van de uitwisselbare kationen tussen de laagjes van kristallen van zwellende kleimineralen (smectieten) is een bepalende factor voor de hoeveelheid water die de klei kan opnemen.



Afb. 2.7 GRANULOMETRISCHE GRENZEN VAN GROFKERAMISCHE PRODUCTEN.
De figuur geeft de bruikbaarheid weer van kleigrondstoffen in functie van de korrelgrootteverdeling. Hoe fijnkorreliger de kleigrondstof, hoe hoogwaardiger het bakproduct dat men ermee kan vervaardigen.

Het kleimineraalgehalte van verwerkte grondstoffen (mengsels) ligt tussen 10 en 35 gewichtsprocent; loess en lemen bezitten het laagste percentage. De niet-kleimineralen, voornamelijk kwarts en in mindere mate veldspaten en glimmers, fungeren als vulstof tot op zekere temperatuur. Zij beperken de droog- en bakkrimp en worden gebonden door de sinterende kleimineralen. Kaliveldspaten gaan

wat later sinteren; natrium- en calciumveldspaten zijn nog meer thermisch bestand. Ca-carbonaat werkt fluxerend boven 1000°C; vanaf 750°C wordt calciet ontbonden en vertraagt het vrijkomende CO₂-gas tijdelijk de verdichting van de massa.

De verhouding Fe₂O₃ op CaO is bepalend voor de kleur van het bakproduct.

3 FYSISCHE EIGENSCHAPPEN VAN HET BAKPRODUCT

R. Ottenburgs

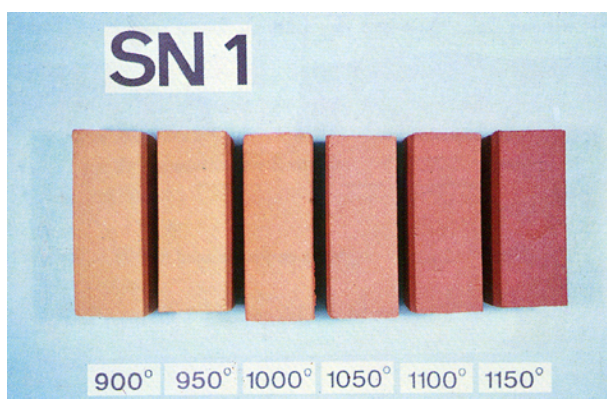
Deze eigenschappen hangen nauw samen met de chemische en mineralogische samenstelling van de aangewende grondstof of grondstofmengels.

Kaolinitrijke kleien zijn zeer refractair en sinteren slechts bij hogere temperaturen, boven 1350°C. Dit leidt tot een grotere dichtheid van de scherf, m.a.w. tot een product met een uiterst kleine porositeit, dat bovendien ondoorlatend is. De sterkte van het product neemt ongeveer lineair toe met de dichtheid. Kaolinitrijke kleien zijn de grondstoffen voor porseleinproducten.

Illiet-kaolinitrijkere kleien worden aangewend om grèsbuizen en tegels te fabriceren. Deze producten dienen een dichte scherf en grote sterkte te hebben, absorberen best geen water en zijn bestand tegen agressieve chemicaliën. De baktemperatuur ligt hier in de buurt van 1200°C.

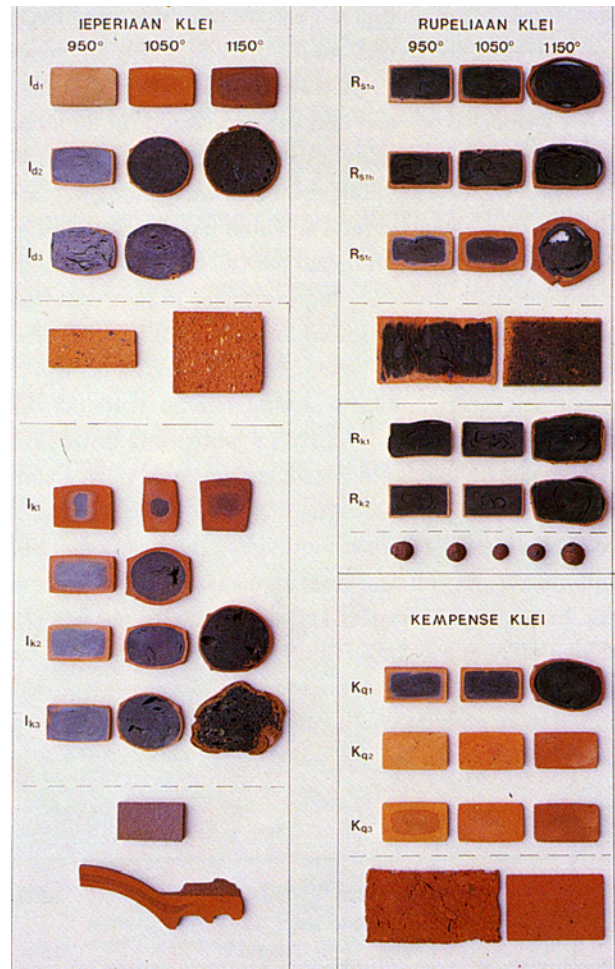
Illietrijke kleien zijn minder refractair en worden bij lagere temperatuur gebakken tot gevelstenen en dakpannen (~1050°C).

Smectiet-illiethoudende kleien leveren minder verdichte producten op omdat zij bij lagere temperaturen gebakken worden (~975°C). De sterkte van deze producten is daardoor wat geringer. Wegens hun poreus karakter nemen dergelijke producten soms tot 25% van hun massa



AFB. 2.8 KLEURWIJZIGING BIJ TOENEMENDE BAKTEMPERATUUR

Vormlingen uit Boom Klei werden bij zes verschillende temperaturen gebakken, gaande van 900°C tot 1150°C. Hoe hoger de baktemperatuur, hoe roder de kleur van de baksteen.



Afb. 2.9 VERHITTINGSPRODUCTEN
Doorsneden van verhitingsproducten van de Boom Klei, Ieperiaan-klei en Kempen Klei bij drie verschillende baktemperaturen.

aan water op. De snelheid waarmee deze verzadiging met water geschiedt, bepaalt de vorstweerstand van het product.

Vormlingen van smectietrijke kleien vertonen tijdens het bakken een sterke neiging tot opblazen wegens hun uitgesproken neiging om water te adsorberen (hoge consistentie) en hun vroege sintering. Deze eigenschappen worden optimaal benut bij de productie van geëxpandeerde kleibolletjes. Hierbij treedt meestal zwarte kernvorming op (Afb. 2.9).

Dakpannen worden vervaardigd met kleigrondstoffen die een vormvast en waterondoorlatend product opleveren. In dit geval mag de voorkeuoriëntatie van de kleimineraalpartikels tijdens het persen niet verstoord worden door grove zandkorrels of concreties van carbonaat of ijzeroxiden en -sulfiden.

De kleur van het bakproduct wordt grotendeels bepaald door het ijzer-, calcium- en organisch materiaalgehalte en door de atmosfeer in de bakoven. In oxyderende atmosfeer oxideert het ijzer afkomstig van kleimineralen en hydroxiden tot hematiet (Fe₂O₃). Dit fijn verdeelde Fe₂O₃ zorgt voor de rode kleur; het gehalte voorradig Fe-oxide

bepaalt de verzadigingsgraad van de rode kleur die dieper wordt bij stijgende temperatuur (Afb. 2.8). Zoals hierboven vermeld, heeft de Fe_2O_3/CaO -verhouding in de grondstof of het grondstofmengsel een sterke invloed op de kleur. Door toevoeging van bijvoorbeeld krijt ($CaCO_3$) aan de klei wordt de rode kleur afgezwakt of weggenomen, doordat ijzer in nieuwgevormde silicaten wordt gebonden en niet meer als het rode mineraal hematiet (Fe_2O_3) optreedt. In reducerende atmosfeer blijft het ijzer in tweewaardige toestand of wordt gereduceerd tot metallisch ijzer. Dit ijzer werkt fluxerend, m.a.w. smeltpuntverlagend, en is dikwijls de oorzaak van zwarte kernvorming. Hierbij wordt dikwijls ijzercordieriet gevormd dat zich naaldvormig ontwikkelt en bijdraagt tot een grotere sterkte. Soms reikt deze zwarte kern tot 1 mm van het oppervlak van het bakproduct. Dergelijke stenen zijn daardoor harder, doch vertonen dikwijls zwarte vlekken daar waar zij elkaar raken in de stapeling. In vochtige atmosfeer kunnen deze vlekken achteraf verkleuren naar roestbruin door oxydatie van ijzer.

Afbeelding 2.9 geeft doorsneden van verhittingsproducten weer voor de voornaamste Vlaamse kleien (labo-

ratorium-testobjecten verhit met $1^\circ C/min$). Hieruit blijkt duidelijk dat kleisamenstelling en maximale verhittingstemperatuur een belangrijke rol spelen.

4 DE EOCENE KLEIEN

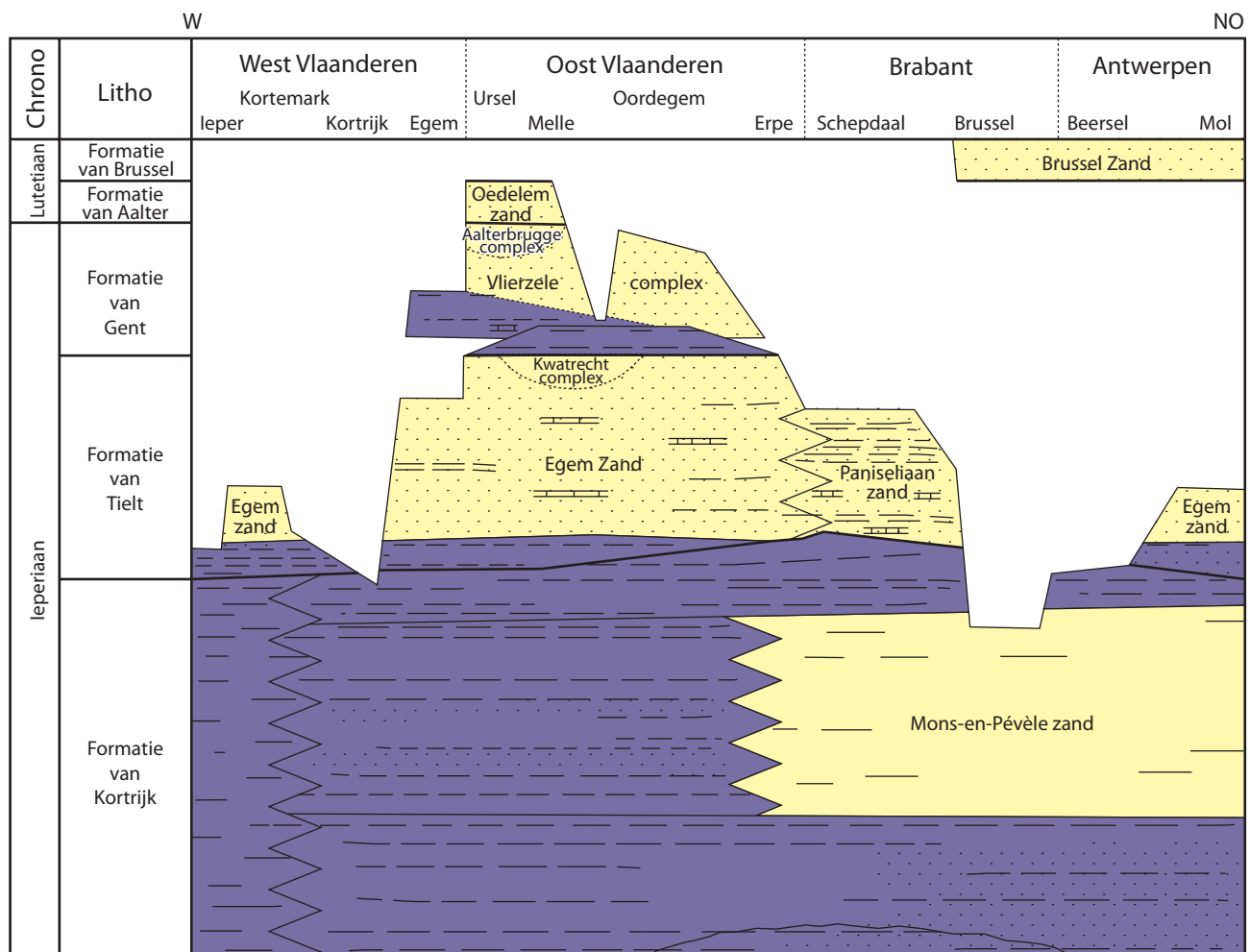
4.A DE IEPERIAAN-KLEIEN

W. De Breuck

4.A.1 Inleiding

Met de termen Ieperiaan-klei of Klei van Vlaanderen duidt men de kleilagen aan die tijdens het Ieperiaan-tijdvak werden afgezet. Men treft ze vooral aan in het westen en het centrum van België, waar ze een belangrijke grondstof voor de keramische industrie vormt.

De Ieperiaan-klei komt in twee verschillende formaties voor, de Formatie van Kortrijk en de Formatie van Tielt. De-samenstelling verschilt sterk naargelang van de plaats (Afb. 2.10).



AFB. 2.10 LITHOSTRATIGRAFISCHE INDELING VAN HET IEPERIAAN

Schema van de verschillende lithologische eenheden in de Formaties van Kortrijk, Tielt en Gent (naar Steurbaut en Nolf, 1986). De leden van St. Maur, Moen, Aalbeke en Kortemark vormen samen de Ieperiaan-kleien.

4.A.2 De Formatie van Kortrijk

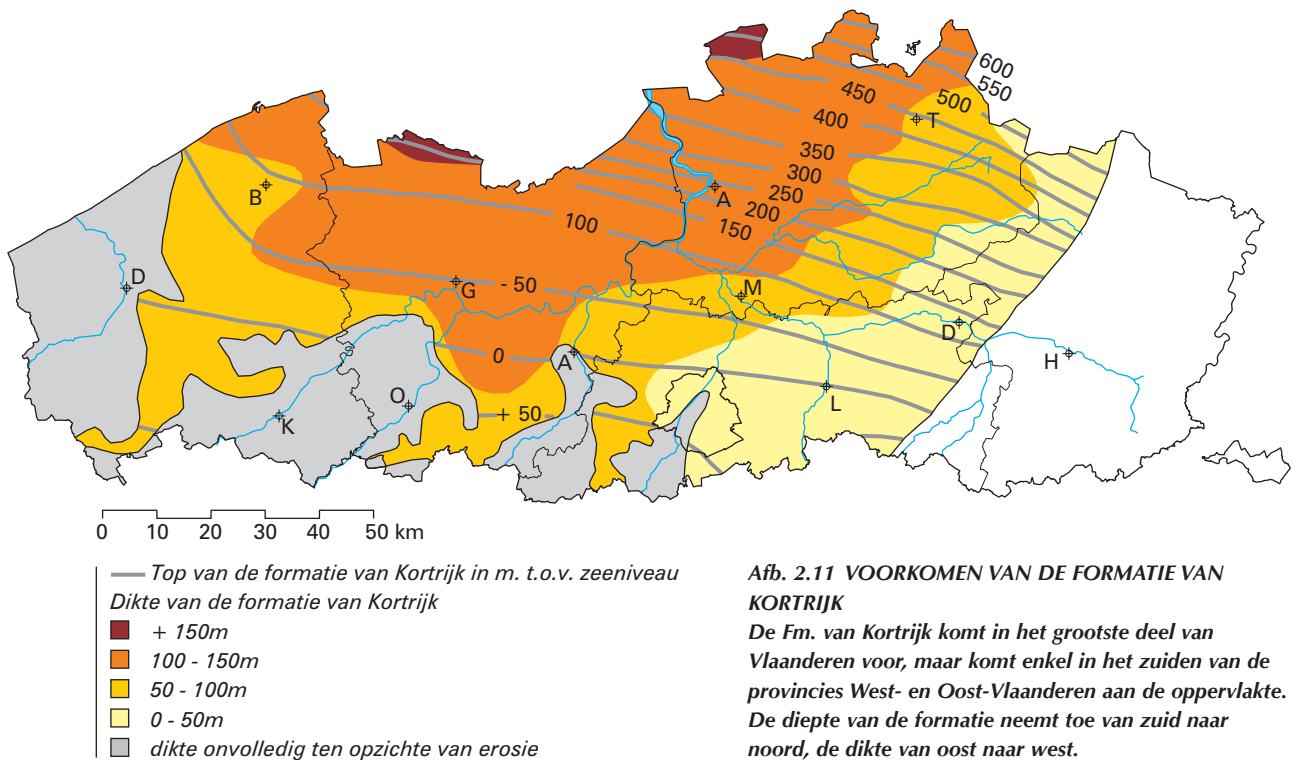
De Formatie van Kortrijk is een mariene afzetting die overwegend uit kleiige sedimenten is opgebouwd. Men onderscheidt vier leden. Het voorkomen van de formatie is weergegeven in afbeelding 2.11.

De zandige klei van het Lid van Mont-Hérribu aan de basis is een dunne mariene heterogene afzetting bestaande uit een afwisseling van horizontaal gelamineerd, glauconiethoudend fijn zand of zandige klei, en compacte siltige klei of kleiig silt.

Het volgende lid, de Saint-Maur Klei, is een homogene afzetting van zeer fijnsiltige klei met enkele dunne laagjes grofsiltige klei of zeer fijn kleiig silt. Het lid dagzoomt in Henegouwen en Frans-Vlaanderen waar het ontgonnen wordt.

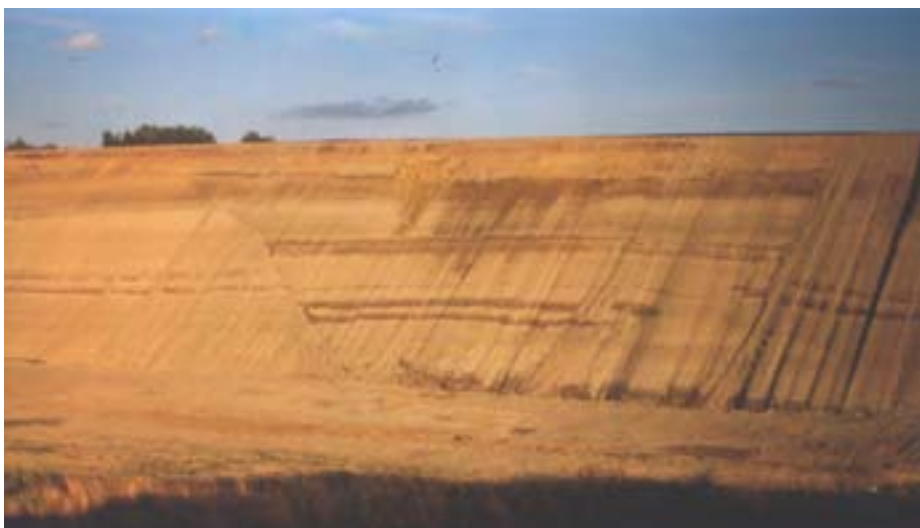
Het Lid van Moen wordt gekenmerkt door een heterogene samenstelling. In het zuiden bestaat het uit een kleiig grof tot middelmatig silt met laagjes fijn en zeer fijn zand. In het noorden is de afzetting homogener en kleirijker. Deze klei, die ontgonnen wordt te Marke in West-Vlaanderen, is zeer mager (klei met een relatief kleiner gehalte kleimineralen en met meer niet-kleimineralen, in hoofdzaak kwarts) en dient voor de vervaardiging van gewone bakstenen (Afb.-2.12). In de streek tussen Marke en Lauwe ligt een aanzienlijke reserve.

Het bovenste lid van de Formatie van Kortrijk wordt gevormd door de klei van het Lid van Aalbeke. Het is een homogene afzetting van bijna uitsluitend zeer fijnsiltige klei zonder zand. Door haar zuiverheid levert ze bij verwerking een waterondoorlatend product. Naast de vervaardiging van bakstenen is de klei hierdoor uitermate



Afb. 2.11 VOORKOMEN VAN DE FORMATIE VAN KORTRIJK

De Fm. van Kortrijk komt in het grootste deel van Vlaanderen voor, maar komt enkel in het zuiden van de provincies West- en Oost-Vlaanderen aan de oppervlakte. De diepte van de formatie neemt toe van zuid naar noord, de dikte van oost naar west.

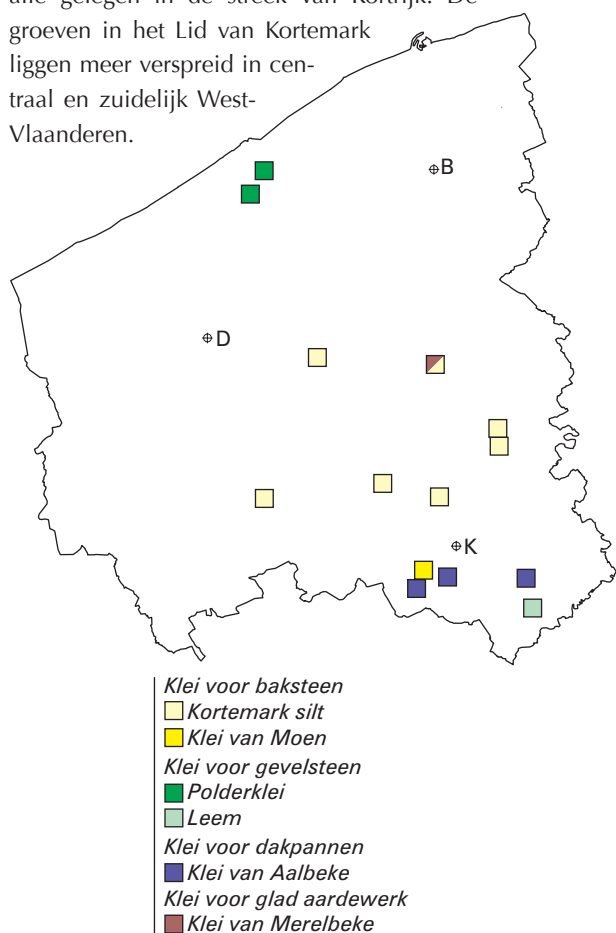


Afb. 2.12 ONTGINNING VAN DE FORMATIE VAN KORTRIJK

Zicht op het ontginningsfront van de groeve te Marke. De leperiaankleien worden gekenmerkt door een netwerk van breuken die beperkt zijn tot de kleilaag zelf. De breuken zijn hier goed te zien door de verspringing van enkele donkere lagen.

geschikt voor de aanmaak van dakpannen en tegels. In het zuiden van West-Vlaanderen vindt een intensieve ontginning plaats. Het bovenste deel van de laag is er verweerd en daardoor plastischer. Vroeger gebruikte men enkel dit gedeelte voor de productie van pannen. Met de huidige technieken kan men nu ook de onverweerde klei voor deze toepassing aanwenden. Enkel de tegelproductie vergt nog steeds enigszins verweerde klei.

De Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie heeft een inventaris opgesteld van de ontginningsgebieden en -voorzieningen in het Vlaams Gewest (Afb. 2.13). De actieve kleiontginningen in de Formatie van Kortrijk zijn alle gelegen in de streek van Kortrijk. De groeven in het Lid van Kortemark liggen meer verspreid in centraal en zuidelijk West-Vlaanderen.



Afb. 2.13 KLEIGROEVEN IN WEST-VLAANDEREN

De Ieperiaan-kleien worden gekenmerkt door een zeer hoog gehalte aan zwellende kleimineralen (ongeveer 45% smectiet), een laag gehalte aan illiet (glimmerachtig kleimineraal) en het (haast volledig) ontbreken van kaolinit en van carbonaten. Het gehalte aan organische koolstof en ijzersulfide bedraagt minder dan 0.5%. De aanwezigheid van organisch materiaal wijst op een zuurstofarm milieu waarin reducerende omstandigheden heersen, die gunstig zijn voor de vorming van sulfiden. Het gehalte aan tweewaardig ijzer is dan ook relatief hoog (2 gew.% FeO). Oxidatie van dergelijke klei levert een hoger gehalte aan oplosbaar sulfaten op, dat verholpen dient te worden tij-

dens de verwerking tot bakproducten. Het hoge gehalte aan zwellende kleimineralen zorgt voor een hoge plasticiteit en een groot specifiek oppervlak. Mede door de kleine diameter van de smectietdeeltjes vergt de klei veel water om ze te verwerken. Bij verhitting tot 1000°C verliest de gedroogde klei ongeveer 8% gewicht door de afgifte van water, een weinig zwavel en organisch materiaal.

4.A.3 De Formatie van Tielt

In de Formatie van Tielt worden twee leden onderscheiden. Het onderste Lid van Kortemark bestaat onderaan uit compact kleiig, fijn tot zeer fijn silt met dikke kleilenzen en bovenaan uit zeer fijn zandige grove silt met zandlenzen. Hierop rust het Egem Zand bestaande uit fijn glauconietzand met talrijke schelpen, kleibandjes afgezet tijdens de kering van het getij en kleine erosie-oppervlakken veroorzaakt door stormen.

De dikke kleilenzen van het Lid van Kortemark worden ontgonnen voor de baksteenindustrie ten noorden van Kortrijk. Het hoge smectietgehalte stelt problemen bij de verwerking van de klei. Men moet deze met zand of

magere klei vermengen om de porositeit te verhogen en om krimp en eventuele scheuren te vermijden. De laterale en verticale heterogeniteit maakt het moeilijk om de meest geschikte ontginningsgebieden te localiseren.

De ontginbare laag kan 20 tot 40 m dikte bereiken. Het sediment bestaat voor 2/3 uit kwarts waarvan ongeveer 40% zandfractie. De kleimineralen vormen minder dan 20%, en zijn in hoofdzaak zwellend van aard. De plasticiteit bedraagt ongeveer de helft van die in de Formatie van Kortrijk. Het gehalte aan pyriet (ijzersulfide) en organisch materiaal is hetzelfde als in de Formatie van Kortrijk. Men treft er weinig carbonaat aan. Bij 100 °C verliest deze grondstof ongeveer 3,5% van zijn gewicht.

Voor de fabricatie van bakstenen worden de siltige kleien van de Formatie van Kortrijk in de Kortemark Silt gemengd. Door de afmagering met de Kortemark Silt wordt de hoeveelheid vormgevingswater verlaagd, wordt het droogproces bespoedigd (geen droogscheuren) en wordt de globale krimp in de hand gehouden.

4.B ASSE KLEI

F. Gullentops

De klei van het Lid van Asse behoort tot de Formatie van Maldegem; zijn ouderdom is Laat-Lutetiaan tot Vroeg-Bartoniaan. De klei strekt zich uit ten noordwesten van Brussel (Asse) tot ten oosten van Brugge (Oedelem), en is zelden dikker dan 10 m. De onderste paar meters zijn zandig met veel glauconiet; naar boven toe is het een grijze, plastische klei die zowel verticaal als horizontaal vrij homogeen is en die thans aangeduid wordt als Lid van Ursel. In dit laatste kan het kleigehalte (< 2 µm) tot 70% van de grondstof beslaan, waarvan ongeveer de helft uit

zwellende kleimineralen bestaat. Het specifiek oppervlak en de plasticiteit van de klei is vergelijkbaar met die van de leperiaan-kleien, het illietgehalte bedraagt echter het dubbele ervan. Het gehalte aan pyriet en organisch materiaal bedraagt 1 gew.%; er is geen carbonaat aanwezig.

De Asse Klei wordt thans niet meer ontgonnen: hij werd vroeger aangewend om bakstenen, dakpannen en draineerbuizen te vervaardigen. Historisch is de klei van groot belang. Reeds in de 15e eeuw werd de klei op de Blandijnberg in Gent ontgonnen door pottenbakkers. In de Middeleeuwen werd hij eveneens als voldersklei gebruikt om wol te ontvetten. Kleien met een hoog smectietgehalte vertonen namelijk de eigenschap vetten te kunnen opslorpen.

5 DE OLIGOCENE KLEIEN

5.A HET PLATTE-LO KLEIZAND

F. Gullentops

De Tongeriaan transgressie naar het zuidoosten verliep bijzonder snel zodat de zee onmiddellijk erg diep werd. Het Grimmertingen Glimmerzand, een gelijkmatig, zeer fijn micahoudend zand, is daardoor kleihoudend: 10 tot 15% kleifractie is voldoende om het kleverig te maken, zodat het ook na drogen een vorm goed kan bewaren. Voor metaalgietterijen werd het daarom als vormzand gebruikt tussen Sint-Truiden en Leuven. Een goed vormzand dient niet alleen de gietvorm te bewaren, het mag ook niet teveel klei bevatten zodat voldoende porositeit overblijft om ontgassing mogelijk te maken. Een fijne zandkorrel garandeert daarbij een glad oppervlak aan het gietstuk. Het Grimmertingen Zand is daardoor een natuurlijk vormzand van hoge kwaliteit. Een gelijkaardig, maar grover zand werd van ouds ontgonnen in de buurt van Luik voor de Luikse metallurgie. Om een constante samenstelling te garanderen, verkiezen metallurgisten nu een artificieel vormzand aan te maken met zuiver zand, bijvoorbeeld Mol Zand van een welbepaalde korrelgrootte, en een goed gespecificeerde smectietklei.

In de buurt van Leuven bevat de basislaag van het Grimmertingen Zand tot 25% klei, waarmee zandige bak-

steen kan worden vervaardigd. Steenbakkerijen waren tot het begin van de 20e eeuw actief in de wijk Platte-Lo te Kessel-lo en hebben aanzienlijke groeewanden nagelaten.

5.B DE HENIS KLEI

F. Gullentops

Na de regressie van de Tongeriaan zee ontstaat een uitgestrekt lagunair landschap van Leuven tot Nederlands Limburg. Sommige lagunemeren bleven lang bestaan en werden opgevuld met zware klei. Deze streek strekt zich voornamelijk uit van Borgloon tot Tongeren, waar deze Henis Klei een dikte bereikt van 6 m.

De groenige tint wijst op de aanwezigheid van gereduceerd ijzer, terwijl zwarte horizonten rijk zijn aan organische stof. De laag bevat dunne zandlenzen met schelpjes, maar de klei zelf is arm aan fossielen die op een zoutarme lagune wijzen.

De klei is bijzonder zwaar, met tot 65% kleifractie. Hierbij domineert de smectietgroep zodat de klei de zeer hoge specifieke oppervlakte van 250 m²/g haalt. De klei werd vroeger gebruikt voor hoogwaardige producten met geringe porositeit, holle welfsels, dakpannen en aardewerk. In het ruime ontsluitingsgebied zijn zeker nog ontginbare voorraden aanwezig.



Afb. 2.14 HENIS KLEI
Rosette van gipskristallen in de Henis Klei te-Borgloon.

Bij verwerking van de aanwezige fijnverdeelde ijzersulfiden ontstaat zwavelzuur dat met het aanwezige kalk gips vormt. Het gips slaat neer in kristalrosetten die veelvuldig langs barsten voorkomen (Afb. 2.14). Ze kunnen aanzienlijke exploitatiestoornissen veroorzaken. In het heuvelachtig gebied veroorzaakt de plastische, maar volkomen ondoordringbare klei, bovendien niet zelden instabiliteit van hellingen en uitgravingen.

5.C DE BOOM KLEI

N. Vandenberghe

De Boom Klei komt voor in het noorden van het land, enerzijds ten noorden van de rivieren Durme, Rupel en Dijle en anderzijds ten noorden van een lijn Leuven - Tongeren. Langs de zuidrand van deze gebieden dagzooft de klei of komt hij voor onder een Quartair dek. Verder naar het noorden wordt hij steeds dieper begraven onder voornamelijk Neogene sedimenten (Afb. 2.15). Terwijl er ook in de andere ontsluitingsgebieden in het verleden kleine ontginningen geweest zijn, zijn er momenteel enkel in het Waasland en de Rupelstreek ontginningen voor structurele kleiprodukten.

De Boom Klei is een grijsachtige siltige klei of kleiige silt die typisch sterk pyriethoudend is en glauconiethoudend in de meeste siltige horizonten. De klei werd afgezet op een open mariene shelf, onder een subtropisch klimaat en op een diepte van een vijftigtal meter.

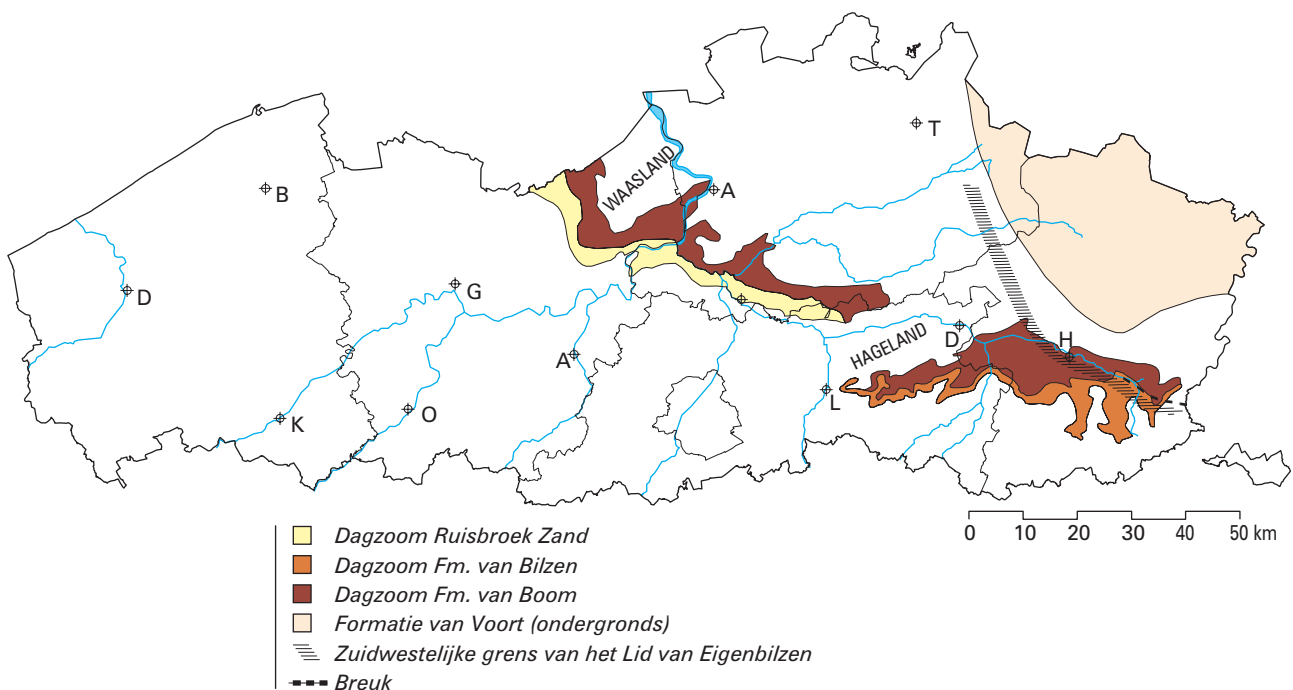
In het ontginningsgebied kan men de klei lithologisch opdelen in drie pakketten. Onderaan de zeer siltige Belsele-Waas Klei, middenin een grijze zware klei die onderaan nog kalkrijk is (Terhagen Klei) en bovenaan een donkere klei, deels siltig en deels zwaar, die de donkere kleur ontleent aan het systematisch voorkomen van zwarte organisch rijke horizonten (Putte Klei).

Ondanks deze opdelingsmogelijkheid in drie karteerbare eenheden in het ontsluitingsgebied, heeft de klei een chemische en mineralogische inhoud die, voor de hoofd-

lijnen althans, enkel bepaald lijkt te zijn door de lithologische variaties die in de klei voorkomen, namelijk de korrelgrootte, het plantaardige organisch materiaal en het kalkgehalte.

De klei is zeer typisch geband door ritmische veranderingen in deze drie veranderlijke lithologische componenten (Afb. 2.16). De dikte van deze banden bedraagt enkele tientallen centimeter in het centrale deel van de Boom Klei; onderaan en bovenaan neemt hun dikte toe. De banden hebben een zeer constant voorkomen waardoor ze als microstratigrafisch instrument gebruikt kunnen worden.

De ritmische verandering van het silt- en kleigehalte doorheen de Boom Klei, met de daaraan gekoppelde maar lichtjes uit fase variërende gehalten aan organische stof in een gedeelte van de klei, vindt haar uiteindelijke verklaring in de periodiek veranderende klimaatomstandigheden. Het is dezelfde soort periodieke klimaatwisselingen die voor de opeenvolging van ijstijden verantwoordelijk zijn. De variaties in het kalkgehalte daarentegen blijven onverklaard. Tegenwoordig zijn deze oorspronkelijk mergelige horizonten diagenetisch ontmengd in septariahorizonten (Afb. 2.17). Deze banken met harde septaria vormen een probleem bij de exploitatie met de courant gebruikte baggerinstallaties. De verwijdering van de kalkknollen moet oordeelkundig gebeuren omdat de aanwezigheid van brokjes kalk in de gebakken klei later, door hydratatie van de gebakken kalk, tot afschilferingen in de bakproducten zal leiden.



Afb. 2.15 DAGZOOMGEBIED VAN DE BOOM KLEI

Verbreiding van de Boom Klei en andere Oligocene formaties. Door een zachte noordelijke helling bevinden deze lagen, die in het zuiden van de provincies Antwerpen en Limburg aan de oppervlakte komen, zich in de Noorderkempen op een diepte van meer dan 250 m. Enkel de Fm. van Voort nergens aan de oppervlakte: deze-kleirijke zanden werden op het einde van het Oligoceen in de zakkende Roerdal Slenk afgezet.



AFB. 2.16 GEBANDE BOOM KLEI
Zicht op het ontginningsfront van de groeve van-Kruibeke.

De aanwezigheid van wateroplosbare zouten in de poriën van de bakproducten zal later ook aanleiding kunnen geven tot uitbloeiingen van witte zouten of indien tweewaardig ijzer mobiliseerbaar is in het bakproduct tot ijzerroestvorming.

Een statistische analyse van de samenstelling van de klei in en tussen de verschillende lithologische horizonten toont aan dat voor de grofkeramische industrie het grote aantal componenten in feite te reduceren is tot vier grote componentengroepen. De groep met kwarts en kleimineralen in wisselende verhoudingen, de groep met de gereduceerde componenten met voornamelijk pyriet en organische stof, een groep carbonaten met koolstofdioxide-ontwikkeling bij verhitting en een veldspaatgroep waarvan het gehalte schommelt tussen ongeveer 10 en 15%. Deze analyse maakt het mogelijk gedeeltes van de Boom Klei voor grofkeramische doeleinden volledig te kenmerken door een beperkt aantal fysische en chemische analyses.

Het relatieve aantal kwartskorrels en kleimineralen, die uit de korrelgrootte-analyses wordt afgeleid, heeft een invloed op de doorlatendheid van de te bakken massa.

Deze is dan weer belangrijk voor de uitwisselingsmogelijkheid van reactiegassen van uit de verhitte kleivormen naar de ovenatmosfeer, en omgekeerd, van ovenatmosfeergassen, waaronder zuurstof, naar de binnenkant van de gebakken kleivorm. Ook de chemie van de aanwezige soort kleimineralen speelt een rol, vooral wegens de fluxen



Afb. 2.17 SEPTARIA UIT DE BOOM KLEI
De foto toont twee septaria: een "volledig" exemplaar en een doormidden gezaagd exemplaar waarin de verschillende septae duidelijk te zien zijn. De diameter van deze septaria bedraagt ongeveer 40 cm.

die erin aanwezig zijn en die daarom het smeltproces beïnvloeden. Tijdens het verhittingsproces wordt het water uit de structuur van de kleimineralen vrijgezet en kan het reageren met de koolstof afkomstig van het organisch materiaal.

Bij de gereduceerde stoffen pyriet (FeS_2) en organisch materiaal bindt pyriet zich bij verhitting bij voorkeur met de zuurstof, en stelt het aldus de oxidatie van organische stof uit tot een hoger temperatuurbereik. Het is dus mogelijk dat onder bepaalde omstandigheden nog een koolstofrijk residu aanwezig is in de kern van een bakproduct, wanneer de uitwisseling met zuurstof uit de ovenatmosfeer reeds verhinderd wordt door de op gang gekomen sintering van de buitenkant van het bakproduct. Onder die omstandigheden zal het aanwezige ijzer door de koolstof gereduceerd worden en aanleiding geven tot zwarte kernen in de bakproducten. De ontbinding van pyriet bij verhitting in aanwezigheid van zuurstof geeft aanleiding tot de vorming van zwaveloxidegassen. Belangrijk bij de ontbinding van pyriet is ook de vorming van pyrrhotiet (Fe_{1-x}S). In de fabricatie van geëxpandeerde kleiprodukten is de gasvorming door de reductie van ijzerverbindingen één van de belangrijkste gasexpansiereacties. In het geval van de Boom Klei wordt deze reactie echter grotendeels verhinderd door het blokkeren van ijzer bij de pyrietdecompositie door de bijbehorende pyrrhotietvorming.

Het kleigehalte van de Boom Klei schommelt tussen 25% en 60%, en bestaat uit 70 tot 80% zwellende kleimineralen, 10 tot 20% illiet en gemiddeld 10% kaoliniet. Het siltig kleipakket bevat maximaal 3% zandfractie ($> 63 \mu\text{m}$). Het zandig siltgedeelte wordt gekenmerkt door een kleigehalte kleiner dan 30% en een zandgehalte groter dan 30%. Dit relatief mager sediment is geschikt voor de productie van gevelstenen, terwijl het vette kleipakket in hoofdzaak aangewend wordt voor de fabricatie van snelbouwsteen. Het hoge smectietgehalte in deze grondstoffen zorgt voor

een goede plasticiteit en een hoog specifiek oppervlak. Het gewichtsverlies tijdens verhitting tot 1000°C loopt op van 4 tot 10% waardoor tijdens het bakken een goede verdichting van de vormlingen verkregen wordt. Het hoge zwavelgehalte vergt speciale voorzorgsmaatregelen om de SO_2 -uitstoot tijdens het bakken te beheersen.

Het calciumcarbonaat in de klei zal, afhankelijk van zijn verhouding tot het geoxideerde ijzergehalte, de kleur beïnvloeden van het bakproduct, gas vormen bij de ontbinding en vooral de begintemperatuur van de smeltvorming verhogen.

Aangezien deze verschillende lithologische componenten niet willekeurig verdeeld zijn doorheen de klei heen, zullen de bakeigenschappen van de klei afhankelijk zijn van het stratigrafisch stuk waaruit de klei geëxploiteerd wordt op regionale schaal, maar ook op de schaal van een groeve waar soms meerdere niveaus boven elkaar worden uitgebaggerd (Afb. 2.18).

In Kleine Spouwen (streek Tongeren-Hoeselt) werd destijds een dunne laag (5 tot 10 m) klei ontgonnen voor de productie van aardewerk en pannen.

In de buurt van Hasselt werd tot voor kort de verweerde Boom Klei (Weyerklei), slechts een paar meter dik, gewonnen om met buitenlandse klei gemengd te worden voor de fabricatie van grèsbuizen. De toevoeging van smectietrijke Boom Klei zorgde voor een verhoogde plasticiteit van de grondstofmassa.

In het Waasland wordt de verweerde Boom Klei gezocht voor de productie van aardewerk. De verweerde klei heeft een hogere plasticiteit dan de niet-geoxideerde klei, en tevens een hoger smeltpunt.

In Kruikeke en omgeving is het siltige deel van de Boom Klei de grondstof voor de productie van geëxpandeerde kleibolletjes en van bakstenen.

In de streek van St. Niklaas treft men aan de basis een zandige silt en hogerop een kleige silt aan, die verwerkt worden in de baksteenproductie (gevelsteen en snelbouwsteen).

In de streek van Terhagen-Rumst worden in hoofdzaak snelbouwstenen gebakken uit onverweerde klei. Door het hoge ijzer- en het lage carbonaatge-



AFB. 2.18 GEVELSTENEN UIT BOOM KLEI

Handgevormde houtskoolgebakken stenen uit de Boom Klei (Lid van Putte) vormen de muren van een 18e eeuwse stalletje te Rot-Nieuwrode.

halte zijn deze stenen rood gekleurd. Waar het carbonaatgehalte hoger scoort, worden de stenen wat bleker van kleur. Door toevoeging van krijt kan men de kleur doen overgaan naar meer gelige tinten; de sintertemperatuur wordt hierdoor wel verhoogd.

6 QUARTAIRE KLEIEN

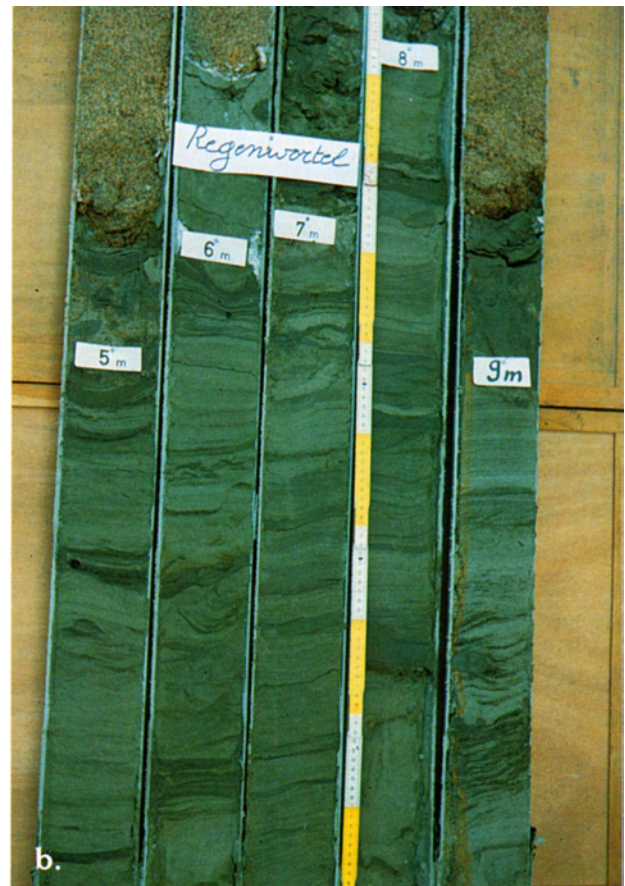
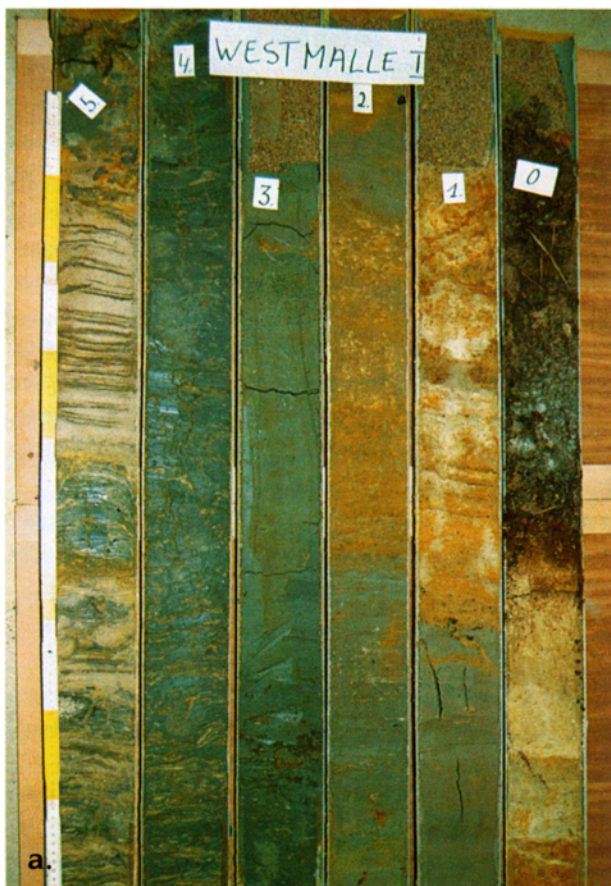
6.A DE KLEIEN VAN DE KEMPEN

F. Bogemans

De Noorderkempen zijn van oudsher gekend voor hun kleien, geologisch gedefinieerd als de Formatie van de Kempen, die als basisgrondstof worden gebruikt in de grofkeramische industrie.

Deze kleien vormen geen uniform geheel maar bestaan uit verschillende lagen die elkaar opvolgen of die onderbroken worden door zandlagen, die al dan niet doorspekt zijn met klei-intercallaties (Afb. 2.19a). Bovendien worden in het verspreidingsgebied van de Formatie van de Kempen ruimtelijke variaties in korrelgrootteverdeling vastgesteld. Het blijkt dat in het noordelijk gedeelte de zandfractie zo belangrijk wordt, dat ze gaat domineren in de omgeving

van Essen, Wuustwezel, Meerle en Poppel (Afb. 2.19b). De grote verscheidenheid in opbouw waarvan hierboven sprake is, is zowel lateraal als verticaal aanwezig en is het rechtstreekse gevolg van de genese van de afzettingen. Tijdens de accumulatie van de Formatie van de Kempen werden de Noorderkempen gedomineerd door een getijde-estuarium. Dit estuarium werd gekenmerkt door een diversiteit van afzettingvormen zoals geulen met banken, zandwadden, slikwadden, schorren en een meanderend gedeelte waaraan typische elementen zoals oeverwallen, kronkelwaarden en overstromingsvlaktes zijn verbonden. Al deze afzettingvormen hebben een typische opbouw waardoor een grote variatie in de korrelgrootteverdeling in het gebied optreedt. Daarenboven zijn deze afzettingen over een ruime tijdspanne gedurende het Quartair ontstaan. In deze periode zijn ook verscheidene zeespiegelschommelingen opgetreden. In een gebied dat in de directe invloedssfeer van de zee ligt, zoals een estuarium, heeft dit als gevolg dat op één en dezelfde plaats achtereenvolgens verschillende afzettingmilieus kunnen optreden. Deze kunnen van zuiver continentaal naar zuiver estuarien variëren waardoor opnieuw verschillen in de sedimentologische opbouw optreden.



Afb 2.19 DE KLEIEN VAN DE KEMPEN

a. De top van de Formatie van de Kempen bestaat uit een kleipakket gevolgd door een complex bestaande uit kleiige en zandige lagen met variërende dikte. De kernbuizen zijn 1 m lang en genummerd naar toenemende diepte: de basis van kernbuis 5 komt dus overeen met een diepte van 6 m.

b. De top van de Formatie van de Kempen wordt in het noorden gedomineerd door zandige facies doorspekt met kleiige lagen.

De dikte van de Formatie van de Kempen bedraagt maximaal 40 meter. De zandige gedeelten zijn grijs van kleur en bevatten 25 tot 30% zandfractie en ongeveer 40% kleifracie. In de kleirijkere niveaus loopt de kleifracie op tot ongeveer 50% en de siltfractie tot 40%. De kleimineralogie bestaat voor ongeveer 65% uit zwellende kleimineralen (smectieten), 25% glimmerachtig illiet (en wat glauconiet) en 10% kaoliniet. Er komen geen carbonaten voor.

De kleirijke delen zijn zwart gekleurd wegens het hoge gehalte aan organisch materiaal (maximaal 6%, gemiddeld 1.5% tot 2.5%). Dit wijst op sterk reducerende omstandigheden tijdens de sedimentatie, waardoor het pyrietgehalte kan oplopen tot 2% en het oplosbaar sulfaat tot 2.5%. Men stelt eveneens een verhoogd fluor-gehalte vast, tot 740 ppm.

De zware klei bezit een hoog specifiek oppervlak en een daarmee gepaard gaande grote plasticiteit. De hoge concentratie van organisch materiaal en pyriet maken deze klei echter ongeschikt om als dusdanig gebakken te worden: door de grote gasproductie worden de stenen sterk opgeblazen en sintert de buitenkant van de stenen dicht. De zand-, silt- en klei-componenten van de afzetting worden aangewend om gevelstenen te bakken. Deze grondstof is refractair wegens het hoger illiet- en kaolinietgehalte en kan daardoor bij hogere temperaturen gebakken worden (1100°C) dan de andere Vlaamse kleien die op ongeveer 980°C gebakken worden.

Een moeilijkheid bij het ontginnen van deze afzettingen is hun grilligheid en heterogeniteit in verspreiding en samenstelling. Men graaft daarom meerdere panelen uit om telkens weer een grondstofmengsel samen te stellen dat beantwoordt aan de eisen gesteld door het laboratorium en de productie-eenheid.

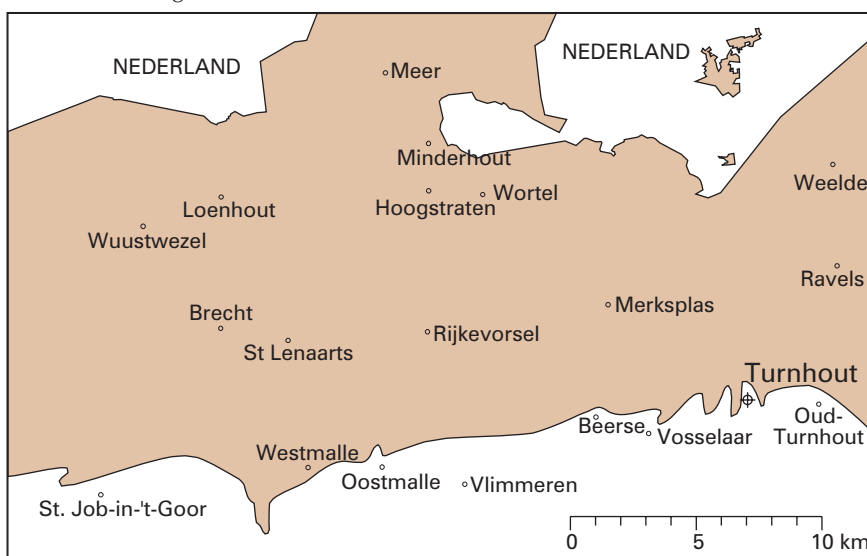
Uit een uitgebreid sedimentologisch onderzoek blijkt dat de economisch rendabele sites, waar zowel de kwaliteit als de dikte van de klei en de dikte van de deklaag ontginning toelaten, ruimtelijk beperkt zijn tot een strook ten noorden van de lijn Ossendrecht - St. Job-in-'t-Goor - Brecht - Malle - Vlimmeren - Beerse en Turnhout (Afb. 2.20). Deze grens is tevens morfologisch zichtbaar en is gekend als de Kempense microcuesta.

Als inleidend instrument bij een eerste evaluatie van mogelijke exploitatiegronden werd voor het zuidelijk gedeelte van het kaartblad Turnhout (schaal 1/50 000), een thematische overzichtskaart gemaakt waarop het aantal kleilagen dat binnen de bovenste 10 m aanwezig is, en hun totale dikte worden voorgesteld. Deze diepte wordt gehanteerd omdat de huidige ontginningen zich doorgaans beperken tot deze diepte, uitgezonderd in de Nova put

waar momenteel ongeveer tot 15 m diepte wordt geëxploiteerd. Omdat de structurele opbouw van een kleimassa voor de ontginning van groot belang is, werd het aantal kleilagen in deze bovenste 10 m onderzocht. Het aantal kleilagen varieert van 0 tot maximaal 3, met een dominant voorkomen van 1 kleilaag gelegen tussen 2 zandlagen, en in mindere mate één zandlaag bovenop één kleilaag.

Uit de thematische kaart blijkt dat de optimale exploitatieplaatsen zich bevinden in de omgeving van Brecht, ten noorden van St.-Lenaarts, Malle, Rijkevorsel, Beerse, Merksplas en Ravels, maar dat binnen deze plaatsen sterke variaties optreden.

Op basis van deze vaststellingen is het evident dat de optimaal rendabele exploitatiegronden slechts door middel van een gedetailleerde studie kunnen worden bepaald.



AFB. 2.20 VERBREIDING VAN DE-KLEIEN VAN DE KEMPEN

De meest zuidelijke verbreding van de-kleige facies van de Formatie van de-Kempen geeft ook onmiddellijk het-ontginbare gebied aan.

6.B EOLISCHE LEEM

F. Gullentops

Dwars door de continenten, van China tot hier, slingert zich bijna ononderbroken een gordel waar de bodem uit leem bestaat. Naar het noorden wordt hij opgevolgd door zanden en afzettingen van gletsjers die tijdens de ijstijden van de poolgebieden afdaalden. In Noord-Amerika bestaat identiek dezelfde opeenvolging, hetgeen bewijst dat de afzetting van de leem met de ijsuitbreiding verband houdt.

Oorspronkelijk bestond de afzetting een fijn los stof, vandaar de Beierse naam Loess. Loess bestaat hoofdzakelijk uit korreltjes tussen 0,01 en 0,05 mm die onder de microscoop zeer splinterig blijken te zijn. Dit gesteente is door de gletsjer onder hoge druk tot meel gemalen, zodat de samenstelling van de Europese loess overeenkomt met

de gemiddelde samenstelling van alle gesteenten van Scandinavië waar de gletsjers vandaan kwamen. Het gesteentemeel werd door de smeltwaters voor de gletsjers uitgespreid en, als het opgedroogd was, door de wind naar het zuiden verwaaid.

Toen het klimaat verbeterde, hield de loessaanvoer op. De loess reageerde op de nieuwe omstandigheden en verweerde. Veel van wat bekend is over de klimaatveranderingen tijdens de ijstijden danken we aan de studie van dit sediment. Maar tegelijk werden zo de zeer verscheiden gebruikseigenschappen verklaard. De loessafzetting bereikt in ons land een dikte van 20 m.

Een klassieke opeenvolging ziet er als volgt uit. Een onderste Hainaut Loess werd afgezet tijdens de voorlaatste ijstijd en verweerde totaal tijdens het volgende interglaciaal tot een kleirijke leem (Afb. 2.21). Het kleigehalte loopt op tot 30%, terwijl door intense vochtschommelingen het ijzer zich geconcentreerd heeft in limonietbolletjes. Meestal wordt hij bedekt door zwarte humusrijke leem die de overgang naar de volgende ijstijd inluidt.

Die zette 70.000 jaar geleden voorgoed in met zeer sneeuwrijke koude, zodat de zomerse sneeuwmelt bijzonder hevige erosie aanrichtte. De vroegere leem werd alleen gespaard op zeer vlakke reliëfs, elders ontstond een ravijnlandschap.

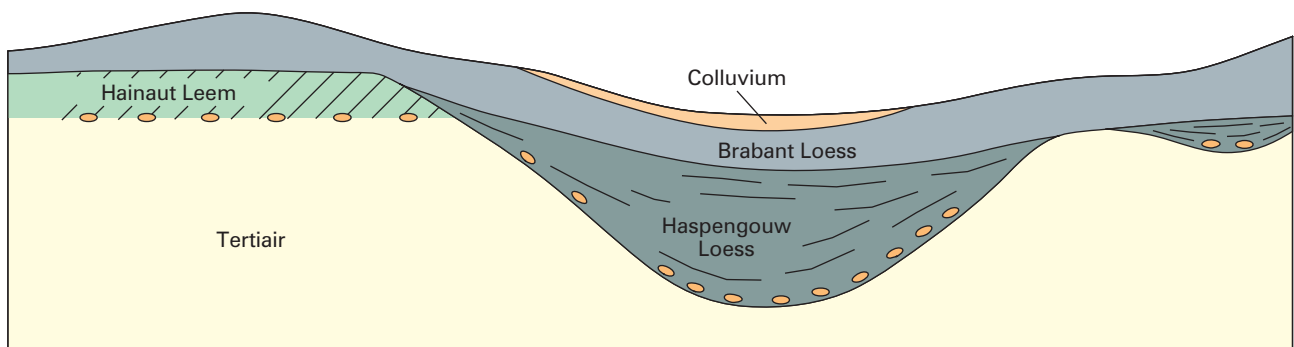
Vanaf zowat 40.000 jaar geleden werd het klimaat droger en begon nieuwe loess aan te waaien. Die spoelde in de ravijnen bijeen en vormde er de soms dikke Haspengouw Loess: grijs, fijngelaagd, kalkhoudend en doorspekt met slakkenhuisjes (Afb. 2.22).

Tussen 22.000 en 15.000 jaar geleden waaide dan de jongste Brabant Loess aan tijdens de koudste en zeer droge fase van de laatste ijstijd. Deze poederige, gele loess werd als een mantel over het heuvelland uitgespreid. Van Maastricht tot in Brabant trekt hij strepen door het landschap onder invloed van de noordoostenwinden. Tijdens het huidige interglaciaal verweert ook deze loess. De bovenste meter werd een leem met een kleigehalte tussen

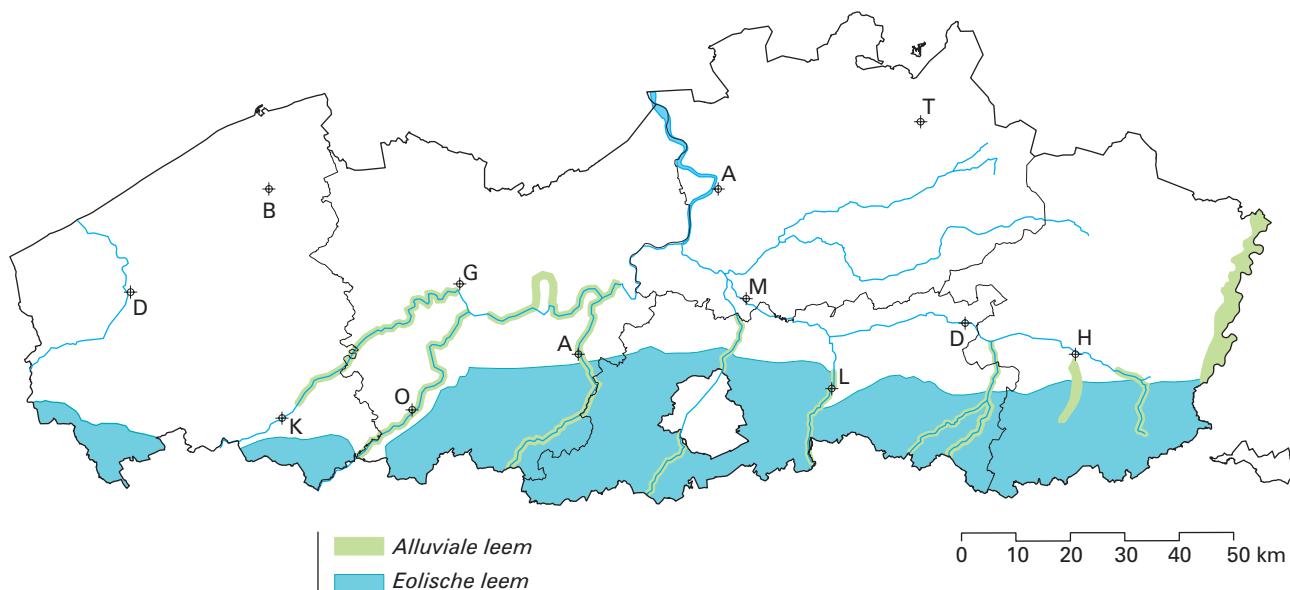


AFB. 2.21 HAINAUT LOESS
Profiel in een schuine wand van het Albertkanaal te Vroenhoven. De onderste Hainaut Loess is intens verweerd en vertoont een intactgebleven uitgeloopte bodem. De loess wordt bedekt door een humuslaag die een nieuwe ijstijd inluidt.

25% en 28%. De ontkalking door de lichtzure regen drong gemiddeld 3 m diep in, zodat dikwijls nog verscheidene meters oorspronkelijke loess overblijven.



AFB. 2.22 LOESS-VERDELING IN DE LEEMSTREEK
De Haspengouw Loess werd verspoeld en in de depressies bijgedreven. De Brabant Loess werd hierna afgezet en bedekt het landschap als een deken.



AFB. 2.23 VERBREIDING VAN LEEM

Verbreiding van alluviale en eolische leem in Vlaanderen. Eolische leem wordt teruggevonden in het zuiden van Brabant en Limburg, alluviale leem langs de waterlopen.

De eigenschappen van de bovenste verweringsleem verklaren de grote vruchtbaarheid van de leemstreek, als ook zijn millenniumlang gebruik als baksteengrondstof: vandaar de naam “kareelleem”.

Het kleigehalte is ideaal om een goede hechting van de korrels te verkrijgen, en toch niet al de poriën op te vullen zodat de kareelsteen poreus blijft en kan ademen.

De kleimineralen zijn vooral illiet, met ondergeschikt kaoliniet en smectiet. Daardoor is de plasticiteit goed en de krimp klein, terwijl de baktemperatuur rond 950°C ligt.

Van ouds, en tot onlangs, werd de kareelleem uitgegraven waar het huis gebouwd zou worden, zoals bijvoorbeeld uit de kelder. Een paar kruiwagens leem werden bevochtigd tot het omwerken en kneden gemakkelijk verliep. Een klomp deeg werd heftig in een dubbele steenvorm gesmeten, het overtollige deeg weggeschraapt en de vorm leeg geklopt op een plank. Hiermee werden de stenen weggedragen en op hun lange kant in rijen te drogen gezet. Dit was zomerwerk zodat de stenen goed droogden. Daarna werd een veldoven gestapeld: afwisselend een laag fijne steenkool, vroeger houtskool, en een laag stenen, over een oppervlakte van ongeveer 4 m bij 4 m en 2 m hoog, ongeveer overeenkomend met 25.000 stenen. Aan de buitenkant werd de stapel zorgvuldig toegestreken met een laag leem, op enkele trekgangen na aan de basis en in het dak van de stapel. Het vuur werd aangestoken, men liet de oven uitbranden en afkoelen. Bij de juiste hoeveelheid brandstof waren de meeste stenen goed gebakken en hadden zij de typische purperbruine kleur. Aan de buitenkanten van de stapel waren de stenen meestal onvoldoende gebakken, lichter van kleur en verpulverden ze gemakkelijk. Deze werden voor de binnenmuren gebruikt. In de kern van de vuurhaard waren sommige stenen te hard gebakken en door smelten van de klei glazig blauwzwart

geworden. Deze waren uitstekend geschikt voor de funderingen.

Tijdens de Middeleeuwen was kareelsteen de gebruikelijke bouwsteen in de leemstreek. Natuursteen werd vaak alleen als gevelsteen gebruikt. Uitgegraven percelen herkent men aan taluds in de velden, evenwijdig met de helling. Ze zijn vooral opvallend rond de steden, waar duidelijk georganiseerde ontginning heeft bestaan. Modern industrieel uitgraven van deze dunne oppervlaktelaag, zoals in Zaventem, is slechts toelaatbaar wanneer het terrein daarna een vaste niet-agrarische bestemming heeft.

In zuidelijk West-Vlaanderen is de oudste leem vrij dik en de jongste ontkalkt. Het geheel, 6 tot 8 m dik, kon samen ontgonnen worden, zoals bijvoorbeeld in Poperinge.

In oostelijk Haspengouw worden totale dikten van 20 m bereikt, met een belangrijk aandeel van de kalkrijke loessen. De verschillende horizonten hebben zeer verscheiden kenmerken en moeten apart worden ontgonnen. Nieuwe industriële processen maken het mogelijk ook de kalkhoudende te verwerken. Door de aanwezigheid van kalk bakt die steen in roos-gele tinten, wat een zeer gevraagde gevelsteen oplevert. Kleine kalkconcreties, loesspoppen, zijn plaatselijk aanwezig en branden tot ongebluste kalk. De zeer kleirijke onderste leem levert, ten gevolge van het hoge ijzergehalte, een harde baksteen met donkerrode tint.

6.C ALLUVIALE LEEM

F. Gullentops

Met het begin van de landbouw in Haspengouw, zowat 6.000 jaar geleden, begon ook de ontbossing en de daaruit voortvloeiende bodemerrosie. Daardoor werden de zuidelijke rivieren in toenemende mate met de erosieproducten van het leemgebied beladen (Afb. 2.23).

De vroegere moerassige dalbodems met kalktuffen en venen werden sindsdien bedekt door een laag alluviale leem die gemiddeld 5 m dik is. Bij overstroming bezinkt eerst het uit de rivierbedding meegesleurde zand, en ontstaat een zandige oeverwal. In de alluviale vlakke vermindert progressief de snelheid van de overstromende waterlaag, zodat steeds fijner materiaal tot bezinking komt. Het alluvium varieert dan van zandige leem tot kleiige leem (Afb. 2.24). Een gunstige samenstelling voor baksteengrondstof is dus altijd wel ergens voorhanden.

De hoge waterstand was vroeger een beperkende factor. Enkel tijdens de zomer kon leem worden uitgegraven. Deze moest dan voor verwerking tot buiten de alluviale vlakke vervoerd worden. In de alluviale vlakten van Dender, Zenne, Dijle en Gete werd er vermoedelijk nooit leem ontgonnen omdat er in de buurt genoeg kareelleem voorhanden was. Nu onder water gebaggerd



AFB. 2.24 ALLUVIALE LEEM
De grindbedding van de Dijle wordt achtereenvolgens bedekt door een zandbank, overstromingsklei, en humeuze moerassedimenten, in totaal 4 m dik (huidige alluviale vlakke, Leuven).



Afb. 2.25 SCHELDESTEEN
Detail uit de wand van een 19e eeuwse hoefvetjete-Kerkhove waarin scheldesteen als parament werd gebruikt.

kan worden, zijn zeker belangrijke voorraden toegankelijk.

Door hun gering verval vervoeren Leie en Schelde weinig zand. Bovendien komen in hun stroombekkens, naast eolische leem, ook zware kleien voor: enerzijds residu's van de verwerking van het krijt in Artesië, anderzijds de leperiaan-kleien. De alluviale leem bevat daardoor gemiddeld 30% klei, waarin de smectiet mineralen tot 75% van het gewicht vertegenwoordigen. De alluviale vlakten met deze zware lemen vormen brede stroken in een zandleem omgeving, waardoor de grondstof vrij snel aan belang won. Stroomafwaarts van Deinze en Oudenaarde werden ze vanouds ontgonnen; nu bakt men Scheldesteen alleen nog bij Oudenaarde. De porositeit van de Scheldesteen wordt in de hand gewerkt door het gehalte aan plantenresten. Deze laten na verbranding kleine holten achter (Afb. 2.25).

Temidden een grind- en zandlandschap is de alluviale leem van de Maas zeker een waardevol element. De laag is gemiddeld 2 m dik en is een zandhoudende leem met ongeveer 20% klei; de illiet-groep overtreft hierbij krap de smectieten. Aangezien de Maas keien vervoert, spoelen bij overstroming ook wel kleine keien mee in het alluvium. De leem kon tijdens de zomer, door de lage waterstand van de Maas, gemakkelijk worden geëxploiteerd. In de Maasvlakte zijn echter talrijke oude beddingen van armen en meanders aanwezig waar de aanslibbing tot 4 m dikte bedraagt. Het waren oorspronkelijk plassen waarin het kleigehalte oploopt tot 30%, met een hoog gehalte aan plantenresten. De huidige steenbakkerijen bij Maaseik verwerken de leemafdek van de grindgroeven.

6.D DE POLDERKLEI

F. Mostaert

In het kustgebied werden in de laatste 2000 jaar de zogenaamde Duinkerke Kleien afgezet. Deze kleien

zijn afgezet in de hoogste delen van een waddengebied, in de slikken en schorren. Dit getijdengebied ontstond nadat het duinmassief waarachter zich een uitgestrekt moeras met veen had ontwikkeld, door getijdegeulen doorbroken werd.

Bij eb lag een brede kuststrook deels boven water, bij vloed liep deze onder. Later werd dit getijdengebied ingedijkt en ontstonden de zogenaamde polders. De polderkleien zijn dus oorspronkelijk kleiige slikke- en schorreafzettingen die zelden dikker dan 3 m en meestal hooguit één meter dik zijn. Zandige slikkeafzettingen en zandige kreekoeverwalsedimenten zorgen ervoor dat de dunne oppervlakkige kleilaag lateraal en vertikaal een vrij heterogeen pakket vormt.

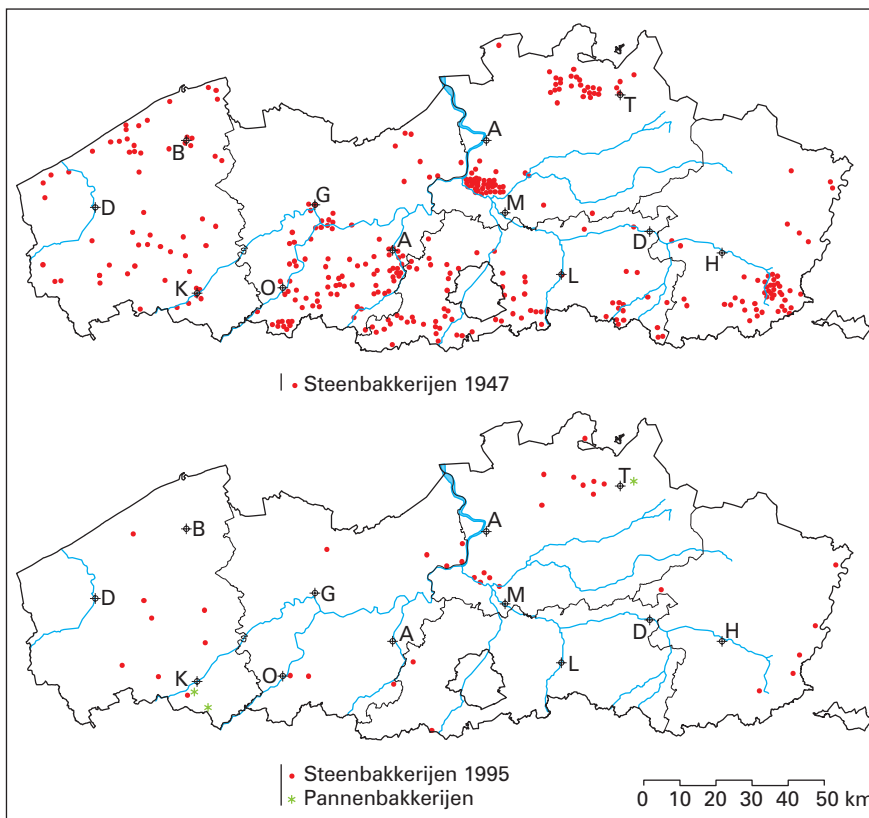
Polderklei bevat gemiddeld 20 tot 25% kleifractie en 25 tot 45% zandfractie. De kleifractie bestaat voor 70 tot 75% uit smectiet, 20 tot 25% illiet en ongeveer 5% kaoliniet. De plasticiteit en het specifiek oppervlak vertonen middelmatige waarden. Tijdens het bakken verliezen deze grondstoffen tot 10% van hun oorspronkelijk gewicht.

De onderste kleien bevatten veel schelpen, schelpgruis en zeer fijn kalkmeel, terwijl de bovenste schorrekleien in belangrijker mate geoxydeerd zijn en daardoor ook minder kalkhoudend. Na de indijking is de ontkalking van de bovenlaag steeds intenser doorgegaan. Het carbonaatgehalte varieert van 0% bovenaan tot maximaal 18% van het gewicht. Het hoge gehalte aan carbonaat is de oorzaak van de bleke kleur van de bakstenen.

Er worden en werden heel specifieke stenen gebakken met de Polderklei zoals gevlamde stenen met rode en gele tinten of Moeffen (zeer grote formaten) aangewend in heel wat kerken.

Sulfiden en sulfaten komen nagenoeg niet voor. Organisch materiaal komt slechts in beperkte mate voor (veengruis, plantenresten en verspoelde veenbrokken).

Momenteel wordt de Polderklei slechts door één bedrijf verwerkt. In 1995 waren er nog 23 ontginningsgebieden actief voor 16 bedrijven. Door de geringe kleidikte is de netto opbrengst per hectare vrij beperkt en dienen dus vrij grote oppervlakten te worden ontgonnen. De op de bodemkaart aangegeven uitgebrikte gronden komen overeen met de oude kleiwinningen. De ondiepe ontginningen ontwikkelden lokaal tot natuurreservaten zoals het reservaat van Stuivekenskerke. Op andere plaatsen werd ook het zand dat onder de klei voorkomt ontgonnen; daar ontstonden plassen.



AFB. 2.26 EVOLUTIE VAN HET AANTAL STEENBAKKERIJEN
Op een halve eeuw tijd is het aantal steenbakkerijen in Vlaanderen drastisch afgenomen. Er resten nu nog 37 steenbakkerijen en 3 pannembakkerijen.

7 KLEI EN MAATSCHAPPIJ

F. Mostaert

Hoewel de Romeinen in onze streken reeds gebakken kleiprodukten gebruikten, kreeg de winning van klei en de verwerking tot bouwstenen pas in de Middeleeuwen een belangrijke economische en sociale impact. In de nabijheid van de op te trekken gebouwen werden lokale kleilagen ontgonnen en in veldsteenovens verwerkt. Overal in het landschap worden sporen van kleinschalige ontginningen teruggevonden.

Sedert de Napoleontische wetgeving werd de winning van klei als een activiteit van algemeen belang erkend. Tot in 1995 overigens was er voor de klei-ontginningen of graverijen een speciale wetgeving, afwijkend van die van andere delfstoffen en andere industriële activiteiten.

Vooral na de Tweede Wereldoorlog kende de grofkeramische industrie revolutionaire wijzigingen. De mechanisatie was daar in niet geringe mate verantwoordelijk voor.

Deze werd eerst tastbaar in de groeve zelf waar het manuele kleisteken in de vijftiger jaren definitief vervangen werd door afgraven met kleibaggers. Het grondstoffentransport van groeve naar fabriek werd eveneens gemechaniseerd: paarden werden door diesel-locomotieven of lopende band vervangen. Uiteindelijk werd ook het productieproces aangepakt. De voorbereiding van de klei werd zodanig aangepast dat overwintering van de klei overbodig werd. Bakstenen werden niet langer manueel

gevormd. Zelfs bij zogenaamde handvormstenen komt geen handwerk meer te pas.

De vormelingen worden niet langer in de zon of in halfopen droogloodsen gedroogd. Stenen worden nu gedroogd in droogovens die de restwarmte van de bakovens hergebruiken.

Ook het bakproces werd gewijzigd. De kleinschalige veldsteenovens in open lucht werden eerst door ring- of Hoffmanovens en uiteindelijk door meer dan honderd meter lange tunnelovens vervangen. In Vlaanderen zijn al deze oventypes en varianten, zoals de klamp- en de paapoven, nu nog sporadisch in gebruik. Ten overstaan van de productiecapaciteit van de tunnelovens is de capaciteit van de resterende andere types economisch ondergeschikt. In deze laatste worden heel specifieke producten op ambachtelijk niveau gebakken.

Door de gewijzigde productiemethodes werd de duur van het verwerkingsproces van klei tot baksteen drastisch ingekort, de productiecapaciteit stelselmatig verhoogd en werden de aan de grondstoffen gestelde kwaliteitseisen veel strenger.

Nog belangrijker echter was dat de verdere automatisering gepaard ging met schaalvergroting van de bedrijven. Daar de behoefte aan bakstenen niet toenam betekende dit

dat heel wat bedrijven verdwenen (Afb. 2.26). Daarbij werd de tewerkstelling dramatisch ingekrompen, van meer dan 10.000 in 1960 tot ongeveer 2000 momenteel (Afb. 2.27).

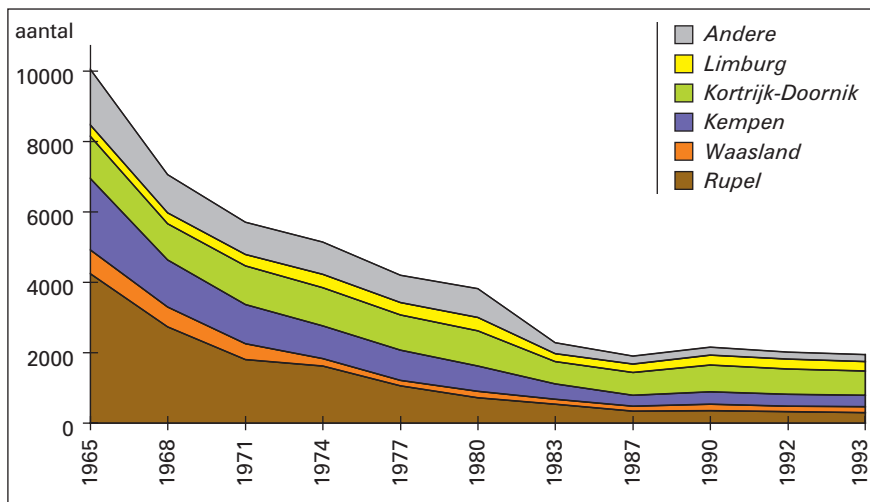
De bouwsector blijft daarenboven heel erg conjunctuurgevoelig. De sector kende dan ook een zware crisis in het begin van de tachtiger jaren (Afb. 2.28), wat weer gepaard ging met een daling van het aantal bedrijven en een aantasting van de tewerkstelling.

De verwerkingseenheden zijn momenteel niet noodzakelijk meer geografisch aan de nabijheid van de ontginning gekoppeld. Bepaalde grondstoffen zoals leem worden over grote afstanden aangevoerd. Ook de afzetmarkt reikt nu veel verder. Limburgse stenen worden in West-Vlaanderen gebruikt en omgekeerd. Er worden nu zelfs al gevelstenen uitgevoerd. De Vlaamse grofkeramische sector dekt de regionale behoeften nagenoeg volledig.

Fusies en overnames hebben ervoor gezorgd dat de vijftig resterende verwerkingseenheden in handen zijn van een aantal grote groepen, aangevuld met kleinere individuele bedrijven. Een aantal grote Vlaamse producenten geraakten geïntegreerd in grote internationale groepen.

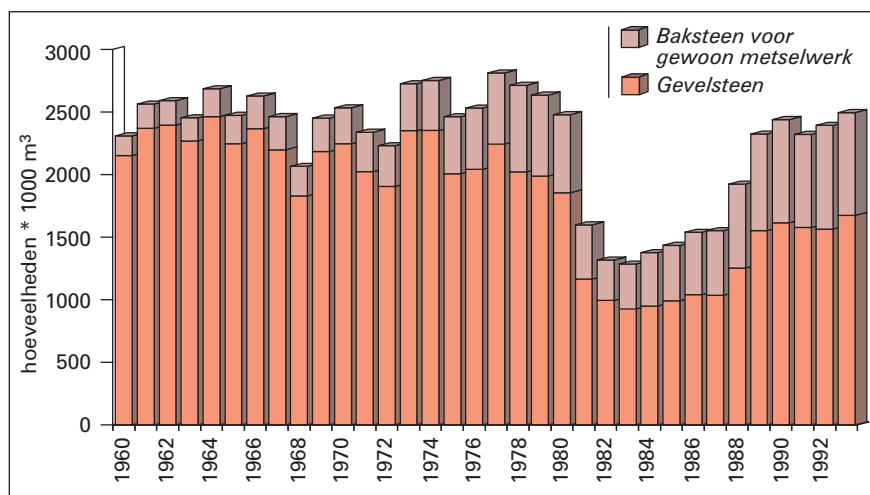
Een jaarlijkse productie van om en bij de 2,5 miljoen ton steen impliceert de ontginning van een oppervlakte van gemiddeld meer dan 40 ha. Maatschappelijk wordt deze

aantasting van de open ruimte niet meer zo vanzelfsprekend aanvaard, vooral omdat de kleiputten nogal eens stortplaatsen worden. De baksteen in de maag van iedere Vlaming heeft dus ook een milieu-prijskaartje.



AFB. 2.27 EVOLUTIE VAN DE TEWERKSTELLING

Alhoewel de productie nagenoeg ongewijzigd bleef (zie Afb. 2.28) is het aantal werknemers in de keramische nijverheid de laatste 30 jaar met meer dan 80% gedaald.



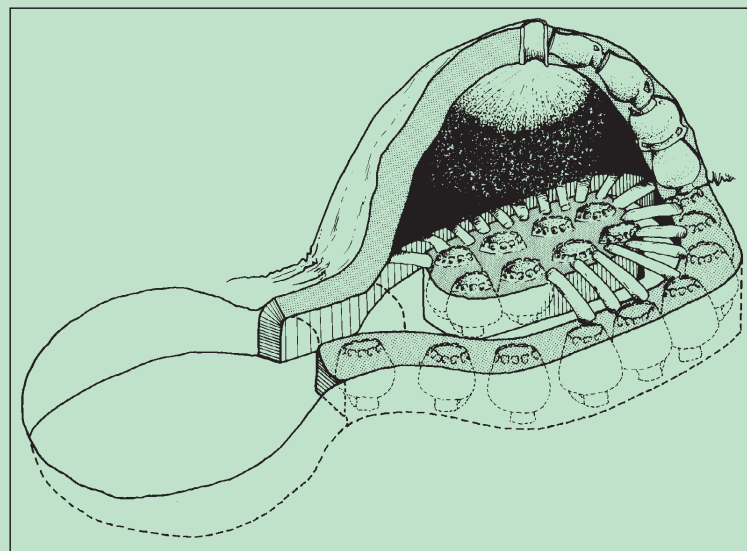
AFB. 2.28 EVOLUTIE VAN DE PRODUCTIE

Productie van gevelstenen en bakstenen voor gewoon metselwerk. De crisis in de bouwsector van begin jaren '80 is duidelijk uit de productiecijfers af te leiden.

LAAT-MIDDELEEUWSE POTTENBAKKERSOVENS IN OUDENAARDE

K. De Groot

In april 1988 werd pottenbakkersafval aangetroffen bij graafwerken op de binnenkoer van het Huis de Lalaing te Oudenaarde. Het daaropvolgende archeologisch onderzoek bracht vier 14de-eeuwse ovens en resten van ijzersmeltactiviteiten uit de 13de eeuw aan het licht. Het onderzochte terrein bevindt zich op alluviale gronden op de rechteroever van de Schelde te Oudenaarde, in de wijk Pamele. Pamele was een kleine nederzetting die zich na 1047 op deze Schelde-oever ontwikkelde, binnen de heerlijkheid van de heren van Oudenaarde, recht tegenover hun burcht. Deze Novus burgus, bewoond door handelaars en ambachtsslui, bekwam al in de 12de eeuw een stadskeure. Het stadje heeft zich echter nooit sterk kunnen ontwikkelen en kwam al in 1384 voor de rechtspraak onder het gezag van Oudenaarde. In 1593 verloor Pamele definitief zijn wettelijke identiteit en werd het door Oudenaarde opgeslorpt. Pamele is altijd een bescheiden nederzetting gebleven, die zich nooit veel verder dan de eerste stadswal uit de 12de eeuw ontwikkeld heeft. Het huis de Lalaing, een 17de-eeuwse patriciërs-woning, bevindt zich buiten deze omwalling, maar binnen de laat-middeleeuwse stadsmuren.



Reconstructietekening en zicht op de restanten van oven D.
(Tekening J. Moens)

ten zich binnen de muren van de stad konden ontwikkelen. De ijzersmeltactiviteiten op de site de Lalaing werden in het begin van de 14de eeuw stopgezet en vervangen door één of meer pottenbakkerijen. Deze artisanale ateliers waren ideaal gelegen om hun activiteiten te ontplooiën. Ze lagen buiten een bebouwde zone, dichtbij een zich sterk ontwikkelende agglomeratie en vlakbij een belangrijke land- en waterweg.

De grondstof voor de pottenbakkers, de alluviale kleien, was in de omtrek in grote hoeveelheden aanwezig en gemakkelijk exploiteerbaar. Daar de pottenbakkers waarschijnlijk, door het seizoensgebonden karakter van hun activiteit, eveneens aan landbouw deden, was een ligging aan de rand van een agrarische zone gewenst. Vanwaar de pottenbakkers kwamen is niet gekend, maar het is zeker niet uitgesloten dat zij al in dit gebied aanwezig waren voordat zij hun productie op de site de Lalaing aanvingen, gezien het feit dat er in de late 13de eeuw in die zone reeds een pannbakker actief was. Het verdwijnen van de pottenbakkers en de omvorming tot woongebied op het einde van de 14de of het begin van de 15de eeuw ging waar-

schijnlijk gepaard met het rechtekken van de Scheldeloop op deze plaats. Pottenbakkersvuren werden, o.a. om redenen van brandveiligheid, waarschijnlijk dan ook niet meer geduld in het uitdeinende woongebied tussen de twee stadsversterkingen.

De bouw van de tweede, grote stadswal, die zowel Oudenaarde als Pamele omsluit, is waarschijnlijk reeds in de late 13de eeuw te situeren. Dit impliceert wel dat de artisanale activitei-

Op een oppervlak van 42 m² werden vier pottenbakkersovens aangetroffen die tot dezelfde stratigrafische sequentie behoorden. Ze waren in een zandlemig ophogingspakket uitgegraven en werden afgedekt door een stortlaag van pottenbakkersafval dat duizenden scherven bevatte. Twee daarvan, oven A en oven B, waren opgebouwd in baksteen, zavel en leem, en vertonen twee gebruiksfases. Bij de overige twee ovens (C en D genaamd) werd voor de constructie ook gebruik gemaakt van misbakken en gebroken potten. Enkel de onderste structuur van de ovens was ten dele bewaard gebleven. Een grote kuil, die nog tot de periode van de pottenbakkersactiviteiten behoorde, doorsneed de ovens A, B en C. Oven D was ten dele door een post-middeleeuwse bakstenen muur vernield.

Oven C en de jongste fase van de ovens A en B behoren tot het liggende oventype. Ze bezaten alle drie een bakplaat, vervaardigd uit met stro vermengde leem, die steeds goed geïsoleerd was. Bij de ovens A en B zorgden de onderbouw van de oudere staande fase en de opvulling van de trekgangen voor voldoende isolatie tegen de vochtigheid en de koude van de bodem. Bij oven C bestond de onderbouw van de ovenplaat uit omgekeerde potten, waarbij de in de potten vastgehouden lucht een goede isolatie vormde. Bij deze ovens bevond de bakruimte zich achter de stookruimte, waardoor de hitte rechtstreeks door de potten geleid kon worden.

Oven D en de oudste fase van de ovens A en B zijn van het staande type, met een middensokkel en een rooster, waarbij het vuur onder de potten gebracht werd. Voor de laat- en post-middeleeuwse periode lijkt dit het meest gangbare type in onze streken. De ovens A en B hadden een ovaal grondplan. Oven D daarentegen had een bijna rechthoekige vorm, die bepaald werd door het gebruik van kruiken als bouw materiaal. Opvallend bij de Oudenaardse ovens is de zware middensokkel, die een serieuze belemmering moet zijn geweest om de bakruimte op temperatuur te krijgen. In oven B werd dit probleem opgevangen door de aanleg van een trekgang door de lengte-as van de middensokkel. Waarom dit niet meer het geval was bij de jongere oven A, die voorts op een identieke manier geconstrueerd was, is niet duidelijk.

Een tot 6 cm dikke aslaag in de trekgangen van de ovens A en B toont aan dat bij het stoken met houtskool, het vuur in de gangen gebracht werd. Over de levensduur van de Oudenaardse ovens bestaan er geen gegevens. Gezien hun onderlinge posities is het duidelijk dat deze ovens niet gelijktijdig gefunctioneerd kunnen hebben. In Engeland en Frankrijk werd vastgesteld dat de middeleeuwse pottenbakkersovens minstens vijf jaar konden meegaan, en tien jaar geen uitzondering zal zijn geweest. Eén bakking nam minstens 1 week in beslag. Door zijn afhankelijkheid van de weersomstandigheden was het pottenbakken echter seizoensgebonden. De verschillende

Oudenaardse ovens samen overspannen dus waarschijnlijk een periode van minstens 20 jaar.

Het aardewerk dat in de ovens werd aangetroffen, omvat zowel rood, oxiderend als grijs, reducerend gebakken producten. De productie omvatte een uitgebreide vormenwaaier: kannen en kruiken, kookpotten (één- en twee-orige grappen), braadpannen, voorraadpotten, kamerpotten, borden, kommen en teilen. Het aardewerk is overwegend hard tot klinkend hard gebakken. De stooktemperatuur lag waarschijnlijk tussen 900 en 1000 °C. Vanaf 900 °C ondergaat de klei een eerste sintering, waardoor het verdicht en harder wordt (en dus van betere kwaliteit is). Enkele vormen uit de ovens B en C (kannen, teilen en kommen) zijn meestal niet volledig gaar gebakken. Dit kan verklaard worden door hun positie in de oven. Bij het stapelen van de oven werden de grootste en stevigste vormen onderaan geplaatst (eerst de grote kruiken en dan de kogelpotten en de grappen) en de kleinere vormen (voornamelijk de kleine en slanke kannen) bovenaan. De open vormen zoals de teilen en de kommen zijn door hun wijde kwetsbaar en werden om die reden waarschijnlijk eveneens hoofdzakelijk bovenaan gestapeld. De bovenaan gestapelde vormen waren het verst van het vuur verwijderd en hadden om die reden het meest kans om niet volledig gaar te zijn.

Het aardewerk is op de draaischijf vervaardigd en vooral de bodems zijn bijgesneden. Het oxiderend gebakken aardewerk is altijd gedeeltelijk geglazuurd. Het transparant loodglazuur werd door middel van een papje aangebracht, uitgezonderd enkele types uit oven D waarop strooglazuur gebruikt is. Het glazuur werd zowel om functionele als om decoratieve redenen aangewend. Het functionele gebruik van glazuur zien we bij braadpannen, kannen en kruiken. Als versiering werd glazuur aangewend in combinatie met wit slib op borden en bepaalde kruiken met slibdecor, waarbij het echter enkel bij deze laatste puur decoratief was. De witte kleipap werd bij de kruiken door middel van een hulpstuk (een doorboorde koehoorn of een bakje) in lijnen aangebracht (het zogenaamde ringeloren). Bij de borden werd het slib met de vingers in een patroon opengesmeerd. Andere versieringswijzen zijn het modelleren van lobben op rand of oor, het aanbrengen van geprononceerde draairibbels en het afdrucken van een radstempel.

Slechts een klein deel van het pottenbakkersbedrijf van het Huis de Lalaing is opgegraven. Een groot gedeelte ligt momenteel nog veilig bewaard in de ondergrond van de binnenkoer en de tuinen van deze 17de-eeuwse patriciërswooning. Een belangrijke hoeveelheid informatie, die ons meer kan vertellen over de productieperiode, de productiewaaier en de structuur van het atelier, blijft als dusdanig beschikbaar voor onderzoek in de toekomst.

VERDERE LECTUUR:

In het bestek van dit boek lijkt het de editoren onnodig om een uitgebreide literatuurlijst te verschaffen van al de referenties die gebruikt werden om de tekst op te stellen. Een aantal algemene of synthetiserende werken worden wel opgesomd. Indien men meer gedetailleerde informatie wenst over een onderwerp, kan men contact opnemen met de respectieve auteur.

De volledige lijst met adressen kan men in het nawoord terugvinden.

De Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie heeft een volledig boekdeel aan het Iepriaan gewijd: *The Ypresian Stratotype*, ed. DUPUIS, C., DECONINCK, J. en STEURBAUT, E., Vol 97, delen 3-4, 1991.

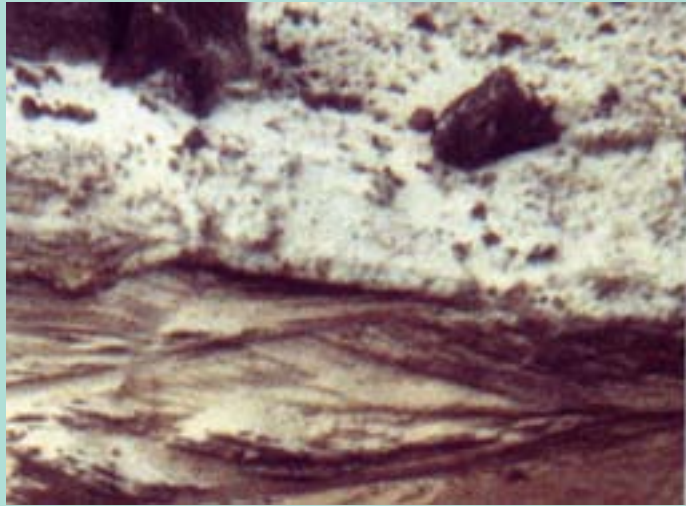
In "Geologie van de Kempen, een synthese" van L. WOUTERS en N. VANDENBERGHE wordt in een hoofdstuk de Boom Klei onder de loep genomen (NIROND-94-11 oktober 1994).

Ottenburgs, R., Vandenberghe, N., Viaene, W. en Decler, J., 1983, Geologische, mineralogische, chemische en fysische karakterisering van de Belgische kleigrondstoffen, Deel 1, Professional Paper nr. 198, 1983/3, BGD, Ministerie van Economische Zaken.

Peirs, G., 1979 - Uit klei gebouwd, baksteenarchitectuur van 1200 tot 1940, Lanno, Tiel, 195 p.

Vandenberghe, N., 1978 - Sedimentology of the Boom Clay (Rupelian) in Belgium, Verh. Acad. Wet., Lett. en Schone Kunsten van België, Klasse der Wetenschappen, jaargang XL, nr. 147.

BOUWZAND



Zand is door zijn alomane aanwezigheid in Vlaanderen een zo gewoon begrip dat we ons niet onmiddellijk realiseren dat het elders veel zeldzamer is en soms van ver moet worden aangevoerd. Amper een halve eeuw geleden waren de eisen aan bouwzand gesteld nog erg beperkt: zavel werd aangewend om te metselen met kalkmortel, om te plafonneren, als vloerbed en als kasseibed. En een zavelput was nooit ver uit de buurt. Alleen betonwerk en cementeren vereisten grof zuiver zand, meestal Rijnzand. Maar elk zand is niet voor alle doeleinden geschikt. Hoe betere kwaliteit wordt nagestreefd, des te specifiekere de eigenschappen van het zand. Daarbij vereist een rendabele ontginning de mechanisatie van graven en laden. En veelal allerlei behandelingen om de eigenschappen van het product te verzekeren. Deze eigenschappen hangen van een groot aantal parameters af.

ed. F. Gullentops en E. Soers

1. EIGENSCHAPPEN VAN ZAND

E. Soers en F. Gullentops

1.A KORRELGROOTTE

Geologisch worden de korrels ingedeeld volgens een geometrische reeks:

> 2 mm	grind
2 tot 1 mm	zeer grof zand
1 tot 0,5 mm	grof zand
0,5 tot 0,25 mm	gemiddeld zand
0,25 tot 0,125 mm	fijn zand
0,125 tot 0,063 mm	zeer fijn zand
0,063 tot 0,002 mm	silt
< 0,002 mm	kleifractie

Het **vulstofgehalte** of gehalte aan fijne deeltjes geeft aan welke hoeveelheid van het zand gekenmerkt wordt door een korrelgrootte kleiner dan 0,08 mm. Hiervan is vooral de kleifractie van belang omdat ze bestaat uit kleimineralen die water aantrekken en een nadelige invloed kan hebben op de sterkte-eigenschappen van het beton. De andere fractie, het silt, bestaat wel uit inerte korrels (grotendeels kwartskorrels), maar het slijt de poriën van het zand toe. Vet, mager en scherp zand geven verschillende gradaties in gehalte aan fijne deeltjes weer.

De **grofheid** geeft de gemiddelde korrelgrootte van het zand aan. Dit komt overeen met de korrelgrootte waarbij in gewicht de helft van het zand grover en de helft fijner is dan deze korrelgrootte. De **gelijkvormigheid** is een maat voor de sortering van het zand, dus binnen welke grenzen de diameters van de korrels schommelen. Door beide eigenschappen wordt ook de hoeveelheid en de maat van de poriën bepaald en dus de porositeit en de doorlaatbaar-



Afb. 3.1 VERWERING VAN BETON
Door de reactie met het bindmiddel (donkerbruine massa) is de vuursteenkei (het lichtbruine aan de bovenkant van de foto) over heel het contact gearsten door de ontwikkeling van het zwellende natriumsilicaat (heldere slierten).

heid (permeabiliteit) van het zand. De korrelgrootte-kromme geeft de procentuele som weer van de fracties die op de verschillende zeven achterblijven. Ze maakt het mogelijk de verschillende kenmerken af te leiden.

Door de **korrelvorm** beschrijft men twee eigenschappen; enerzijds de afwijking van een ideale breukvorm, de kubus; anderzijds de mate waarin de hoeken van deze vorm door afslijten zijn afgerond tot de ideale bolvorm. Door deze eigenschappen wordt de stapeling van de korrels aanzienlijk beïnvloed en ook hun specifieke oppervlakte. Dit is de totale oppervlakte van een gram korrels: ze bepaalt de reactiviteit en de hechting met het bindmiddel (Afb. 3.1)

1.B SAMENSTELLING

De **mineralen** waaruit het zand bestaat bepalen in hoge mate zijn stabiliteit. Kwarts is het normale hoofdbestanddeel, zodat zonder andere aanduiding met zand steeds kwartsrijk zand wordt bedoeld. Kwarts is een hoofdbestanddeel van vele gesteenten en omdat het zeer hard is en scheikundig zeer stabiel, blijft het na verwerking van het gesteente over. Hoe meer verweringscycli een gesteente heeft ondergaan, des te rijker het dus wordt aan kwarts. Het kwartsgehalte is dus ook een kwaliteitsmaat van het zand. Van de vele mineralen die nog aanwezig kunnen zijn, vermelden we slechts de bijlangrijkste.

Veldspaten zijn een groep iets minder harde mineralen met goede splijtingen. Ze zijn meestal in variabele mate verweerd tot kleimineralen wat hun stabiliteit vermindert.

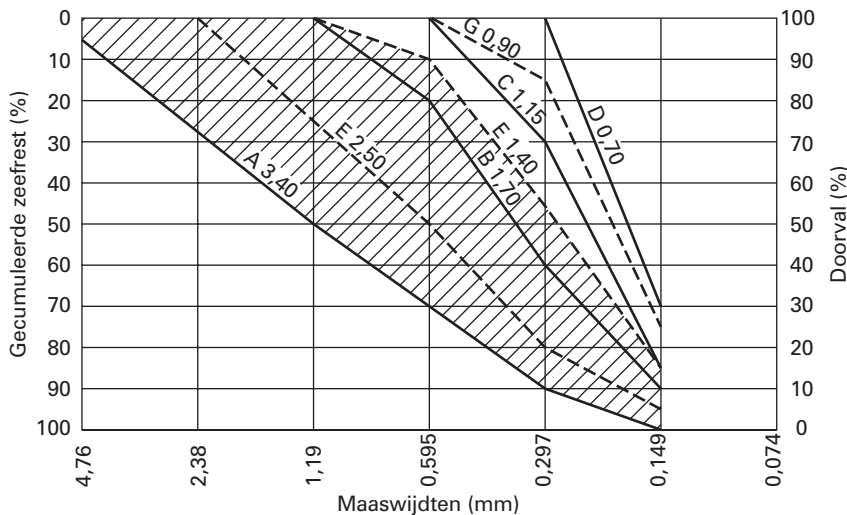
Calciet is zacht, heeft gemakkelijke splijtingen en reageert basisch. Het wordt zelfs door regenwater stilaan opgelost.

Glauconiet is een ijzerrijk silicaat dat veel voorkomt in Tertiaire mariene zanden. Het kan met cement reageren, zwellen en oxideren en is dus een onstabiel mineraal. Onder invloed van trillingen -van het verkeer- geven de glauconietkorrels colloïdale fragmenten af, waardoor glauconietzand kleilig wordt. Vandaar dat glauconietzanden ongeschikt zijn voor funderingen die door walsen worden verdicht.

Chalcedoon en opaal (bijvoorbeeld in vuursteen of silix) bestaan uit $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Door de aanwezige watermoleculen is de kristallijne structuur niet goed geordend, zelfs nog glazig. Dit onstabiel SiO_2 kan in beton met Na-ionen reageren en natriumsilicaten vormen. Deze kunnen in bepaalde omstandigheden een zwellende gel vormen, die vuursteenkeien doet barsten en scheuren in beton veroorzaakt.

De **kleur** wordt minder bepaald door de samenstelling van de zandkorrels zelf dan door de film van onzuiverheden die op de korrels plakt. Die bestaat veelal uit

ijzerverbindingen: geel zand is bijna zuiver, een film roest geeft bruin zand in ons klimaat, rood zand in de warme klimaten. Een dergelijke roestfilm belet een stevige binding van cement met de zandkorrel. Een humusneerslag rond de korrels geeft een donker grijze tot bruinzwarte kleur. De humusfilm is zuur en belet dat het basische cement zich op de korrels hecht.



Afb. 3.2 KORRELGROOTTE VAN ZAND VERSUS GEBRUIK
 Het korrelgroottediagram geeft aan hoeveel van een zand groter of kleiner is dan een bepaalde zeefdiameter. De normkrommen met hun fijnheidsmodulus bakenen gebruiksvelden af. In dit voorbeeld bakent het gearceerde gebied de normen voor draineerzand af.

1.C GEBRUIK

De Belgische Normen van de reeks NBN B11 (1969) schrijven de grenzen voor waarbinnen de eigenschappen van een zand zich dienen te bevinden voor een bepaald gebruik. De korrelgroottekromme dient in een veld te lig-

gen dat tevens de fijnheidsmodulus bepaalt. Het maximum slibgehalte wordt aangegeven zowel als het maximum van bepaalde kritische onzuiverheden.

Afbeelding 3.2 maakt bijvoorbeeld duidelijk dat zand voor draineerlagen van wegwerkzaamheden dient te liggen tussen de krommen A en F met fijnheidsmodulus 3,4 en 1,4. Het mag maximaal 3% vulstof bevatten en 1% organische

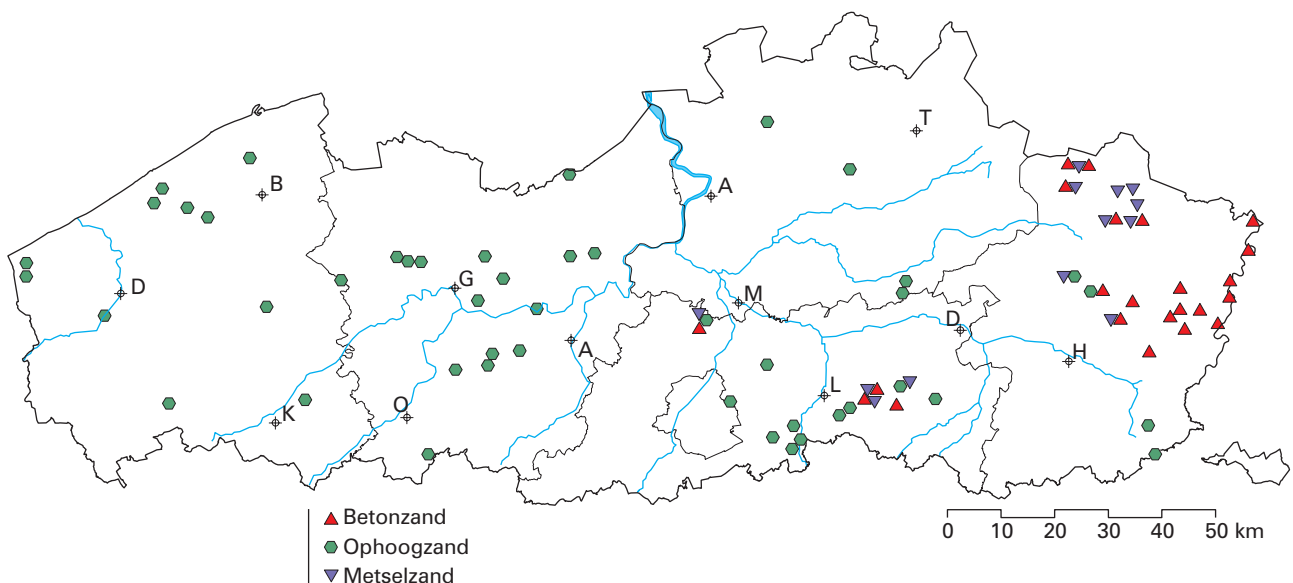
stoffen. De grove korrel van het zand garandeert een hoge doorlatendheid met weinig slib dat de poriën kan verstoppen.

Deze korreleigenschappen voldoen ook voor betonzand, maar het gehalte aan organische stoffen dient minder te zijn dan 0,5%. Mager beton voor funderingen is minder eisend, tussen de krommen A en G, dus mag fijner zand bevatten en 7% vulstof. Integendeel dient zand voor cementbeton voor wegwerkzaamheden een hogere kwaliteit te bereiken nl. grover te zijn tussen de krommen A en B en maximaal slechts 2% vulstof te bevatten.

Zand voor metselmortel mag veel fijner zijn tussen de krommen B en G en en ook 7% vulstof bevatten, maar ook slechts 0,5% organische stoffen. Voor bepleistering wordt de tolerantie nog groter tussen de krommen A en G, met

voor binnenbepleistering tot 20% vulstof.

Het ministerie van de Vlaamse Gemeenschap vatte in het typebestek 200 een aantal technische voorschriften samen (1992). In verband met de Europese gelijkstelling en het toenemend gebruik van vervang- en recyc-



Afb. 3.3 VERSPREIDING VAN ACTIEVE ZANDONTGINNINGEN
 Ligging van reserves en actieve ontginningen van zand (en grind langs de Maas), bron Bestuur Natuurlijke Rijkdommen en Energie.

gematerialen zullen de normen in de nabije toekomst een hernieuwde specificering krijgen.

Afbeelding 3.3 toont hoe de actieve ontginningen en de op de gewestplannen aangeduide reserves duidelijk geconcentreerd zijn. Zelfs zand voor lokaal gebruik is in bepaalde gebieden zeldzaam. Dit is in zekere mate ook te wijten aan het verdwijnen van de kleine ambachtelijke ontginningen.

2 ZANDEN IN VLAANDEREN

2.A EOCENE ZANDEN TEN WESTEN VAN-DE-ZENNE

S. Geets

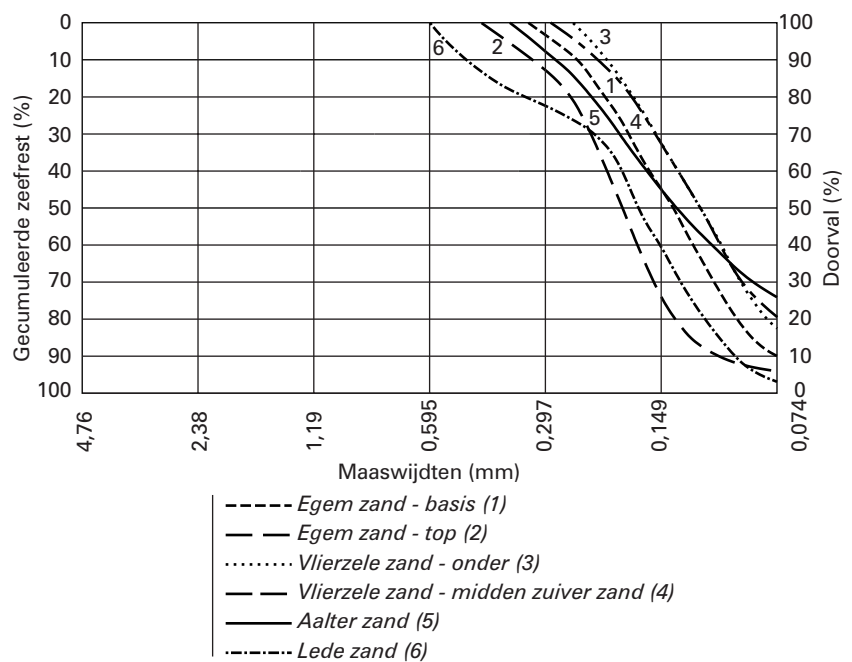
Ten westen van de Zenne dagzomen bijna uitsluitend afzettingen van Eocene ouderdom. Daarin overheersen kleirijke lagen en pas vanaf het einde van het leperiaan wordt de zee ondiep genoeg om nabij de kustlijn zandige sedimentlichamen te ontwikkelen. Deze blijven dun, erg fijnkorrelig en doorweven met kleiige laagjes (Afb.-3.4). Voor lokaal gebruik werden toch vier horizonten ontgonnen (Afb. 3.5).

2.A.1 EGEM ZAND

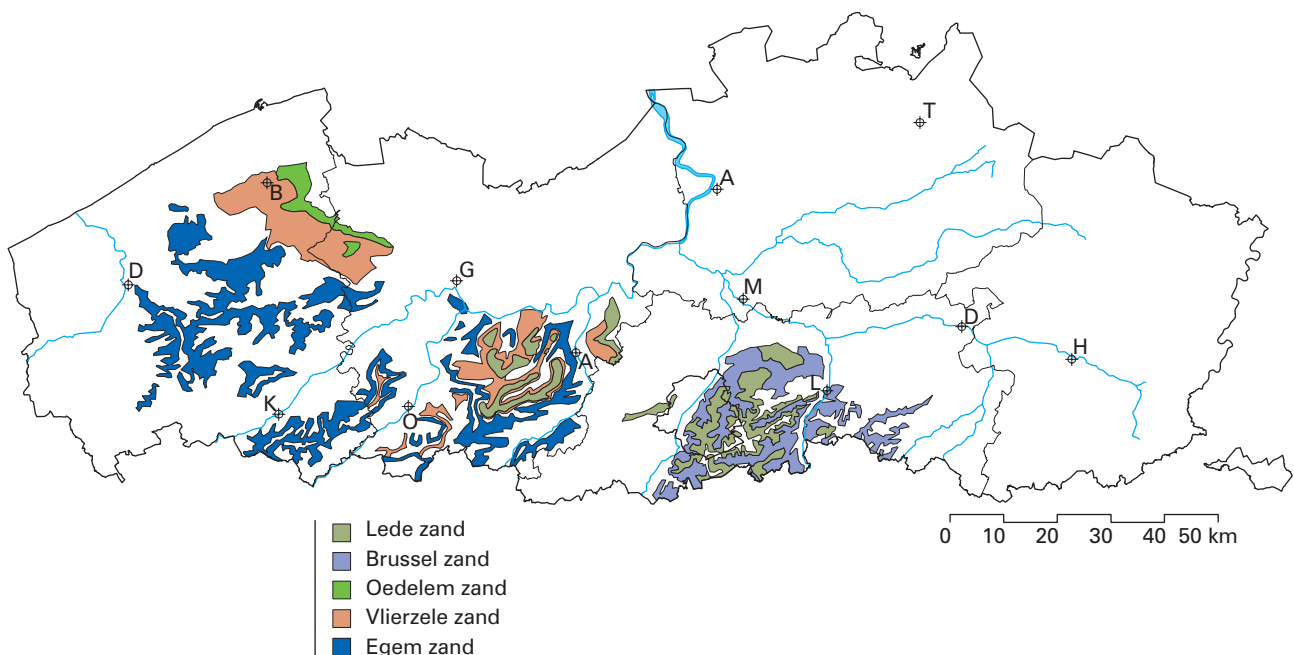
Deze zandige afzetting uit de Formatie van Tielt dagzoomt overwegend in het zuiden en het centrum van Oost- en West-Vlaanderen alsook in het westen en zuid-westen van Brabant. De dikte kan

in het centrum van het ontsluitingsgebied 25 tot 30 m bedragen.

De basislagen zijn opgebouwd uit kleiig zeer fijn zand dat naar boven kleivrij wordt en in fijn zand overgaat. Het zand vertoont afwisselend donkere en bleke laagjes, te wijten aan een schommelend gehalte aan het donkergroene mineraal glauconiet. De horizontale pakketten van enkele decimeters dik eindigen meestal met talrijke dunne kleilaagjes. De basis van zulk pakket is dikwijls geulvormig, erosief, opgevuld door iets minder fijn zand met schuine of kruisgewijze gelaagdheid. De bodem van deze geulen bevat veelal



Afb. 3.4 GRANULOMETRIE VAN DE EOCENE ZANDEN
Cumulatieve korrelgroottecurven.



Afb. 3.5 VERSPREIDINGSGBIED VAN DE EOCENE ZANDEN

fijn schelpengruis, terwijl niet-gebroken fossielen slechts zelden verspreid in het zand voorkomen. Deze sedimenten werden afgezet nabij de kust in een tamelijk hoog-energetische omgeving, waar ieder pakket een cyclus van sterkere naar kalmere stromingen doorloopt.

Deze zanden worden geëxploiteerd voor de wegenbouw en de bouwnijverheid, nu nog in Egem, vroeger o.a. ook in Ardoorie, Staden en Hooglede.

2.A.2 VLIERZELE ZAND

Deze zanden uit de Formatie van Gent komen voor in midden en noord Oost- en West-Vlaanderen en op de toppen van de Zuid-Vlaamse heuvels. De volledige dikte bedraagt 20 m, maar kan sterk variëren; ze neemt af naar het zuiden en naar het oosten.

Het onderste deel bestaat meestal uit homogeen, licht kleilig, zeer fijn zand dat sterk glauconiethoudend kan zijn. Talrijke graafgangen wijzen op een sterke biogene activiteit die de oorspronkelijke sedimentatiestructuren heeft uitgewist, op enkele laagjes na met horizontale of schuine gelaagdheid.

Naar boven toe vermindert het kleigehalte van fijn tot zeer fijn zand, met minder glauconiet. Het zand komt voor in schuin- tot kruisgelaagde pakketten van enkele decimeters dikte, die lateraal meerdere meters gevolgd kunnen worden. Ze werden afgezet als getijde-zandbanken in een ondiepe, kustnabije zee (Afb. 3.6).

De topzone bestaat uit zeer fijn zand, dat dikwijls kleihoudend is. Er komen humeuze tot venige laagjes in voor van enkele centimeters dikte. Dit wijst op een afzetting in een beschermde omgeving nabij de kust.

Vooraf de zuivere zanden werden ontgonnen voor de bouwnijverheid, met talrijke zandgroeven in de streek van Vlierzele, Balegem (nog actief), Oordegem, Oosterzele, Munte, Baaigem, Kwaremont.

2.A.3 AALTER ZAND

Dit lid van de Formatie van Knesselare komt continu voor in het noorden van de provincies Oost- en West-Vlaanderen en dagzoomt in de streek rond Aalter en aan de voet van de heuvelrij Oedelem-Zomergem. Daarnaast wordt het gevonden in een aantal getuigeheuvels: Heusden, Gent (Blandijnberg) en sommige Zuid-Vlaamse heuvels. De dikte van de afzetting bedraagt gemiddeld 5 m, nooit meer dan 10 m.

In de streek van Aalter is het een bruingroen, zeer fijn zand, soms kleilig, dat rijk is aan fossielen en fossielfragmenten, voornamelijk *Venericardia planicosta*, de toenmalige hartkokkel. In Gent wordt een donkergroen, glauconiethoudend, (siltig) zeer fijn zand met klei en kalkstipjes gevonden.

2.A.4 LEDE ZAND

Dit zand komt voor in het noorden van Oost-Vlaanderen en van Brabant. Enkel in het Dender-Zenne interfluvium is het continu ontsloten. Meer naar het zuiden komt het voor als erosieresten in de Vlaamse heuvelrij. De dikte schommelt tussen 10 en 15 m.

De basis bestaat meestal uit een duidelijk herkenbaar grind met herwerkte *Cardium*-schelpen en nummulieten (lensvormige fossielen) en met geperforeerde rolkeien. Soms is dit grind verhard tot een kalksteenbank.



Afb. 3.6 VLIERZELE ZAND

In het Vlierzele Zand zijn enkele belangrijke ontginningen geweest, zoals bijvoorbeeld deze groeve te Beerlegem.

Hierop volgt kalk- en glauconiethoudend fijn zand. Er komen enkele banken zandige kalksteen in voor die geassocieerd zijn met grovere laagjes.

Het Lede Zand werd vroeger in Balegem ontgonnen.

2.B TERTIAIRE BOUWZANDEN TEN OOSTEN VAN DE ZENNE

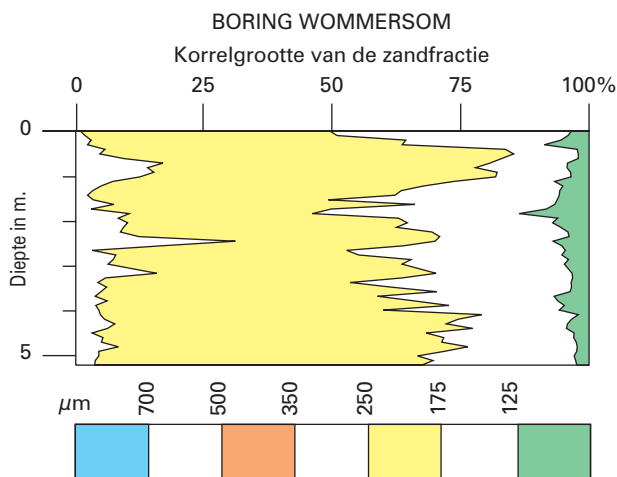
F. Gullentops
Ten oosten van de Zenne komt een veel grotere variëteit van zanden voor. Bijna alle ouderdommen zijn vertegenwoordigd van het Paleoceen in het zuiden tot het jongste Tertiair in de Noorderkempen. Daarin zijn kleien ondergeschikt omdat de zuidoostelijke stranden van de Noordzee nooit ver af waren.



Afb. 3.8 KRAKENBERG ZAND
Het Krakenberg Zand behorende tot de Formatie van Brussel wordt gekenmerkt door schuine gelaagdheden en licht aaneengeklitte boorsporen van organismen (Krakenberg, Bierbeek).

2.B.1 LANDENIAAN-ZANDEN

De terugtrekkende stranden van de Landeniaan-zee lieten een zandlaag achter die nu ontsloten is in het gebied Landen, Hoegaarden en Zoutleeuw. Dit Hoegaarden Zand is gemiddeld 6 m dik en bestaat uit fijn, zeer licht glauconiethoudend geelgroen zand. Het is opmerkelijk homogeen met slechts vage resten van vroegere gelaagdheid. Vermoedelijk was het zand oorspronkelijk kalkhoudend en werd het door ontkalking compacter (Afb. 3.7).



Afb. 3.7 HOEGAARDEN ZAND
Korrelgrootteverdeling van het Hoegaarden Zand in de groeve Wommersom. Een gedetailleerde korrelgrootte analyse van de laag Hoegaarden Zand toont de erg constante korrelgrootte van het zand waarvan het gemiddelde rond 200 µm schommelt. Het slijbgehalte is constant laag.

Het zand werd vroeger zeer veel uitgegraven, mede omdat de veelgezochte Kwartsiet van Wommersom in zijn top voorkwam en beide dus samen ontgonnen werden. Het was een uitstekend metsel- en bestratingszand. Van de laat-

ste groeve in Wommersom werd een hoek niet opgevuld en als reservaat bewaard.

In dezelfde streek werd vroeger in talrijke kleine groeven, van Hannut tot Tienen, een grof zand ontgonnen dat steeds zeer grillig was gelaagd, met schuine zandbanken typisch voor stroomafzettingen. De aanwezigheid van tussenschakelingen van laagjes zware, lagunaire klei en ligniet maakte een zorgvuldige, ambachtelijke ontginning noodzakelijk. Daarbij kon één groeve verschillende soorten zand produceren.

Mede gezien het soms dik eolische leemdek waren de ontginbare plaatsen niet zo talrijk. Een nieuwe grootschalige ontginning van dit deel van de Formatie van Tienen is zo goed als onmogelijk.

2.B.2 BRUSSEL ZANDEN

In oostelijk Brabant, tussen Zenne en Gete en meer in het bijzonder in het Dijlebekken, dagzoomt het dikke complex zanden dat de getijdegeulen opvult die uitgeschuurd werden tijdens het Brusseliaan event. In de diepste geulen zou de maximale dikte wel 80 m kunnen bereiken. Van onderen naar boven is er een duidelijke verfijning van de korrelgrootte.

2.B.2.a Krakenberg Zand

De onderste opvulling bestaat uit subhorizontale zandpakketten die overwegend tussen 1 en 2 m dik zijn. Ieder pakket bestaat uit schuine lagen die afhellen naar het noord-noord-oosten. Ze zijn afgezet op de flank van zandbanken die in die richting aangroeiden, volgens de vloedstroom die uit de Atlantische Oceaan toen hier in de Noordzee belandde. De stroming was sterk zodat het zand middelmatig tot bijna grofkorrelig is. Het bevat wel dunne laagjes klei die bezonken wanneer de waterbe-

weging stil viel tijdens de tijkentering. Uit de regelmatig variërende afstand van de kleilaagjes kan men opmaken dat, evenals nu, springtij en doodtij elkaar opvolgden in een maancyclus van 28 dagen. Door verkiezeling ontstaan zandsteenconcreties die de gelaagdheid volgen, ook allerlei graafgangen zijn versteend (Afb. 3.8).

Het zand vormt soms langgestrekte zandlichamen die geometrisch zeer verwant zijn aan de Vlaamse Banken en waarvan de Krakenberg in Bierbeek een uitstekend voorbeeld is. Het is sinds lang ontgonnen als een uitstekend algemeen bouwzand. Wel dienen de zandsteenconcreties te worden verwijderd. Het gebruik als betonzand is afhan-

kelijk van de hoeveelheid kleilaagjes. De voorraden zijn belangrijk en de ideale ontginningsplaatsen zijn die waar de grootste dikte boven de watertafel beschikbaar is. Voor de nabestemming dient er rekening mee te worden gehouden dat deze uitstekende waterlaag intensief wordt ontgonnen.

2.B.2.b Het Neerijse Zand

Op het Krakenberg Zand ligt, meestal duidelijk begrensd, het Neerijse Zand, waarvan de kenmerken aantonen dat het zeebekken veel ondieper was geworden en de stromingen aanzienlijk zwakker. De zandpakketten zijn dunner, tot slechts 50 cm, maar nog steeds opgebouwd uit schuine laagjes. De korrelgrootte is fijner en het gehalte aan kleilaagjes geringer. De sedimentatie verliep ook trager zodat het aantal sporen van organismen groter wordt. Parallel hiermee neemt het volume aan verkiezelingen toe (Afb. 3.9).

Het zand is in hoofdzaak als metselzand gebruikt. De verkiezelingen, bekend als grotstenen, zijn in allerlei lokaal gebruik terug te vinden. Waar het zand dieper gelegen is, zoals in Heverlee, is het nog kalkhoudend en zeer geschikt voor kalkmortel en plafonneerwerk. Ook de kwaliteit van de grotstenen is dan beter. In vele groeven komen Neerijse en Krakenberg Zanden boven mekaar voor en worden dan gescheiden ontgonnen.

2.B.2.c Diegem en Lede Zanden

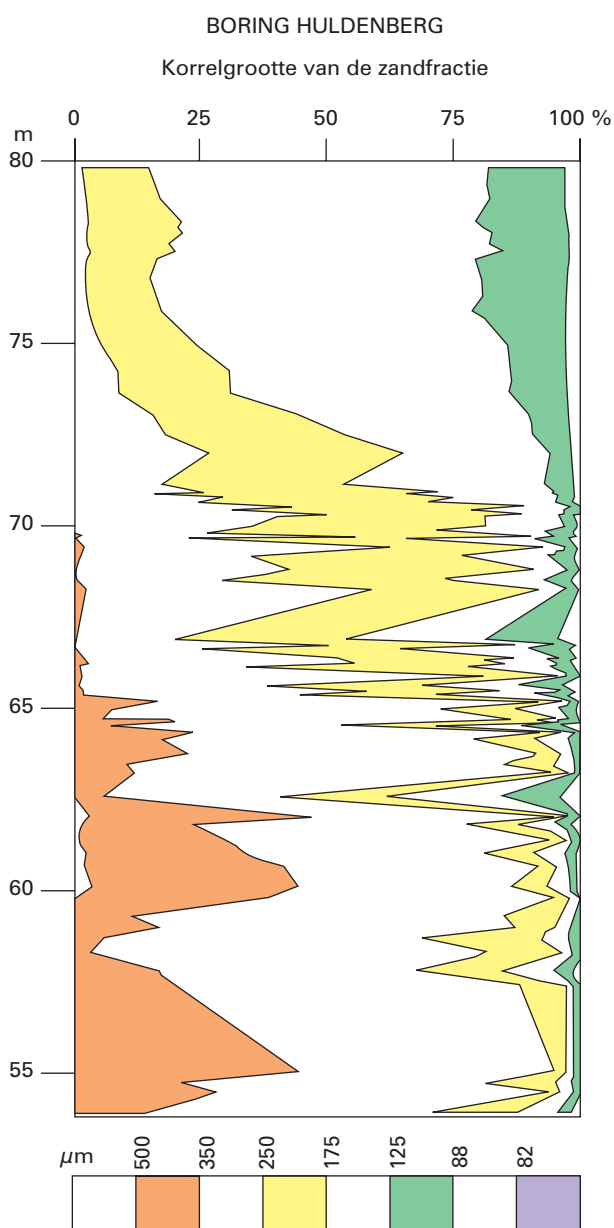
De sedimentatie van de Brussel Zanden eindigt met het fijne Diegem Zand dat tussen Leuven en Brussel voorkomt, samen met de meest oostelijke uitlopers van het Lede Zand. Beide zanden zijn zeer kalkhoudend en leverden de historisch zo belangrijke kalkzandstenen op (zie het hoofdstuk over Bouwsteen). Het ontkalkte zand wordt nog alleen als lokaal metselzand ontgonnen, het overige zand wordt als plafonneerzand gebruikt.

2.B.3 OLIGOCENE ZANDEN

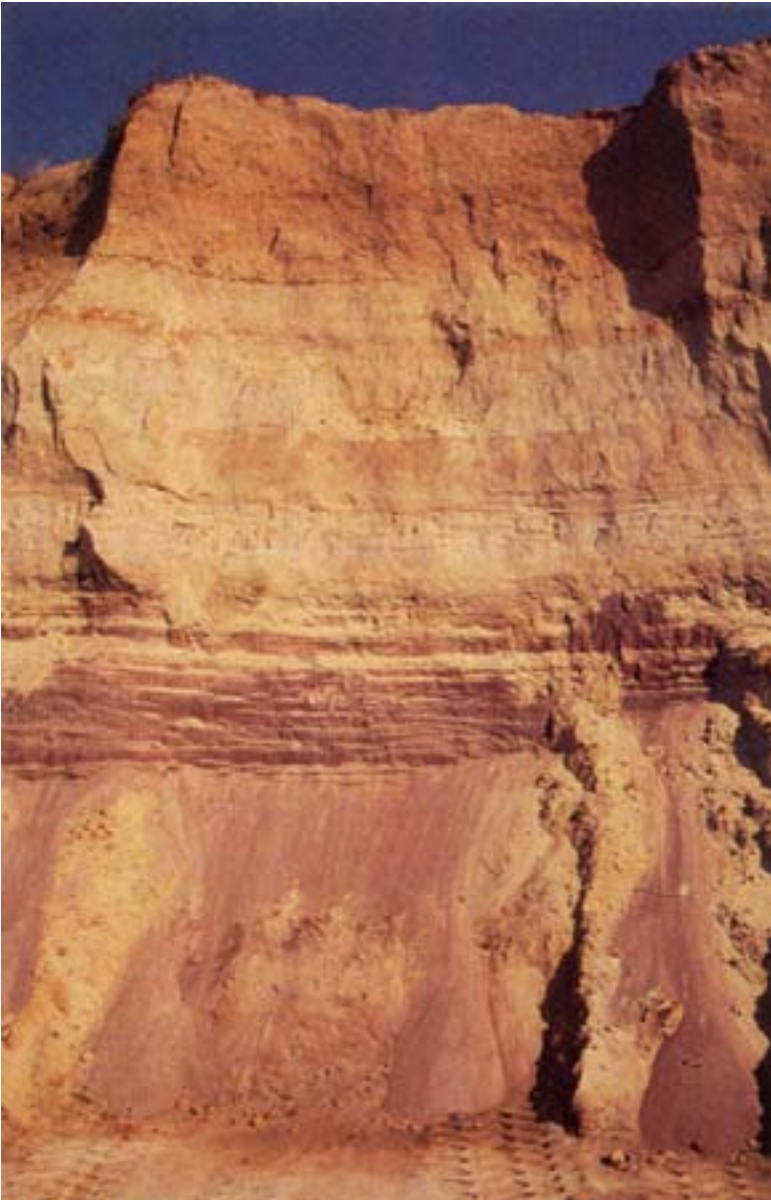
Doordat de Oligocene Noordzee zich uitbreidde naar het zuidoosten zijn deze zanden vooral ten oosten van de Zenne ontwikkeld. De lagen zijn steeds erg dun en tussen Leuven en Tienen, waar de drie ontginbare horizonten boven mekaar voorkomen, bereikt de gezamenlijke dikte maximaal 15 m.

2.B.3.a Neerrepen Zand

De Tongeriaan-zee trekt zich terug en vormt een vlakke baai waarin zeer fijne strand- en wadenzanden worden afgezet. Dit Neerrepen Zand is meestal licht glauconiethoudend. De lokale naam "papzand" verwoordt zijn slechte eigenschappen als plaatselijk metselzand; het wordt uitzonderlijk nog gebruikt als plafonneerzand.



Afb. 3.9 BRUSSEL Zand
Te Huldenberg laat een diepe groeve toe om de Brussel Zanden gedetailleerd te beschrijven. Het onderste Krakenberg Zand is bijna volledig grover dan 250 µm, het bovenste Neerijse Zand is fijner dan 250 µm.

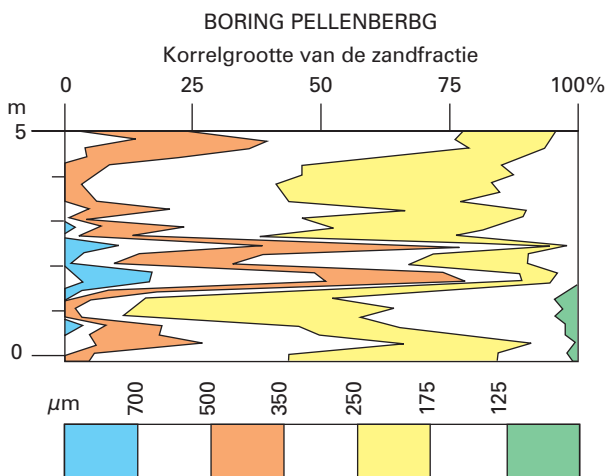


2.B.3.b Kerkom Zand

Lokaal volgen hierop estuariene zanden, afgezet in een grote stroommonding. Door de sterke stromingen werden in de onderliggende zanden geulen ingesneden en werden de nieuwe zanden als kris-kras gelaagde stroombanken afgezet. Het zand is middelmatig tot grofkorrelig en geheel vrij van klei. Het kan gebruikt worden als beton- en draineerzand en vindt veel aanwending voor de aanmaak van betonproducten. De kleur is wel variabel door de inloging van roestbruine en purperige ijzer- en mangaanoplossingen. Het zand is zeer gegeerd zodat de dagzoom, tussen Leuven en Kerkom, in een bijna doorlopende rij kleine groeven ontgonnen werd, waarvan nu nog twee geëxploiteerd worden. De maximale dikte van de laag bedraagt 6 m (Afb. 3.10).

Afb. 3.10 KERKOM EN BERG ZAND

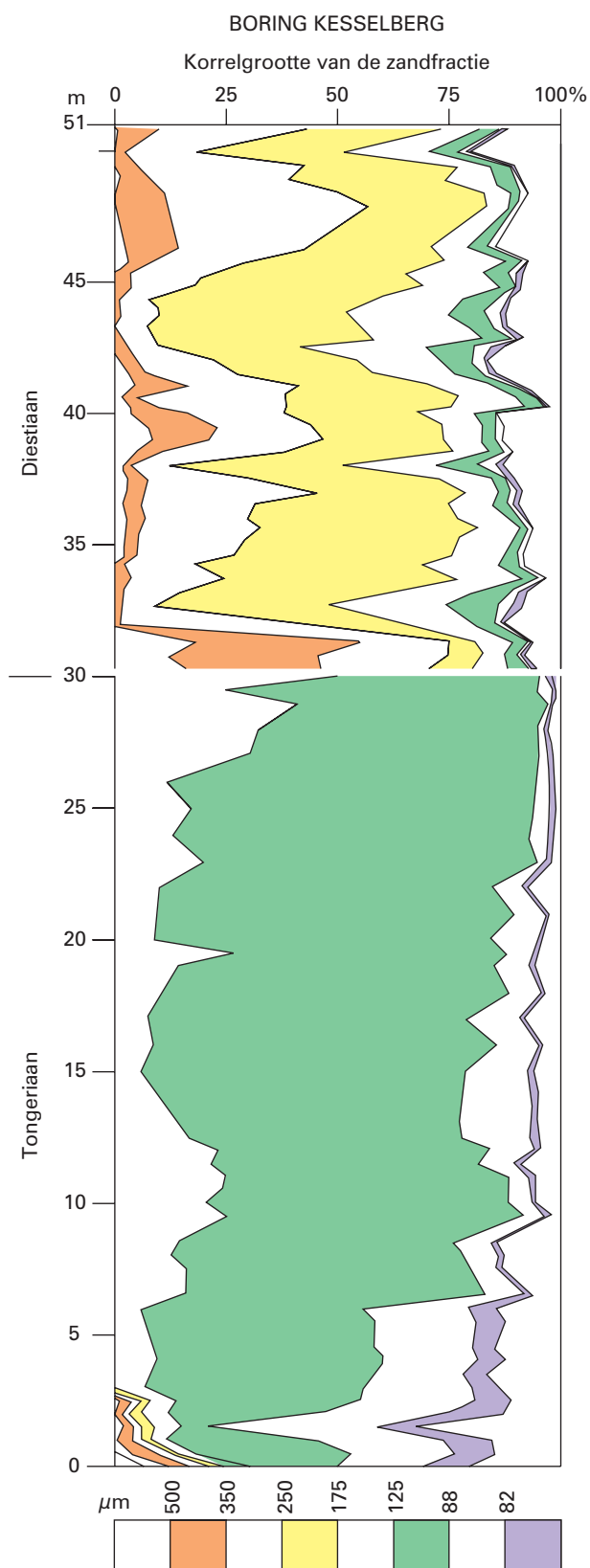
In deze groeve te Pellenberg is het gedeeltelijk purper verkleurde Kerkom Zand bedekt door licht kleiig Berg Zand.



AFB. 3.11 KORRELGROOTTEVERDELING VAN-HET KERKOM EN BERG ZAND
Korrelgroottecurve en sedimentologische kenmerken van het profiel uit afbeelding 3.10. Onder de Berg Zanden komen de opvallend grove Kerkom stroomzanden voor.

2.B.3.c Berg Zand

De daarop volgende transgressie van het Rupeliaan brengt een nieuwe laag zand aan, afgezet in een snel dieper wordende zee, zodat het fijne zand ook licht kleihoudend is. Dit Berg Zand beantwoordt goed aan het populaire begrip zavel en vindt zijn beste aanwending als vloerbed voor betegeling. Zijn maximale dikte in het Leuvense bedraagt 6 m en vermindert tot 3 m in de buurt van Tongeren (Afb. 3.11).



AFB. 3.12 KORRELGROOTTEVERDELING VAN DE TONGEREN ZANDEN EN HET DIEST ZAND
Het zand uit de groeve Kesselberg is gebruikt voor ophoging van spoorweglijnen. Onderaan in de groeve komen de fijne tot zeer fijne Tongeren Zanden voor, bovenaan het grof schuingelaagd Diest Zand.

2.B.4 BOLDERBERG ZAND

Ten gevolge van de zakkende Roerdal Slenk breidde de Bolderiaan-Noordzee zich naar het zuidoosten uit. De afzetting van zand kon gelijke tred houden met de zakking, zodat de zee nooit diep genoeg werd om klei te laten bezinken. Het Bolderberg Zand is daardoor in de Limburgse Kempen tot 40 m dik en erg homogeen van korrel, gemiddeld fijn. Het is geel, slechts zwak glauconiethoudend, haast kleiloos en zeer homogeen.

Onder de grinden van het Kempens plateau dagzoomt het zand in de randhelling en in de insnijdingen van de kleine dalletjes, zodat er rond Genk talrijke ontginningen zijn geweest. De laag reikt tot aan de rand van het Hageland waar het van Bolderberg tot Binkom eveneens ontgonnen werd. Het is een goed bouwzand met een breed spectrum van toepassingen. De dikke, homogene laag laat grootschalige ontginning toe.

De equivalente Deurne Zanden in de Provincie Antwerpen zijn zeer glauconietrijk en zijn zelfs als ophoogzand weinig aan te bevelen.

2.B.5 DIEST ZAND

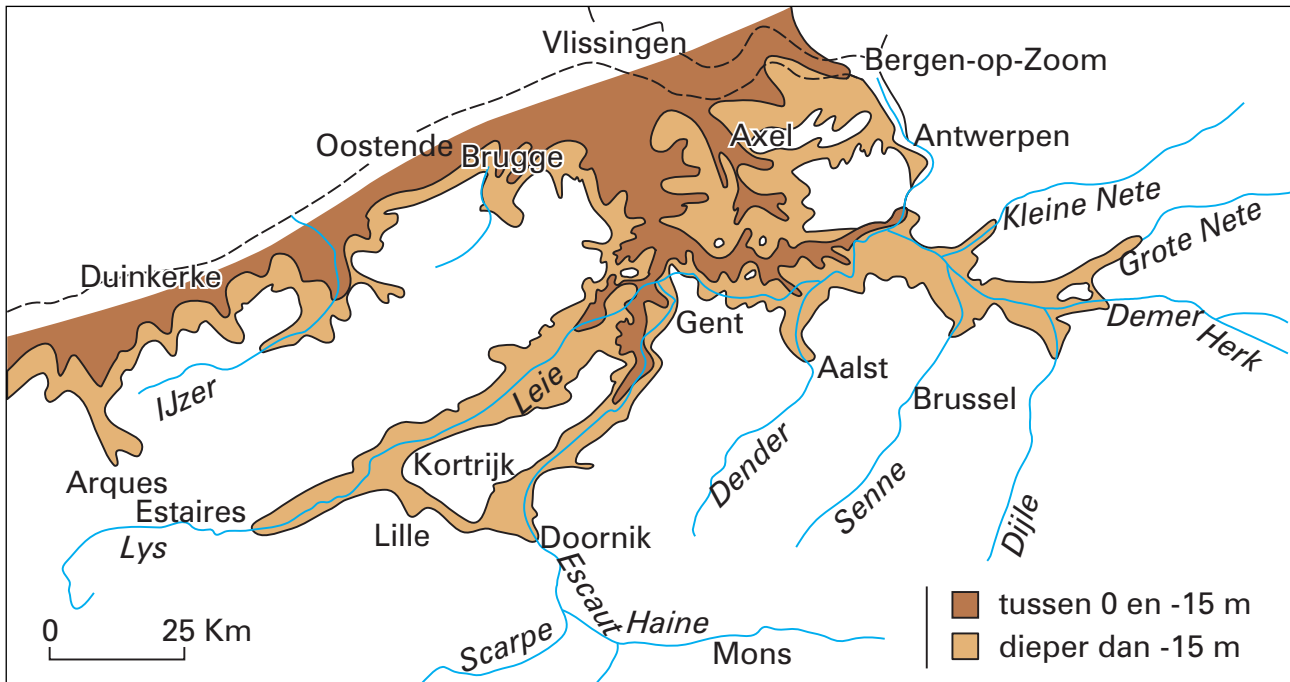
Als zandbanken afgezet, zoals het Krakenberg Zand en de huidige Vlaamse Banken, is het Diest Zand eveneens middelmatig tot grofkorrelig en vertoont het identieke gelaagdheidsstructuren. Het onderscheidt zich echter door een hoog gehalte, tot 50%, aan glauconietkorrels. Het hoge glauconietgehalte verkleint de stabiliteit van het zand en maakt het totaal ongeschikt als bouwzand. Vanwege zijn grove korrel en de aanwezigheid van brokkelige elementen door de verwerking tot ijzerzandsteen, kan het wel gebruikt worden als ophoogzand. Het drainerend karakter is echter onbetrouwbaar, temeer daar het door trillingen tijdens de werkzaamheden aanzienlijke verdichting kan ondergaan. Zoals al eerder vermeld, geeft glauconiet onder invloed van trillingen, colloïdale fragmenten af, zodat plaatselijk het kleigehalte sterk kan toenemen (Afb. 3.12).

2.B.6 PLIOCENE ZANDEN

Een zeer verscheiden gamma van zanden werd afgezet in de laatste Noordzeebaai die tot in de Kempen reikte, en aan de randen ervan.

2.B.6.a Kasterlee Zand

Van Kasterlee tot Lichtaart werd een fijn tot zeer fijn zand ontgonnen voor lokaal gebruik. Glauconiet is nog nadrukkelijk aanwezig in fijne laagjes.



AFB. 3.13 MORFOLOGIE VAN
DE VLAAMSE VALLEI
Algemeen beeld van de diepte van de Quartaire
afzettingen in de Vlaamse Vallei.

2.B.6.b Schelpenzanden van het Antwerpse

Dit marien zand is meestal erg schelpenrijk. Het is fijn- tot middenkorrelig, bevat slechts weinig klei en ook het glauconietgehalte is gering. Zonder schelpen levert het een laagwaardig bouwzand. Met de schelpen is het nog een goed ophoogzand zodat de grote hoeveelheden die bij de uitgravingen in de Antwerpse haven vrijkomen, voor ophoging van de terreinen aangewend kunnen worden.

2.B.6.c Mol Zand

Het perimarien en estuarien Mol Zand is fijn tot middelmatig korrelig, zo goed als vrij van klei en bevat geen glauconiet. Het zou dus een uitstekend bouwzand opleveren, maar het is heel wat waardevoller dan dat. Door de bleking die het zand heeft ondergaan, is het immers geschikt voor toepassingen in de glasnijverheid (zie hoofdstuk ertsen).

2.B.6.d Neeroeteren Zand

De stroom die bij Mol in de zee uitgemond zou zijn, liet meer stroomopwaarts grove kwartzanden achter die in de Limburgse Noorderkempen tot 20 m dik zijn. Door het spel der randbreuken van de Roerdal Slenk is hun voorkomen echter sterk verstoord: ze dagzomen enkel in de omgeving van Neeroeteren. Door zijn bleke kleur is het zand zeer waardevol voor de aanmaak van betonproducten en kiezelzandsteen.

2.C DE ZANDEN VAN DE VLAAMSE VALLEI

G. De Moor

2.C.1 DE VLAAMSE VALLEI

Met de term "Vlaamse Vallei" wordt een diep dalstelsel aangeduid dat tijdens het Boven-Pleistocene de as Demer-Rupel-Schelde naar het noordwesten verlengde, uitlopers had in de valleien van de Dender, de Boven-Schelde en de Leie en later bedolven werd (Afb. 3.13). Het kerngebied van de Vlaamse Vallei komt vandaag overeen met het laag, vlak en zandig gebied dat zich uitstrekt ten noorden van Gent tussen Maldegem en Stekene en waar het bedolven reliëf door opvulling volledig werd uitgewist. Naar het noorden en noordwesten toe ligt het oppervlak van de zandige opvulling voldoende laag om er te verdwijnen onder de kleiafzettingen van de Scheldepolders en van de Kustpolders die tijdens de jongste holocene zeespiegelstijging werden afgezet.

Dit Boven-Pleistocene dalstelsel werd vooral gedurende de beginfasen van de twee jongste ijstijden (Saaliaan en Weichseliaan) breed en diep - plaatselijk tot onder -15 m - uitgeschuurd in het Tertiair substraat. De uitschuring gebeurde door opeenvolgende fasen van insnijding en opvulling door de rivieren van het Scheldebekken die toen ten noorden van Gent in de richting van Vlissingen stroomden en er, ten gevolge van de verlaagde glaciële zeespiegelstand, gedurende sommige periodes een grote erosiekracht vertoonden. Getijdenwerking van de zee die gedurende het vorige interglaciaal (Eemiaan) als een groot

estuarium tot voorbij Gent het land binnengedrongen was, heeft eveneens tot het proces van uitrusting en opvulling bijgedragen.

De opvulling van het dalstelsel heeft zich vooral voorgedaan in drie grote fasen.

Tijdens de Saaliaan-glaciatie was het gebied ten zuiden van de ijskap, die tot Nijmegen in Nederland reikte, omgeschapen in een grote vegetatie-arme vlakte, doorkruist met verwilderde rivieren. Gedurende lange periodes heerste daar een periglaciaal klimaat gekenmerkt door een permanent bevroren bodem met een dunne zomerse opdooilaag. De ontwikkeling van de ijskap ging gepaard met een daling van de zeespiegel waardoor grote oppervlakten die voorheen door de zee waren bedekt, bloot kwamen te liggen. Door deze daling van de zeespiegel verhoogde aanvankelijk de erosiecapaciteit van de rivieren. De vegetatie-arme vlakte kon dan ook weinig weerstand bieden aan het zich insnijdende rivierenet. Aldus werden grote hoeveelheden zand tijdens deze periode getransporteerd en verder afgezet.

Tijdens het warmere Eemiaan-interglaciaal steeg de zeespiegel, en werd het dalstelsel in de benedenloop opgevuld door zandige estuariene sedimenten en, verder stroomopwaarts, door fluviatiele zanden en veen.

Tijdens de laatste ijstijd (het Weichseliaan-glaciaal) daalde de zeespiegel terug tot een honderdtal meter beneden de huidige stand en ontstond hier opnieuw een periglaciaal klimaat, hoewel het ijsfront nu minder ver zuidwaarts doordrong en slechts tot Denemarken reikte. Ook nu gingen de rivieren zich eerst opnieuw diep insnijden. Later ontvingen ze vanuit het bekken een lading die zo belang-

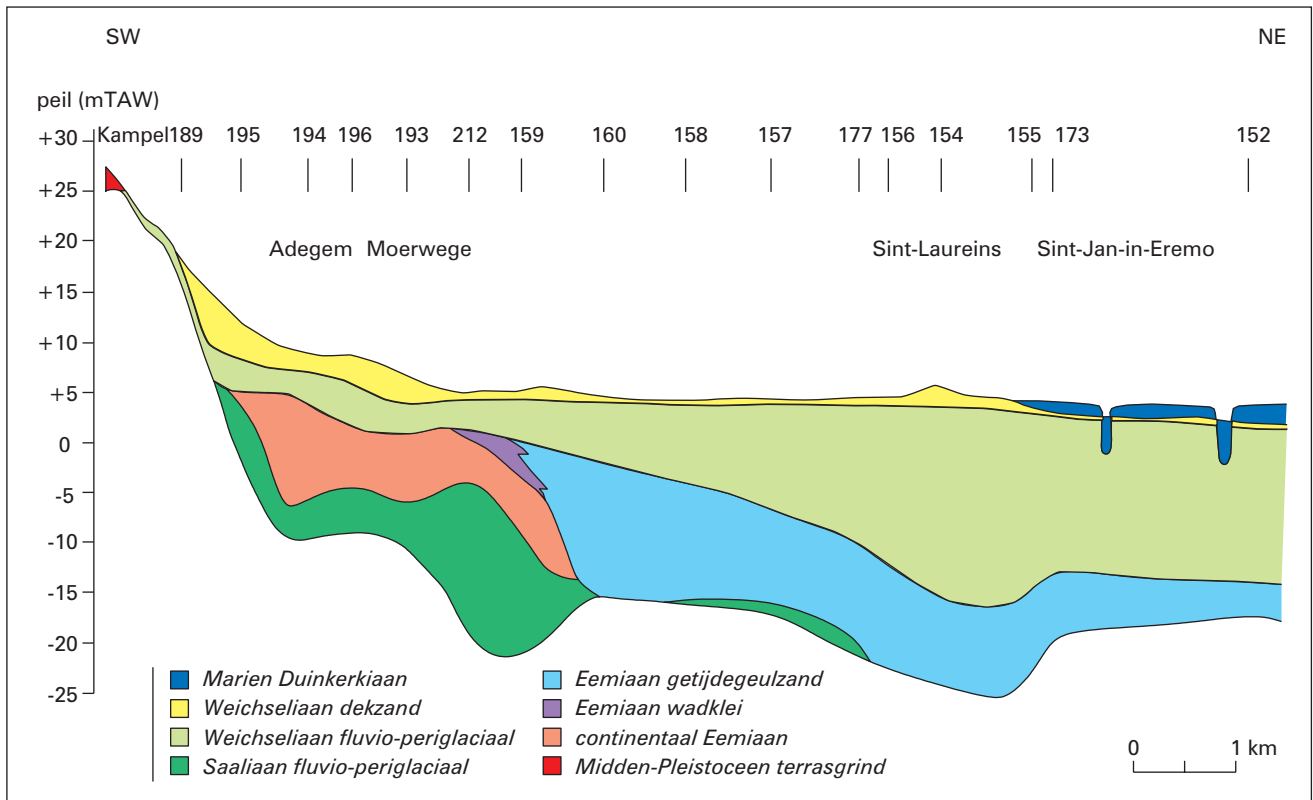
rijk was dat een groot deel van hun insnijdingskracht verloren ging, waardoor opnieuw zandige stroomsedimenten en lemige komgronden konden worden afgezet. Uiteindelijk was de afzetting belangrijk genoeg om de diepe dalen op te vullen.

Door het wisselend spel van afzetting en insnijding en door de variatie in afzettingsmilieu is de opvulling van de Vlaamse Vallei zeer heterogeen geworden. De variaties zijn niet enkel merkbaar in de verticale opeenvolging van de lagen, maar eveneens in de laterale verspreiding van de verschillende sedimenten.

Volledigheidshalve dient hieraan te worden toegevoegd dat gedurende de jongste ijstijd plaatselijk ook enige sedimentaanvoer door windwerking is opgetreden. Als verdroging van het oppervlak optrad, hadden de noorderwinden immers vrij spel op de vegetatie-arme vlakte. Grote hoeveelheden zand en leem werden aldus verstoven; het zand over kortere, de leem over langere afstand. Een deel werd ook afgezet door sneeuwstormen. Gedurende het laatste deel van deze jongste ijstijd, wanneer het klimaat droger werd en door dooifasen de grondwatertafel wat kon dalen, zijn op die manier de eolische dekzanden afgezet die plaatselijk tot lage ruggen opgewaaid liggen (zoals de rug Maldegem-Zelzate-Stekene). Die dekzanden vormen evenwel maar een bovenste laag van de opvulling en hun dikte overschrijdt zelden 5 m. Tevens dient te worden opgemerkt dat al bij het begin van het Holoceen, wanneer het klimaat hier opnieuw verbeterde, het zandig opvullingsvlak ingesneden werd door de huidige rivierdalen. Nog later hebben zich daarin, over beperkte oppervlakten, eerst de venen en daarna de rivierkleien van de Holocene

Stratigrafie	Afzettingen	Lithologie	Mediaan (μm)
Weichseliaan	Maldegem	dekzand, onderaan dun grindlaagje	100 tot 200
	Sifferdonk	mm fijn niveo-fluviaal zand	/
	Eke	verwilderde rivierzanden met geulstructuren waarin fijne bezinkingslaagjes en fijn-grindvloertjes	70 tot 250
	Oostakker	leem - veen complex	15 tot 40
	Langerbrugge	mm zand, soms herwerkte grind- en schelpementen	/
	Dendermonde	puinwaaierfacies: grove zanden, grindrijk, herwerkte schelpen en substraatelementen; fossiele beenderen	/
Eemiaan	Oostwinkel	riviervlaktefacies: stroomzand, hoefijzermeeropvulling, veenlagen	/
	Meetkerke	wadfacies: fijnzandige leem tot klei	4 tot 60
	Kaprijke	getijdegeulfacies: mm fijn tot mm zand met grind en mariene schelpen	250 tot 3000
Saaliaan	Adegem	mm fijn zand, met fijnere lagen, grindelementen	100 tot 500
	Zoetendale	grof zand, grindhoudend	/

AFB. 3.14 STRATIGRAFISCHE EENHEDEN EN BELANGRIJKSTE PLEISTOCENE AFZETTINGEN IN DE VLAAMSE VALLEI.
De mediaan is de korrelgrootte waarbij de helft van het sediment fijner, en de andere helft grover is dan deze mediaan.



AFB. 3.15 SEDIMENTOPBOUW IN DE VLAAMSE VALLEI

Vereenvoudigd conceptueel model van de sedimentopbouw in het kerngebied van de Vlaamse Vallei.

dalbodems afgezet. Gedurende het Holoceen zijn lokaal overigens nieuwe verstuingen opgetreden met vorming van stuifzanden die plaatselijk kleine landduinen hebben doen ontstaan. Ontbossing en bodemerosie hebben de vorming van stuifzanden en van alluviale kleiafzettingen in de hand gewerkt.

2.C.2 DE SEDIMENTEN VAN DE VLAAMSE VALLEI

Afbeelding 3.13 geeft een algemeen beeld van de diepte van de basis van de Quartaire afzettingen in de Vlaamse Vallei en in haar voornaamste zijtakken. Ze maakt het mogelijk de totale dikte van de Quartaire afzettingen in de Vlaamse Vallei te evalueren. Plaatselijk bereikt de opvulling een dikte van 30 m. Deze kaart werd opgesteld op basis van de resultaten van duizenden geo-elektrische metingen en honderden boringen. De kartering van de dikte van afzonderlijke lithologische eenheden wordt verder onderzocht.

De dikste Quartaire sedimenten komen voor in de geulen ten noorden en noordwesten van Gent en in de westelijke gedeelten van de consequente uitlopers van de Vlaamse Vallei, zoals langs de Boven-Schelde, de Leie en de Dender. Daar zijn de bovenste ophogingslagen langs de westkant van de pleistocene dalen evenwel lemiger.

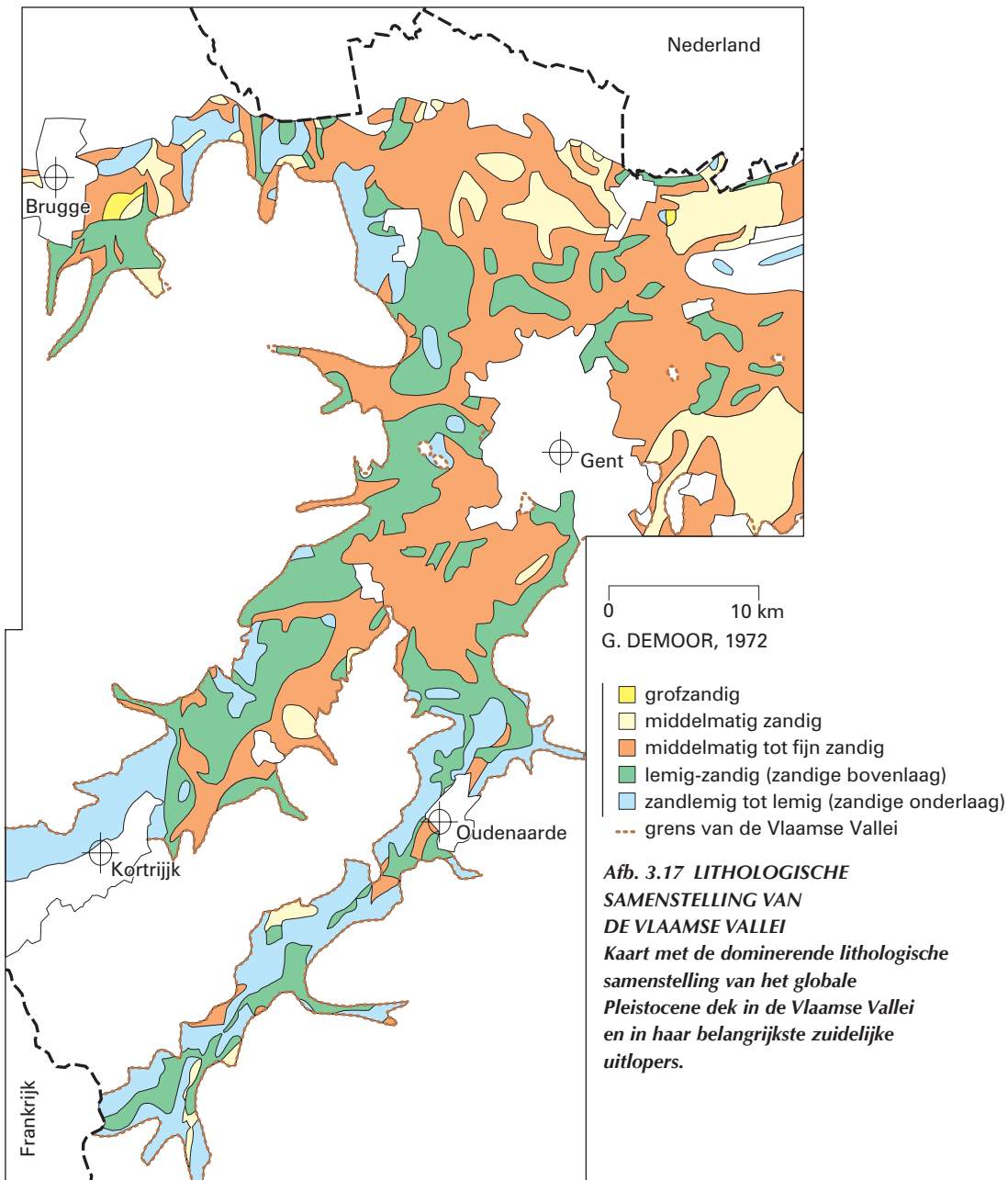
Afbeelding 3.14 geeft een vereenvoudigd overzicht van de voornaamste stratigrafische eenheden uit het Pleistoceen opvullingspakket van de Vlaamse Vallei en van de belangrijkste sedimenten die daarin voorkomen.

Afbeelding 3.15 toont een vereenvoudigd conceptueel model van de sedimentopbouw in het kerngebied van de Vlaamse Vallei. Daarbij is alleen rekening gehouden met de belangrijkste stratigrafische grensvlakken en met erosieve of sedimentaire discontinuïteiten die met een voldoende lithologische wisseling overeenkomen. Dit inzicht kwam tot stand door de studie van de tijdelijke ontsluitingen in het Sifferdok in Gent en in de vele tunnels, sluisputten en zandwinningsputten die in de periode 1960-1980 in de Vlaamse Vallei gegraven werden. Afbeelding 3.16 toont de sedimentopbouw in de uitgraving voor het Sifferdok in Gent (1963).

Niet overal in de Vlaamse Vallei komt evenwel de volledige of dezelfde opeenvolging van stratigrafische eenheden en van sedimentologische faciës voor. Meestal ontbreken één of meer elementen zodat de opbouw belangrijke laterale en verticale verschillen kan vertonen. Toch kan men profieltypes definiëren. Eenzelfde profieltype treft men aan op plaatsen waar dezelfde lagen in dezelfde verticale opeenvolging voorkomen. Het naast elkaar voorkomen van zeer verschillende profieltypes is voor de keuze van optimale exploitatieplaatsen van groot belang. Een profieltypekaart die de verspreiding van de verschillende types van opeenvolging van de afzettingen weergeeft, is nog niet beschikbaar voor het geheel van de Vlaamse Vallei. Wel wordt nu gewerkt aan de opstelling van dergelijke kaarten voor afzonderlijke deelgebieden.



AFB. 3.16 WEICHELIAAN ZANDEN
Ontsluiting van de Weichseliaan-zanden van de Vlaamse Vallei met van boven naar onderen: (1) zanden met het lithotype van de afzetting van Sifferdok; (2) zanden met het lithotype van Eke; (3)-het leem-veencomplex van Oostakker; (4) zanden met het lithotype van de afzettingen van Langerbrugge; (5)-herwerkt-grind- en schelphoudende zanden met het lithotype van de afzetting van Dendermonde. Gent, uitgraving Sifferdok.



Afbeelding 3.17 toont de kaart van de globale lithologie van de pleistocene afzettingen van de Vlaamse Vallei. Deze is afgeleid van de kartering van de geo-elektrische lagenopbouw die in het Quartaire afzettingensdek gedetecteerd wordt en van de karakteristieke resistiviteitswaarden van de lagen. Ze illustreert de discontinuïteiten in de sedimentopbouw en de heterogeniteit van het sedimentenpakket. Deze interpretatie naar laagopbouw, laagdikte en laagkenmerk werd geïkt aan de hand van analyses van diepe ontsluitingen en boringen.

Hoewel de algemene opbouw buiten de Holocene dalen (waar het bovenste pakket van venen en kleien tot 10 m dik kan worden) overwegend zandig is, kunnen plaatselijk veel minder uniforme profielen of ook veenhoudende of lemige tussenlagen voorkomen, die voor de exploitatie veel minder gunstig zijn. Deze lithologische en sedimentstructurele diversiteit is vooral een gevolg van de laterale wisselingen die gelijktijdig binnen de opeenvolgende sedimentatiemilieus voorkwamen, en ook van de insnijdingen en geulopvullingen die zich gedurende de afzettingen zelf voordeden (Afb. 3.18). Zo hebben in de toenmalige periglaciale overstromingsvlakten grote lemigenige komgebieden en verwilderde zandige geulenstelsels naast elkaar gefunctioneerd. In het groot estuarium dat de Vlaamse Vallei gedurende het vorige interglaciaal vormde, ontstonden tegelijk wadafzettingen en getijdegeulsedimenten. Bij het begin van de Weichseliaan-opvulling hebben zich aan de monding van de zijdalen belangrijke fluvia-tiele puinwaaiers gevormd. Deze worden gekenmerkt door

de aanwezigheid van veel grind, stengmateriaal of kleikeien herwerkt uit het Tertiair substraat of uit oudere Quartaire afzettingen. Waar Dender en Zenne in de Vlaamse Vallei uitmondde, respectievelijk nabij Dendermonde en nabij Zemst, kunnen deze puinwaaiers ook stenen bevatten die herwerkt zijn uit de Paleozoïsch gesteenten van het Massief van Brabant dat stroomopwaarts in de dalen van deze rivieren aangesneden werd.

Van de oudere Saaliaan-opvullingen zijn ten gevolge van de latere uitschuring van nieuwe geulen, die niet altijd opnieuw tot in het tertiair substraat doordrongen, slechts

discontinue resten achtergebleven die uiteindelijk door de zandige afzettingen van de verwilderde Weichseliaan-rivieren overdekt geweest zijn. Aan de basis van het Quartaire dek komt meestal een laag restgrint voor die zelden meer dan 0.5 tot 1 m dik is maar die wel grote stenen kan bevatten.

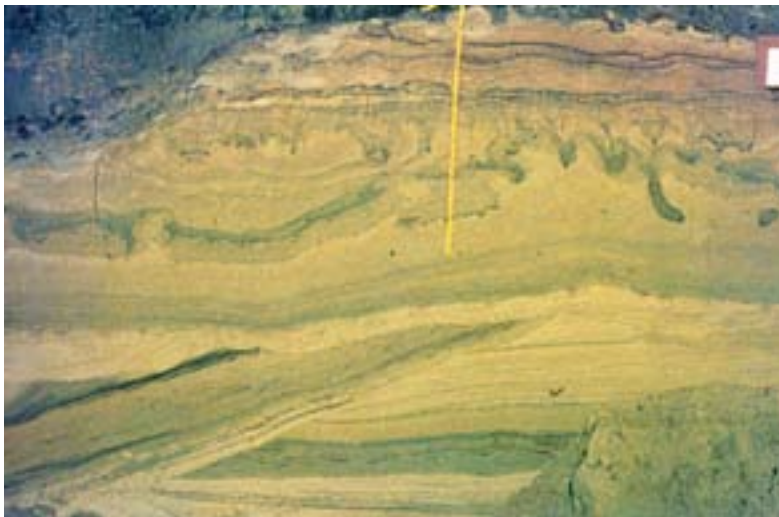
2.C.3 DE ZANDONTGINNINGEN IN DE VLAAMSE VALLEI

Ondanks de heterogeniteit van de afzettingen vormt de Vlaamse Vallei toch een heel belangrijk zandreservoir waarin ook enkele minder opvallende grindvoorkomens aangetroffen worden, en dat tevens een groot freatisch grondwaterreservoir in Vlaanderen is.

Wanneer men de gezamenlijke oppervlakte van het kerngebied van de Vlaamse Vallei en van het zuidelijk deel van de Vlaamse Vallei buiten de Kustvlakte op 1500 km² schat, de gemiddelde dikte van het Quartaire dek op 25 m en het zandgehalte (100-1000 mm) op 70%, is er een zandreserve van de orde van 40 km³ aanwezig. Dit is ongeveer 20 maal de totale zandinhoud van een grote zandbank (type Kwintebank) op het Belgisch Continentaal Plat. Ter vergelijking kan worden gesteld dat het volume van een grote zandgroeve (type Berlare) in de Vlaamse Vallei 0,001 km³ bedraagt.

Vanzelfsprekend is slechts een klein deel (misschien slechts 10%) van deze reserve voor effectieve exploitatie beschikbaar gezien de heterogeniteit van het sediment en vooral wegens het bestaande grondgebruik en de toekomstige grondnoden. De exploitatie van de zanden van de Vlaamse Vallei stelt de exploitant overigens voor het probleem van de hoge grondwaterstand. Vroeger waren er meestal slechts kleine en ondiepe zandwinningen op de dekzandruggen of op stuifzanden. Eventueel waren geringe grondwaterverlagingen vereist. Ofwel werd gebruik gemaakt van zanden afkomstig van uitgravingen voor infrastructuurwerken of voor bouwwerken. Zo zijn grote hoeveel-

heden zand vrijgekomen bij het graven, verdiepen en verbreden van kanalen en bij het rechtekken van natuurlijke waterlopen.



AFB. 3.18 DE AFZETTINGEN VAN EKE
Contact tussen fluvio-periglaciale zanden met het lithotype van de afzetting van Eke (met-insnijdings- en opvullings geulstructuren) bedekt door niveo-fluviale en niveo-eolische zanden met het lithotype van de afzetting van Sifferdok (met een fossiele opdooilaag met druipstaartvormige kryoturbaties), Brugge, St. Pieters

De behoefte aan grote zandhoeveelheden voor infrastructuurwerken hebben in de laatste decennia de exploitatie tot op grotere diepten in de hand gewerkt. De eis voor rendementsverhoging van de investeringen voor grondaankoop, de imperatieven van het grondbeleid en de mogelijkheden geboden door technologische ontwikkelingen hebben daartoe sterk bijgedragen. Aanvankelijk werden deze ontginningen nog geheel of gedeeltelijk in het droge uitgevoerd, wat gepaard ging met belangrijke bemalingswerkzaamheden. Later heeft de zandwinningstechniek met zandzuigers de overhand genomen waardoor de grondwaterverlaging grotendeels overbodig werd.

De zanden werden vooral gebruikt voor metselzand en voor ophoogzand: grondverbeterings- en ophogingswerkzaamheden voor wegenbouw en voor het bouwrijp maken van industrieterreinen.

2.D QUARTAIRE ZANDEN IN DE KEMPEN

F. Gullentops

2.D.1 DE STROOMZANDEN VAN MAAS EN RIJN

De Maasafzettingen in Limburg bestaan hoofdzakelijk uit grind en worden besproken in het hoofdstuk grove granulaten. Nochtans dient men hier reeds aan te halen dat bij het calibreren van het grind, dit is het sorteren van het sediment volgens bepaalde korrelgrootte-fracties, ook een deel Maaszand wordt gewonnen, terwijl door het malen van de grote blokken weer een deel scherp Maasgruis wordt verkregen. Het aandeel van deze zandproductie mag op 30% worden geraamd.

In dat hoofdstuk wordt tevens vermeld dat de oudste Maasafzetting in Limburg, het Winterslag Grind, in feite een grindrijk zand is, en dus overwegend zand produceert. Aangezien de toenmalige Maas het onderliggende Tertiair sterk geërodeerd heeft, bevat dit zand een aanzienlijk percentage herwerkt Bolderberg Zand en heeft het niet echt het karakter van grof stroomzand.

Het Lommel Zand dat het noordwesten van het Kempen Plateau bedekt, is wonderlijk genoeg aangebracht

door een Rijnarm die in een grote bocht van Bree tot bijna in Houthalen, dan over Leopoldsburch naar Lommel reikte. Dit zand werd vermoedelijk gelijktijdig afgezet met het Winterslag Zand, dat echter door de Maas werd aangebracht en die dus toen bij Bree in de Rijn uitmondde! De herkomst van het Lommel Zand is onomstootbaar aan te tonen doordat het de typische mineralen van de Alpen bevat.

Zoals nu was de toenmalige Rijn hoofdzakelijk een zandrivier. Op die lange afstand naar het noorden werd het grind het eerst afgezet en vulde het de dalende Rijndal Slenk op tussen Vogezen en Zwarte Woud. Het Lommel Zand is grof tot zeer grof zand, met verspreide keien, sommige door zijn bijrivier de Maas aangebracht uit de Ardennen. Na wassen, om wat witte klei te verwijderen, en calibreren maakt het mogelijk een uitstekend betonzand te produceren. Door zijn heldere kleur is het waardevol voor de aanmaak van betonproducten en kiezelzandsteen.

Door de riviererosie is de basis van de afzetting geulvormig en het zand niet overal even dik. In de buurt van Lommel waar het sinds 50 jaar wordt geëxploiteerd, mag met een gemiddelde dikte van 8 m gerekend worden (Afb. 3.19).

Ten noorden van de Breuk van Bree komt in de vlakte van Bocholt een iets jonger Rijnzand voor met gelijkaardige kenmerken, mogelijk in zijn geheel gekenmerkt door een wat fijnere korrelgrootte. De verbreiding van dit Bocholt Zand is slecht bekend daar het bedekt is door jongere afzettingen. Dit gebied biedt vermoedelijk mogelijkheden voor diepe ontginning.



Afb. 3.19 MOL ZANDEN EN RUSSENDORP LIGNIET
In de top van het Maatheide Zand (Mol Zanden) komt het gestoorde Russendorp Ligniet voor, met daarboven het groenige door de Rijn aangebrachte Lommel Zand. Maatheide, Lommel.

2.D.2 DE STROOMZANDEN VAN HET RUPELBEKKEN

In het Rupelbekken verlengt het bedolven rivierenet zich, dat zo typisch ontwikkeld is in de Vlaamse Vallei. Grove stroomzanden weerspiegelen de sneeuwrijke klimaten van de laatste ijstijden. Sommige zanden, zoals in Rotselaar, leveren honderden mammoettanden. Ze vormen normaal de bodem van de huidige dalen. Soms hebben de rivieren sindsdien door de opvulling een andere loop genomen. Zo de Grote Nete wiens vroeger dal van

Westerloo naar Haacht te volgen is. Deze zanden zijn nergens ontsloten maar werden grootschalig ontgonnen voor de ophoging van de autosnelwegen doorheen het gebied. Hierdoor werd het transport van ophoogzand vermeden: het zand kon rechtstreeks worden opgezogen en op het op te hogen wegdek gespoten. Variaties in korrelgrootte worden hierdoor afgevlakt, een zeer dichte stapeling wordt verkregen en toch blijft een hoge drainering door de grove zandkorrel gegarandeerd.

2.D.3 WEICHSELIAAN DEKZAND

2.D.3.a Wildert Zand

Het eolische dekzand van de laatste ijstijd ligt in de Kempen als een mantel over het landschap heen. Alleen heuveltoppen die aan hevige winden onderhevig waren, zijn veelal aan één zijde vrij van bedekking. Het zand is dan aan de andere kant bijeengewaaid. Dit Wildert Zand is zeer homogeen van korrelgrootte, fijn tot zeer fijn met een modale korrel van 150 µm, en een zwakke lemige bijmenging. Soms zijn er echte leemlaagjes aanwezig, verwant aan de loess, en die vroeger veel gebruikt werden als grondstof voor de lemen muren van gebouwen.

De dekzanden vertonen een vrij constante samenstelling als gevolg van de menging tijdens het verre windtransport. Boven een glauconietrijk substraat stijgt het glauconietgehalte van het dekzand, wat erop wijst dat ook lokaal veel materiaal door de wind werd opgenomen.

De fijne korrel en het lemig karakter beletten een hoogwaardig gebruik van deze grondstof, die bijna overal afgegraven kan worden. Gewonnen bij de kelderuitgraving kan het rechtstreeks gebruikt worden als metselzand.

2.D.3.b Zammel Zand

De verwilderde rivieren vervoerden lokaal puin en dekzand en wanneer tegen het einde van de korte zomer de brede beddingen droogvielen, kon de wind ook hier materiaal opwaaien en in de schaarse plantengroei ernaast afzetten. Zo ontstonden langs de rivieren ophopingen van zand, windwallen, die bijzonder duidelijk zijn langs het stelsel van de Netten. Uit hun ligging kan men afleiden dat de noord-oostenwinden overheersten. Door bijmenging van stroomzand is het Zammel Zand wat grover dan het dekzand, en daardoor geschikter als metselzand. De windwal van Zammel, langs de Grote Nete, werd in een reeks groevetjes bijna totaal ontgonnen.

2.D.4 LANDDUINEN

De klimaatsverbetering op het einde van de laatste ijstijd werd onderbroken door een strenge koudepiek die 800 jaar duurde. Het reeds opgerukte dennenbos verdween en de uitgedroogde bodem viel ten prooi aan hevige westenwinden. Daardoor werden lokaal velden van boogduinen opgewaaid die het reliëf hun specifieke karakter geven zoals in Kalmthout en Hechtel. Doordat de rivieren dieper gingen insnijden, droogden de windwallen uit waardoor ze gemakkelijker werden uitgewaaid. Hierdoor ontstonden langs de Dijle-Rupel-Schelde-as de duinvelden van Keerbergen, Klein-Brabant en Heusden.

Bij het uitwaaien werd de leemfractie verder weggeblazen zodat de zandfractie van het duinzand werd aangerijkt. Landbouwkundig betekent dit een verarming, bouwkundig is het echter een verbetering. Om die reden werden heel wat duinen in het verleden afgegraven. De resterende duinen zouden als waardevolle landschapselementen bewaard moeten blijven.

Ook tijdens het huidige Holoceen ontstonden plaatselijk nog aanzienlijke verwaaiingen telkens als de plantengroei het zand onvoldoende kon beschermen (Afb. 3.20). Een teloorgang van de plantengroei kon veroorzaakt worden door verschillende factoren: zwervende cultuurnamen in het Neolithicum (bv. in Weelde), historische bevolkingsdecimatie (bv. in Bouwel) en industriële zuurvorming (bv. in Lommel).



Afb. 3.20 LANDDUINEN
Het zand van de Tardiglaciale landduinen in de Kempen verstoort diepe infiltraties van ijzer- en humusbandjes van de latere Holoceen bodems (Wolfsdonk).

2.E ZEEZAND

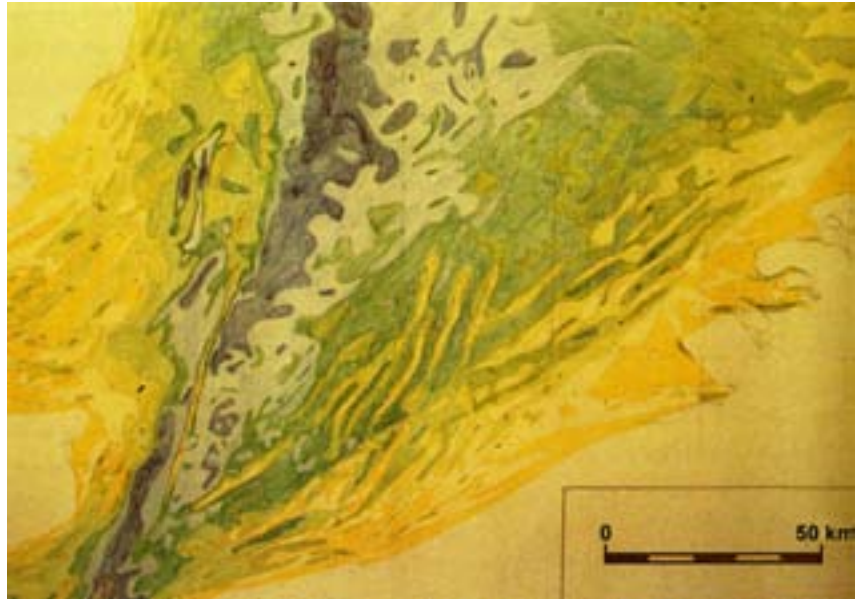
F. Gullentops en B. Malherbe

De zuidelijke Noordzee of Vlaamse Baai is pas na de laatste ijstijd weer door de zee ingenomen. Het periglaciaal landschap bestond er uit een verwilderd stroomnet van Rijn, Maas, Schelde en Theems dat door de vallei van Calais naar de Atlantische Oceaan afwaterde. De overvloed aan zand van fluvio-glaciale herkomst leidde tot het massale uitblazen van dekzanden. Zoals in aangrenzend Zandig-Vlaanderen kan men verwachten dat deze afgezet worden als windwallen, tijdens het Tardiglaciaal zelfs als echte landduinen.

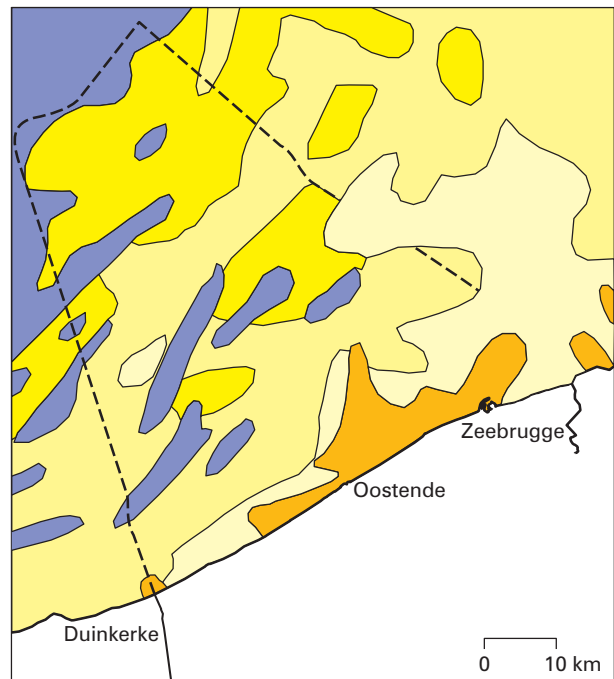
In de zee die zich vormde na het afsmelten van de laatste ijsskap, stelde zich dan het uitermate sterke getijderegime in dat door het trechtervormige Nauw van Calais wordt opgeroepen. Viermaal daags bereiken vloed- en ebstromen voldoende snelheden om het zand van de zeebodem te transporteren. Sinds de verbinding 9.000 jaar geleden zich herstelde, heeft zich dat zowat 13.000.000 maal voorgedaan. Bedenk daarbij dat bij iedere storm de golven de bodem beroeren, het zand opwoelen en het voor transport aan deze getijdestromen overleveren. Zo kan men zich realiseren dat de Vlaamse Baai één van de meest dynamische zeegebieden ter wereld is.

Het aanwezige zand werd door de stromingen geërodeerd en op andere plaatsen opnieuw afgezet. Aangezien de vloedstroom uit het Kanaal sterker is dan de ebstroom terug, verplaatst het zand zich globaal in noordelijke richting. Zelfs zand uit het Kanaal werd naar de Noordzee gebracht. Door het verbreden van de Vlaamse Baai neemt het getijdeverschil naar het noorden af en dus ook evenredig de stroomsnelheid. De zandkorrels zetten zich daardoor af in een systeem van reusachtige parallelle zandbanken: de Vlaamse Hoofden. Blijkbaar is het systeem nu in evenwicht want de banken liggen sinds mensenheugenis op dezelfde plaatsen. Ze verheffen zich abrupt boven de algemene grindbodem van de Noordzee, terwijl de kruin van de banken bij laagwater slechts enkele meters diep ligt. Hun hoogte vergroot dus zeewaarts tot de majestueuze Sandtietie-bank in het midden van de baai, die meer dan 50 km lang is en gemiddeld 40 m hoog (Afb. 3.21).

Een globaal overzicht van de korrelgrootte van het zand van de zeebodem toont aan dat het haast dubbel zo grof is als het zand van het strand en van de aangrenzende kustzone (Afb. 3.22). De korrelgrootte-verdeling van het zand staat in evenwicht met de getijdenstromen die, zoals in een gigantische rivier, sterker is in het diepere midden-gedeelte dan aan de ondiepere rand. Het zand dat uit de banken gebaggerd wordt is een uitstekend bouwzand. De

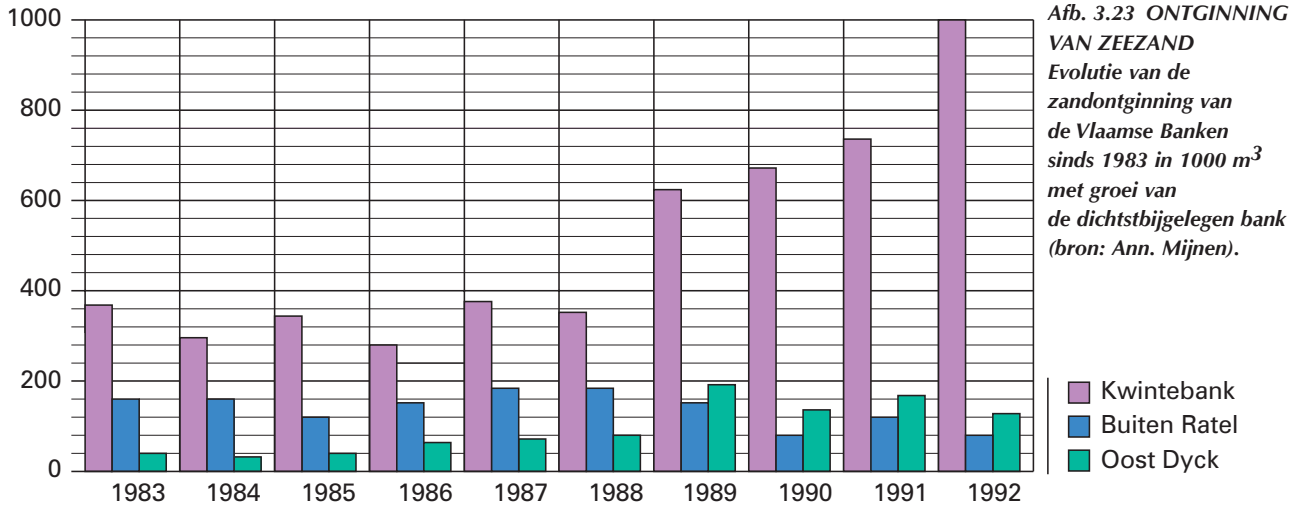


Afb. 3.21 DE VLAAMSE HOOFDEN
Zeer grillige diepteverdeling in de Vlaamse Baai, met een relict van het landoppervlak tijdens de laatste ijstijd (blauw) en een systeem van zandbanken door de getijdestromingen opgeworpen tijdens de laatste 8000 jaar.



- Grind
- Lage zandenconcentratie
- Zeer grof zand
- Zeer fijn zand
- Gemiddelde zanden
- Begrenzing Belgische Continentaal plat

AFB. 3.22 KORRELGROOTTEVERDELING NOORDZEE ZAND
Door de afnemende getijdestroming wordt globaal genomen het zand fijner naar het noorden toe. De banken zijn veel grover dan de kustnabije gordel.



Afb. 3.23 ONTGINNING VAN ZEEZAND
 Evolutie van de zandontginning van de Vlaamse Banken sinds 1983 in 1000 m³ met groei van de dichtstbijgelegen bank (bron: Ann. Mijnen).

korrelgrootte is te vergelijken met die van grof Rijnzand. De samenstelling bevat echter nog minder onstabiele korrels, omdat deze door de intense stroombewegingen meer zijn afgesleten. Het zand is herkenbaar door de aanwezigheid van kalk in de vorm van schelpenfragmenten en kleine gastropoden.

Een vrij diepliggend bankensysteem, de Grootebank, wordt periodisch ontgonnen door het ministerie van de Vlaamse Gemeenschap voor het onderhoud van de sterk geërodeerde stranden van de oostelijke kust. Het feit dat het opgespoten zand veel grover is dan het oorspronkelijke strandzand, lijkt een gunstig effect te hebben op de verdere stabiliteit van het strand.

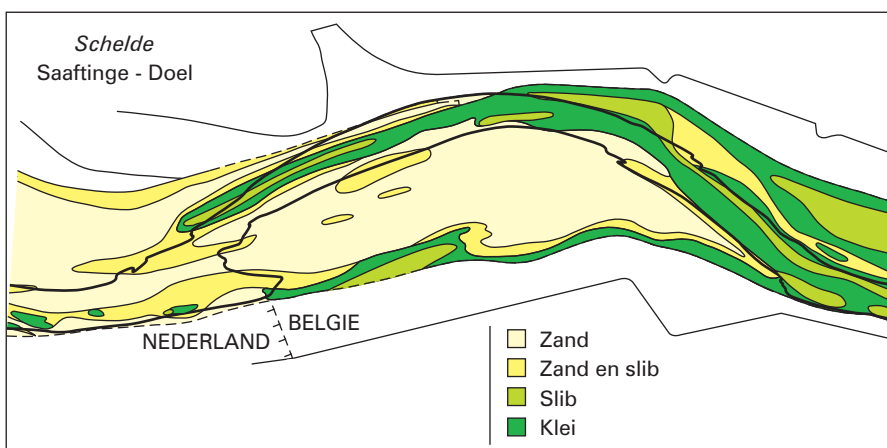
De federale overheid heeft een exploitatieconcessie verleend aan de Vlaamse Banken Oostdijck, Buiten Ratel en Kwint. Van al deze ontginningen ligt het accent duidelijk op het hoog kwalitatief zand van de Kwintebank, waarvan vooral de uitlopers uitgebaggerd worden (Afb. 3.23). Het dynamisch evenwicht van deze banken lijkt weinig aangetast te zijn door de huidige nog relatief geringe productie.

Hoewel de reserves ontzaglijk zijn, dient toch te worden benadrukt dat de kustnabije banken zonder twijfel een belangrijk element zijn in het hydrodynamisch evenwicht van de kust. Gegeneerd en onderhouden door de getijdestromen, moduleren ze de door de wind aangedreven gol-

ven die uiteindelijk het strand boetseren. Een onherstelbaar verminken van de kustnabije banken zal dus een versterking van de golfwerking meebrengen. Deze golfwerking wordt al versterkt als gevolg van de trage stijging van het zeepeil sinds de gletsjers vanaf 1850 door een natuurlijke klimaatsverbetering afsmelten.

Ook de Zeeschelde dankt zijn ontstaan en eigenschappen aan de getijdenstromen die er tweemaal daags in- en uitpulsen. Hoe geweldig die krachten wel zijn, wordt aangetoond door het feit dat dit estuarium pas tijdens de laatste duizend jaar gevormd werd. In de bochten liggen kolkputten die tot 70 m diep zijn en het uitgepulste zand ligt grotendeels in een buitendelta, in de Vlakte van de Raan.

Het onderhoud van de vaargeul en het uitdiepen van de drempels vereisen een continue uitbaggering. De hoeveelheid baggerspecie zal aanzienlijk toenemen met de geplande verdiepingswerken. De baggerspecie bestaat uit een mengsel afkomstig van drie verschillende bronnen. In de eerste plaats is het slijk, een zandige leem voorlopig nog rijk aan organische stoffen, afkomstig uit al de bijrivieren van het Scheldebekken (Afb. 3.24). Die massa kan geraamd worden op gemiddeld 1.000.000 ton per jaar. Een tweede bron van sediment is de erosie en de verdieping van de Zeeschelde zelf in de Tertiaire ondergrond. Het betreft licht glauconiethoudende, meestal schelpenrijke zanden die



Afb. 3.24 ZAND IN DE ZEESCHELDE
 De ligging van slijkplaten kan worden bepaald door meting van de verhoogde gammastraling (bron: Bastin 1974).

grote verwantschap vertonen met het huidige strandzand. In de derde plaats wordt een geringere hoeveelheid zand en klei door de vloedstroom uit zee, de Schelde ingestuwd. Het storten of bergen van de baggerspecie stelt aanzienlijke problemen. Het is duidelijk dat een veredeling ervan door calibreren en wassen een aantal nuttige delfstoffen kan opleveren.

Sinds enkele duizenden jaren worden door uitwaaiing van het strandzand de duingordels langs de kust gevormd. Perioden van opbouw en afbraak verlopen synchroon met de poldervorming. De korreleigenschappen zijn vergelijkbaar met die van het aangrenzende strand, maar zijn verbeterd door de geringere hoeveelheid schelpen, die minder gemakkelijk meewaaien.

Vroeger werd duinzand als bouwzand aangewend, vooral aan de Westkust waar de duingordel breed is. De zandvoorziening van het strand is hier inderdaad goed zodat niet zelden door de winterstormen overtollig zand over de dijk waait. Globaal is ontginning verboden, mede om landschappelijke redenen.

3 SOCIAAL-ECONOMISCHE BETEKENIS VAN ZAND

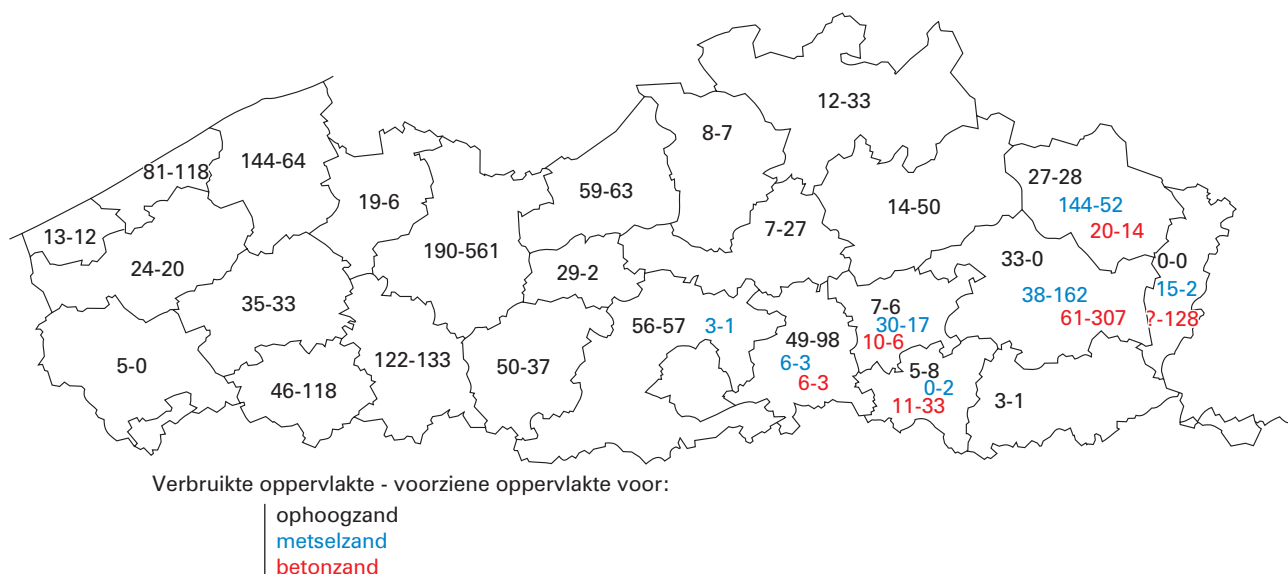
L. Broothaers

Voor goedkope grondstoffen met een lage toegevoegde waarde zoals zand is niets zo belangrijk als de kosten voor vervoer. Voor W.O.II was vervoer niet zo overdadig en gemakkelijk voorhanden als nu. Winning van zand was daarom toen een zaak van erg lokaal belang. Vlaanderen was toen bezaaid met een groot aantal zandgroeven. Deze waren meestal erg kleinschalig en leverden slechts aan de meest nabije dorpen en gemeenten. In de nu klassiek geworden tekst van Ir. M.Gulincx over de Belgische zanden uit 1947 staan talrijke namen van vlaamse zand-

groeven vermeld. De meeste hiervan bestaan nu niet meer. Anderzijds zijn op de topografische kaarten die door het N.G.I. (toen M.G.I.) in de jaren 1960 - 1965 werden uitgegeven, vrijwel geen sites van huidige zandgroeven te herkennen. De omvang van de bouwactiviteiten, zowel in de privé- als in de publieke sector, heeft sinds W.O.II inderdaad een hoge vlucht genomen. De na-oorlogse economische opleving, het ruim aanbod van grootse land- en waterwegen, de beschikbaarheid van vervoermiddelen en graafwerktuigen met hoge capaciteit en de nieuwe visies op milieu en landinrichting hebben ertoe geleid dat winningsactiviteiten in een kleiner aantal, maar grootschaliger, ontginningen werden geconcentreerd. Deze concentraties werden door de Gewestplannen in ontginningsgebieden vastgelegd. Afbeelding 3.25 geeft een beeld van wat in die ontginningsgebieden, per gewestplan, reeds verbruikt is en wat nog overblijft.

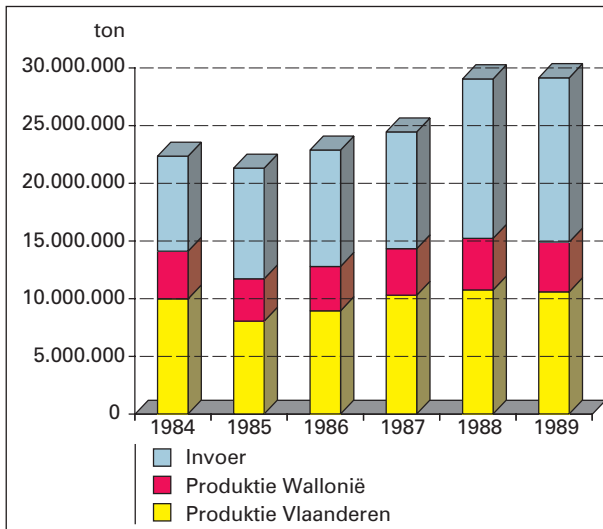
Hoewel zandwinning in de economie een basisfunctie vertegenwoordigt, toch zou volgens cijfers uit 1991 de rechtstreekse tewerkstelling in de Vlaamse zand- en grindgroeven slechts een 1100 personen bedragen. Onrechtstreekse tewerkstelling, zoals vervoerbedrijven en dergelijke., ligt zonder twijfel veel hoger.

De vooroorlogse zeer beperkte reikwijdte van de zandgroeven had ook zijn invloed op de kwaliteit van de grondstoffen. Zo konden vroeger ook dunne lagen van zand met niet al te fijne granulometrie voor plaatselijk gebruik als metselzand ontgonnen worden. De volkse benaming "zavel" had hierop betrekking. Verbruikers stelden zich tevreden met kwaliteiten die op korte afstand voorradig waren. Moderne kwaliteitseisen laten dit tegenwoordig niet meer toe. Zo komt er in Antwerpen, Oost- en West-Vlaanderen geen enkele ontginning van metsel- en betonzand meer voor. Enkel Limburg en Brabant beschik-



Afb. 3.25 ZANDONTGINNING: EVALUATIE
Geëxploiteerde oppervlakten in ha en geplande reserves van ophoogzand, metselzand en betonzand
(bron: evaluatie van zandsorten).

ken hierover. Deze voorraden kunnen echter niet aan de vraag voldoen, zodat Vlaanderen grote hoeveelheden grof zand moet invoeren, vooral uit Nederland, maar ook uit de Noordzee: het Belgisch en Engels continentaal plat. Laagwaardig zand geschikt voor gebruik als ophoogzand komt echter in heel Vlaanderen voor. Afbeelding 3.3 toont de verspreiding van de huidige actieve ontginningen voor de drie zandtypes. Afbeelding 3.26 geeft een idee van de behoeften aan zand voor de bouwnijverheid.



Afb. 3.26 BEHOEFTE AAN ZAND
Gewonnen hoeveelheden zand voor de-bouwnijverheid (bron: NIS).

Uit een enquête, georganiseerd in 1989, bleek dat in Vlaanderen dat jaar volgende hoeveelheden zand gewonnen werden:

- ophoogzand: 3.987.000 ton;
- metselzand: 1.046.000 ton;
- betonzand: 321.000 ton.

Hieraan dient nog ongeveer 2.000.000 ton grof zand, afkomstig uit de Limburgse grindwinningen, toegevoegd te worden. Er werd hier ook geen rekening gehouden met zand dat zeer tijdelijk vrijkomt naar aanleiding van openbare werken zoals aanleg van havendokken, autowegen en dergelijke.

VERDERE Lectuur:

In alle geologische tijdschriften vindt men wel literatuur terug over de zanden van het Tertiair.

Specifieke literatuur waarin het aspect van zand als delfstof behandeld wordt, is zeldzamer.

Rond de Belgische delfstoffen werd in 1947 een colloquium gehouden en gepubliceerd in de "Centenaire de l'Association des Ingénieurs sortis de l'école de Liège".

Op 24 en 25 oktober 1991 werd door het Genootschap van Geologen van de Universiteit Gent een colloquium georganiseerd rond het thema "Oppervlakedelfstoffen problematiek in Vlaanderen".

De normen waaraan het zand moet voldoen zijn gepubliceerd in de Belgische Normen, NBN (1969) en in het Typebestek 200, uitgave 1992 van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Dep. Leefmilieu en Infrastructuur.

Indien men meer en gedetailleerdere informatie wenst over bepaalde zandformaties, kan men het best contact opnemen met de respectieve auteur(s).

GROVE GRANULATEN



Grove granulaten worden voornamelijk gebruikt in de burgerlijke bouwkunde als hoofdcomponent van beton, als ballastmateriaal voor spoorwegen, als component van bitumineuze mengsels, voor wegverhardingen, als stortsteen voor waterbouwwerken, enz. Men mag het belang van de productie van grove granulaten zeker niet onderschatten. In de meeste landen vormen ze in volume en in mindere mate ook in waarde het hoofdaandeel van de ontgonnen delfstoffen. Een kilometer autosnelweg bijvoorbeeld vergt 30.000 ton ballast en iedere Belg “verbruikt” jaarlijks zes ton granulaat in de vorm van woningen, wegen, enz.

Traditioneel worden de granulaten onderverdeeld in grove (grind) en fijne granulaten (zand), dit vanwege de grote verschillen wat betreft hun gebruik. Toch is het zo dat in het kader van de Europese normering de tendens bestaat om de vage term “zand” te vervangen door “granulaat 0/D” met D kleiner dan 8 mm. Wat de bovengrens van de korrelafmetingen betreft, beperkt de norm B11-003 “Granulaten en steenachtige materialen - Terminologie” (1981) de benaming granulaat tot stenen kleiner dan 125 mm.

Op basis van hun oorsprong deelt men de voornaamste granulaten in natuurlijke en kunstmatige granulaten in, waarbij de natuurlijke granulaten onderverdeeld worden in ronde (grind) en in gebroken (steenslag) granulaten (Afb. 4.1).

1 EIGENSCHAPPEN VAN NATUURLIJKE GRANULATEN

J. Elsen

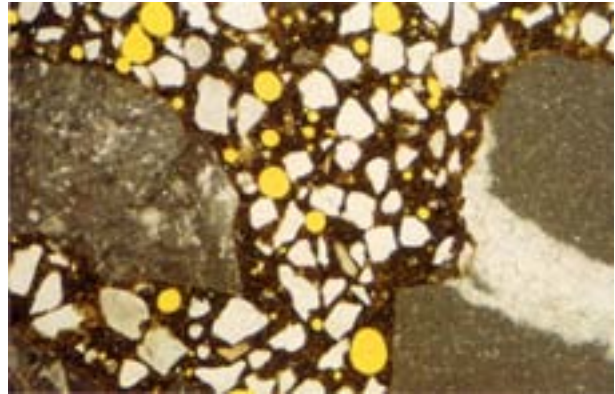
1.A INLEIDING

Het gedrag en de duurzaamheid van wegen, bruggen en gebouwen is voor een groot gedeelte afhankelijk van de karakteristieken van de gebruikte granulaten. Deze eigenschappen dienen getest en geverifieerd te worden vooraleer men bijvoorbeeld beton aanmaakt of een weg aanlegt. Hiertoe werd een hele reeks tests ontwikkeld die alle trachten het gedrag van de granulaten te voorspellen. Deze tests zijn van nature empirisch en veelal gebaseerd op simulaties. Het is dus een pragmatische benadering die ons weinig leert over de onderliggende redenen van specifieke karakteristieken van granulaten, maar in de praktijk is deze pragmatische benadering in de meerderheid van de gevallen de enige weg.

Voorschriften bij het gebruik van granulaten voor specifieke toepassingen zijn beschreven in de nationale normen, de lastenboeken of de zogenaamde typebestekken, en in de normatieve documenten. Deze documenten beschrijven procedures tot klassificering van de granulaten. Algemeen kan men stellen dat de karakteristieken van granulaten kunnen worden onderverdeeld in twee categorieën. Die welke intrinsiek zijn aan het moedergesteente, zoals bijvoorbeeld de hardheid en de weerstand tegen polijsting, en die welke in verband staan met de productiekennmerken, zoals bijvoorbeeld de vorm en de zuiverheid van het materiaal.

1.B KENMERKEN IN VERBAND MET HET GEBRUIK

- **Korrelverdeling:** Deze wordt bepaald door classificatie in een reeks zeven.
- **Gehalte aan fijne deeltjes:** Indien deze deeltjes uit kleiachtige mineralen bestaan, kunnen ze een zeer nadelige invloed uitoefenen op de eigenschappen van het eindproduct, bijvoorbeeld beton.
- **Korrelvorm:** De korrelvorm wordt in ons land bepaald door de 'vormindex', beschreven in de norm NBN B11-203 (1982). Deze metingen gebeuren manueel met een schuifmaat en zijn zeer tijdrovend. Op Europees vlak wordt wellicht een snellere methode aangenomen waarbij de korrelvorm wordt afgeleid uit zevingen op zeven met gleuven of roosters.
- **Hardheidsproeven:** Er bestaan talrijke genormaliseerde hardheidsproeven waarbij het materiaal een mechanische belasting ondergaat waardoor fijnere korrels ontstaan. De meest gebruikte zijn de statische druksterkte (SD), de Micro-Deval slijtproef (MDE), de Los Angeles proef (LA) en de dynamische verbrijzelingsproef. De drie laatstgenoemde proefmethoden zullen naar alle



AFB. 4.1 MICROSCOPISCHE OPNAME VAN BETON

Slijpplaatje van een betonkern (5.1 mm x 3.4 mm). De foto is genomen in doorvallend licht en parallelle polarisatie, en toont grote kalksteen-granulaten (donkergrijs), fijnere korrels zand, in hoofdzaak kwarts (lichtgrijs), en holten gevuld met een geelgekleurde hars.

waarschijnlijkheid worden opgenomen in de Europese normering.

- **Weerstand tegen polijsting:** De versnelde polijstingscoëfficiënt (VPC) wordt bepaald met de versnelde polijstingsproef beschreven in de norm B11-204 (1980). De proef bestaat erin een proefplaat met dicht tegen elkaar vastgekittte steentjes te polijsten, dit door een belasting gedurende enkele uren met een ronddraaiende rubberen band onder inwerking van water en amarilpoeder.
- **Scheikundige en mineralogische samenstelling:** Wat de toepassing van granulaten voor beton betreft, kunnen bepaalde mineralogische en scheikundige bestanddelen van de granulaten de duurzaamheid van het beton aantasten. Voorbeelden hiervan zijn de aanwezigheid van chloorionen, de aanwezigheid van ijzerverbindingen zoals pyriet, markassiet en chalcopyriet en de aanwezigheid van reactieve silica-verbindingen, zoals amorfe silica, opaal, chalcedoon,...

De hierboven opgesomde kenmerken zijn slechts relevant in functie van welomschreven toepassingen. Zo is de VPC een belangrijk kenmerk bij toepassing in wegverhardingen. Hierbij eist men, omwille van veiligheidsredenen, dat het granulaat aan het oppervlak zo lang mogelijk weerstaat aan de polijsting veroorzaakt door het verkeer. Tesaamen met de VPC werden de statische druksterkte, de Micro-Deval slijtproef en de Los Angeles proef gekozen om een classificatie van de granulaten op te stellen wat betreft hun intrinsieke kenmerken. Deze classificatie (BENOR PTV400) gaat van A tot E, waarbij A de hoogste klasse, in de praktijk enkel gehaald wordt door porfiersteenslag; de klasse B komt algemeen overeen met gebroken grind en sommige zandsteen soorten; in klasse C komen de betere

GRANULAATTYPE	VPC	MDE	LA	SD
Porfier	52 - 55	4 - 8	8 - 14	8 - 10
Kalksteen (Tournesiaan - Viseaan)	< 44	10 - 15	19 - 24	16 - 22
Zandsteen (Famenniaan)	55 - 60	18 - 20	13 - 14	11 - 13
Maasgrind	52 - 56	5 - 9	15 - 20	12 - 13

AFB. 4.2 INDICATIEVE WAARDEN VOOR ENKELE INTRINSIEKE MECHANISCHE KENMERKEN VAN ENKELE GRANULAATYPES.

Deze waarden zijn gegeven voor een korrelmaat 10/14 (cijfers afkomstig van n.v. GRALEX). Bij de drie hardheidsproeven, de Micro Deval hardheid (MDE), de Los Angeles proef (LA) en de Statische Druksterkte (SD) wordt de hoeveelheid geproduceerd fijn materiaal altijd bepaald na een mechanische belasting. Hoe lager de verkregen waarde, des te harder het beproefde materiaal. VPC: Versnelde Polijstingscoëfficiënt.

kalksteensoorten terecht. Eenmaal een granulaat tot een bepaalde klasse behoort is het de gebruiker die in functie van de toepassing een bepaalde klasse kan eisen. Zo zal bijvoorbeeld voor ongewapend beton voor structuren een granulaat uit de klasse D geëist worden.

Buiten bovenvermelde kenmerken zijn er nog andere algemene kenmerken die belangrijk zijn bij specifieke toepassingen. Voor granulaten in beton bijvoorbeeld is het van belang dat ze vrij zijn van schadelijke onzuiverheden en ontdaan van kleiachtige materialen, dat ze vorstbestendig zijn en zeker voor hogesterkte-beton dat ze een voldoende verbrijzelingssterkte bezitten.

2 NATUURLIJKE GRIND

F. Gullentops

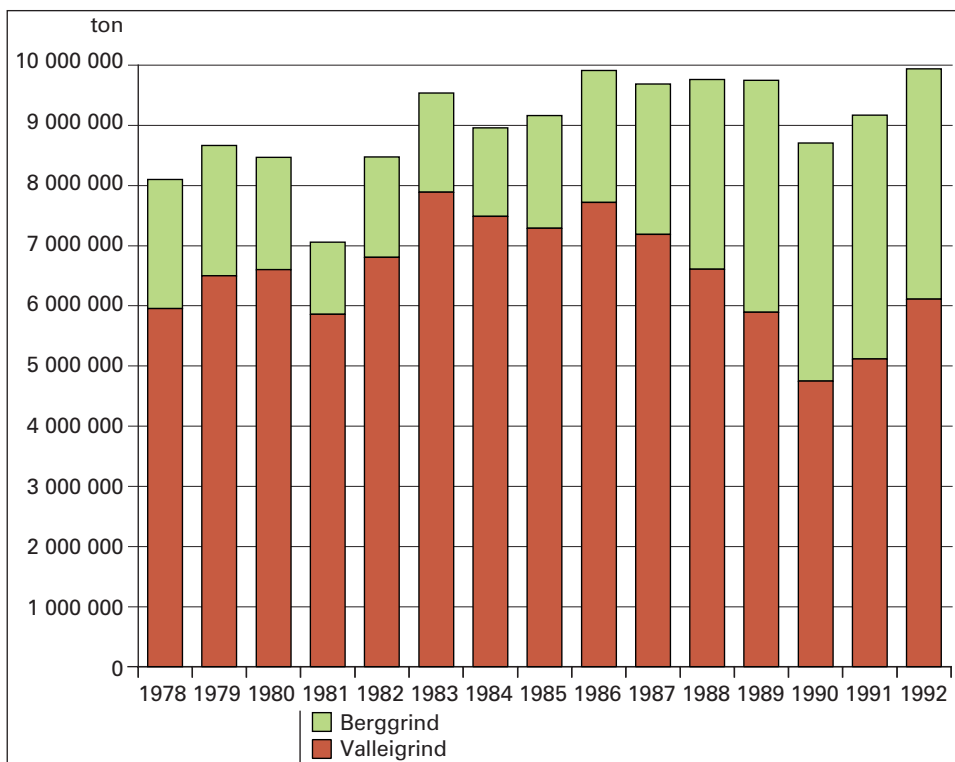
Grind, bij definitie korrels groter dan 2 mm, kan in de natuur slechts door aanzienlijke krachten worden vervoerd en afgezet. De grootste energie zit wel in de branding van de golven op het strand, waardoor zeekliffen worden afgebroken, afgestorte rotsmassa's verpulverd en keien uiteindelijk door een oneindig aantal botsingen

worden afgesleten tot soms perfecte rolstenen. Die keien worden dan door de onophoudelijke golfslag traag, maar zeker, langs het strand vervoerd. Ook de versnellingen in de bedding van stortbeken en snelstromende rivieren kunnen rotsbrokken meesleuren, waarbij ze eveneens stilaan afronden.

Het belang van de grindwinning in Vlaanderen wordt aan de hand van afbeelding 4.3 getoond.

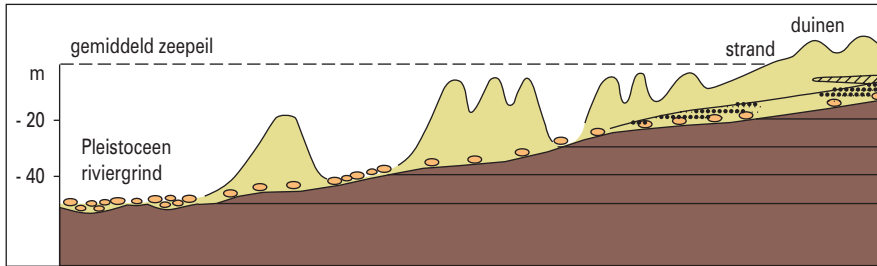
2.A NOORDZEEGRIND

De bodem van het Belgisch continentaal plat kan opgevat worden als een hellend vlak, liggend bij -20 m voor de kust en afdalend naar -60 m in het midden van de Vlaamse Baai. Op dit vlak staan de zandbanken die het grillig reliëf van de zeebodem maken. Dit vlak is bedekt door een grindlaag (Afb. 4.4). Op de diepste punten, in de geulen, kan dit grind meerdere meters dik worden. Ze kunnen beschouwd worden als de beddingen van een oerstrom, samen Theems, Rijn, Maas en Schelde, die tijdens de laatste ijstijd door het Nauw van Calais stroomde. Naast



AFB. 4.3 GRINDWINNING IN LIMBURG

Twee tabellen van de Limburgse grindproductie. Op het Kempens Plateau wordt berggrind in hoofdzaak gewonnen via droge weg, het valleigrind aan de oevers van de maas wordt overwegend langs natte weg gewonnen. Het berggrind bevat ongeveer 25% zand, het valleigrind ongeveer 20%. Sinds 1993 is er een drastische productieafname, van bijna 10 miljoen ton in 1992 naar 6.5 ton in 1995, hoofdzakelijk te wijten aan het ontbreken van ontginningsgebieden.



AFB. 4.4 NOORDZEEGRIND
*Profiel doorheen de Noordzeebodem
 bestaande uit zandbanken en een grind
 bedekking*

wat exotische gesteenten uit de verschillende rivierbekkens bevat het vooral vuursteenkeien uit het onder- en omliggende krijt. Veel keien zijn meer dan 10 cm groot en slecht gerold. Staalnamen leren dat de bovenste keien slechts langs één kant intens bedekt zijn door kalkorganismen, wat bewijst dat de keien niet meer bewegen in de nochtans sterke huidige getijdenstromen. In het oprijzende vlak van de zandbanken is de keilaag dunner en worden de keien kleiner, zijn ze beter gerold, en bestaan nog meer overheersend uit vuursteen.

De totale reserve kan geraamd worden op 1 miljard m³ (1 km³), waarvan zowat één tiende bloot ligt en relatief gemakkelijk exploiteerbaar is. Nadelen zijn:

- de bijna exclusieve samenstelling uit vuursteen, dat niet vorstbestendig is;
- het aanzienlijk percentage te grote keien die gebroken moeten worden, waarbij de vuursteenkeien sterk versplinteren;
- de aanwezigheid soms van grote hoeveelheden zeeschelpen;
- de storing van een stabiele zeebodem die een belangrijk biotoop vormt voor talrijke zee-organismen.

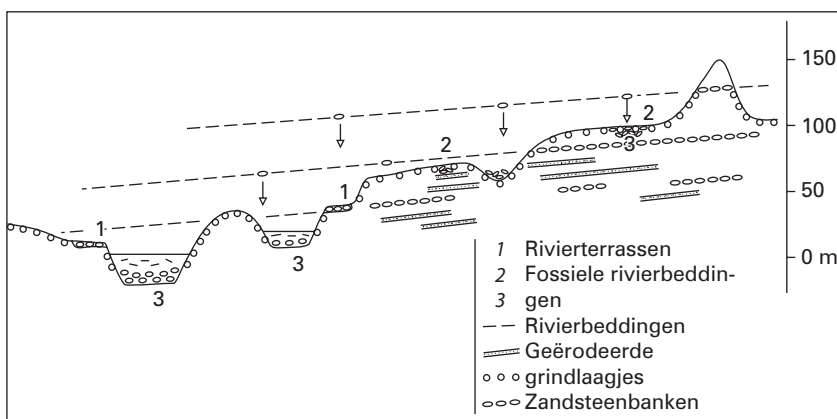
2.B GRIND IN HET SCHELDEBEKKEN

In het Scheldebekken wordt tussen de Tertiaire lagen van de ondergrond en de Quartaire dekmantel bijna steeds een laag grind aangetroffen (Afb. 4.5). Deze laag wordt daarom dikwijls als basis van het Quartair aangeduid. Soms bestaat ze uit een enkel keitje, veelal is ze decimeterdik, meer uitzonderlijk zelfs meerdere meters.

In het Vlaams Gewest bestaat de ondergrond praktisch overal uit Tertiaire lagen. Deze bevatten een aantal keilaagjes die langs het strand van de verschillende zeetransgressies werden aangevoerd. Vooral vanaf de Alpenplooiing was ook de omgeving van de Noordzee opgerezen en kon de zee kliffen eroderen die veel vuursteenkeien leverden. Artesië leverde platte, blauwzwarte keien tijdens het Rupeliaan en onregelmatig gerolde, bruin verweerde tijdens het Diestiaan. De Bolderiaanzee had een strand met ovale, blauwe keien afkomstig uit Nederlands Limburg. Deze mariene grindlagen zijn hoogstens een paar decimeter dik en dus nooit specifiek uitgebaat. De met limoniet aaneengekitte keien van het Diestiaan werden wel als bouwsteen gebruikt op de Rodeberg (Westouter).

Na de terugtrekking van de Diestiaanzee begon de erosie die tot het huidig landschap zou leiden. De fijnere bestanddelen, klei en zand, kunnen gemakkelijk door de regen worden weggespoeld. De keien blijven liggen en naarmate het relief daalt, vormen ze een groeiende laag residueel grind. In de bedding van beken en rivieren concentreren ze zich en sommige grindlierten op de hoogvlakten zijn resten van vroegere rivierlopen. Naarmate de rivieren zich insnijden worden wel vroegere beddingen bewaard als terrassen langsheen de dalwand (Afb. 4.6). Uitzonderlijk zijn deze terrasgrinden in het Scheldebekken dikker dan één meter. Eerder toevallig werden ze gebruikt als verharding van veldwegen. Bij ontginning van het onderliggende Tertiair vormen ze dikwijls een hinderlijke bedekking die zorgvuldig dient afgeschraapt te worden.

Dikkere lagen riviergrind bevinden zich op de bodem van de huidige dalen, maar dan steeds bedolven onder een



AFB. 4.5 RESIDUEEL- EN TERRASGRIND IN HET SCHELDEBEKKEN



AFB. 4.6 SCHELDEGRIND

Grinrijke laag in het Laagterras van de Bierbeek. De laag bestaat hoofdzakelijk uit vuursteenrolkeien, waarvan sommigen gebroken zijn door bevroering, en bevindt zich tussen het Bierbeek Zand onderaan en eolische leem boven.

belangrijke laag fijner alluvium. In de dalen van Midden-België, Gete, Dijle, Zenne en Dender, bevindt de laag zich tussen 5 en 10 m diepte. De gewone intacte vuursteenkeien en de talrijke vorstscherven zijn vermengd met een overvloed van diverse zandsteenbrokjes afkomstig van het verbrokkelen van de vele steenlagen uit het Tertiair. Zelfs komen brokjes voor van de Paleozoïsche gesteenten van het Massief van Brabant waarin deze dalen finaal ook zijn ingesneden. Die grindlagen, vermengd met grof zand, vormden de rivierbeddingen tijdens de laatste ijstijden. Deze beddingen waren totaal verschillend van de huidige: veel sneeuw in lange winters veroorzaakte in de zomer hevige smeltwaterdebieten, die in het vegetatie-arme landschap enorme erosie konden veroorzaken. De diepe ligging, grillige samenstelling en bedekking door veen en leem maken de laag ongeschikt voor ontginning.

In de grotere dalen van Schelde en Leie en in de Vlaamse Vallei met haar uitlopers langs Dijle en Zenne is het grind fijner en wordt het ondergeschikt aan de overheersend grofkorrelige stroomzanden. Het aanwezige grind vormt geen hinderpaal voor de ontginning door opzuigen, noch voor het gebruik als vulzanden van deze fossiele beddingzanden. Hiervan getuigen de grote ontginningsvijvers van Hofstade (de oudste) en o.a. Rotselaar, Bos Van A, Willebroek en Gavers.

Vermelden we nog dat de rivieren van het Netebekken slechts zeer ondiep zijn ingesneden in de jongste Tertiaire

lagen, waarin zeer weinig grind voorkomt. Residuele keien zijn dan ook slechts sporadisch aanwezig en zelfs in de dalbodems is grind schaars.

2.C MAASGRIND

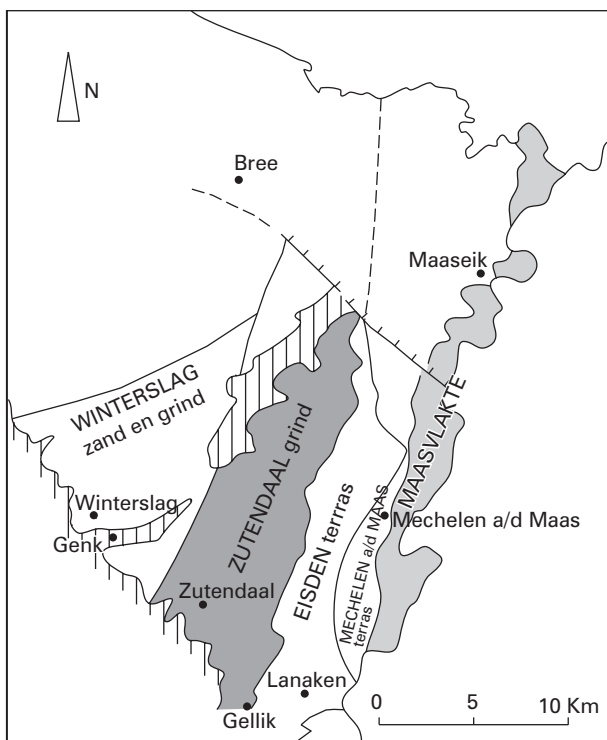
F. Gullentops en E. Paulissen

De huidige Maas is essentieel een Ardense rivier. Weliswaar liggen haar bronnen bij Langres, niet ver van Dijon, maar haar bekken in Frankrijk is erg smal. Daarbij draineert de Maas een Mesozoïsch gebied dat uit kalkstenen en mergels bestaat, waardoor ze tot Mézières omzeggens geen grof puin te vervoeren heeft. Vanaf daar dringt ze binnen in de Ardennen en draineert met al haar bijrivieren het heel Paleozoïsch Massief rijk aan harde gesteenten. Sinds de insnijding van de dalen in de Ardennen is begonnen, is ruw geraamd 100 km³ puin door de Maas vervoerd. Het grootste deel daarvan heeft de dalende bodem van Nederland aangevuld, een klein deel is bij ons achtergebleven als rivierterrassen of beddinggrind. Om de kenmerken ervan te begrijpen moeten eerst een aantal bijzonderheden verklaard worden.

Tijdens het Tertiair stroomde de Maas nog op het plateau. Zeer lange verwerking onder een subtropisch klimaat had de gesteenten op het plateau volledig vermurwd en slechts de hardste elementen, zoals de kwartsaders, vormden een residu. Wat de Maas te vervoeren kreeg bestond dus hoofdzakelijk uit kwarts. In Frankrijk was het Maasbek-

ken toen nog veel groter, omdat o.a. de Moezel nog een bijrivier was. Die voerde uit de Vogezen ook een residu aan van mooi gerolde kwartskeitjes en van verkiezelde kalkstenen, o.a. kiezeloöliet (kuitsteen). De Maas zette derhalve witte grind af die omwille van de zeldzame, maar kenmerkende kuitsteentjes, als kiezeloölietgrind bekend zijn. Ze vormen een lange sliert plateauterrassen van Namen tot Luik en dan verder tot bij Aken waar de Maas toen nog in de Roerdal Slenk uitmondde en een bijrivier was van de Rijn (Afb. 4.7). Het witte grind is zeer gezocht voor bijvoorbeeld exclusieve tuinpaden of voor het gieten van betonplaten met de opvallende keitjes. Van deze oude Maasloop zijn slechts onbeduidende resten bewaard in de Voerstreek.

Door de toenemende opheffing van de Ardennen sneden de Maas en haar bijrivieren geleidelijk hun dalen dieper in en bereikten onverweerde gesteenten waardoor het aandeel van de kwartskeien in het riviergrind terugliep. In Visé verlegde de Maas drastisch haar loop naar het noorden en stortte zich in het Limburgse laagland. Ongetwijfeld werd dit beïnvloed door breukwerking waarbij een compartiment van de Roerdal Slenk afschoof volgens een breuklijn van Rauw bij Mol, tot Maastricht. Eerst zette de Maas de grindrijke Winterslag Zanden af, waarvan de imposante beddingen getuigen van de grote erosiekracht van die catastrofale loopverandering. Ze zijn vooral bewaard tussen Helchteren en de Stiemerbeek. In de omgeving van Winterslag werden ze ontgonnen, eerder als zanden doordat het grindgehalte gering is.



AFB. 4.7 MAASGRIND
 Verspreiding van de verschillende soorten
 Maasgrind in Limburg

Hierop volgt een zeer koude ijstijd met ontwikkeling van een aanzienlijk ijskap op de Vogezen, die inmiddels hiervoor hoog genoeg waren opgeheven. De Moezel werd een gletsjerrivier en ook uit de Ardennen kwam veel puin zodat de Maas in ontzaglijke hoeveelheden het Zutendaal Grind afzette. Het vormt een strook van Gellik tot Neeroeteren, in het zuiden plaatselijk 15 m dik, naar het noorden verdunnend tot een achttal meters. Het werd afgezet tijdens zomerse smeltwater debietmaxima door een rivier die zich splitste in honderden ondiepe armen tussen continu opbouwende grindbanken. De sortering van het grind is ronduit slecht; de meerderheid van de kei-diameters ligt tussen 2 en 8 cm; grovere keien zijn echter talrijk, tot zelfs blokken van een ton die vermoedelijk met drijvende ijsschotsen werden aangevoerd. Leemlenzen, afgezet in verlaten beddingen, zijn vrij zeldzaam maar leem is bijna steeds aanwezig tussen de keien en het gemiddeld gehalte kan op 10% geraamd worden. Lenzen grof zand komen voor in de stroomdraden van sommige beddingen. Globaal is het dus een lemig, vrij grof grind. Op Belgisch grondgebied is de verspreiding van het grind in het noorden bepaald door de breuk van Bree en in het oosten door de insnijding van het huidige Maasdal. Het volume mag op 0,8 km³ begroot worden.

Sinds de afzetting van het Grind van Zutendaal zijn zowat 500.000 jaren verlopen met een opeenvolging van klimaatschommelingen. Tijdens glaciële fasen veroorzaakte intense vorstwerking een zekere verfijning van het oppervlak en doorwoeling met dekzanden. Tijdens de soms erg warme interglaciële fasen verweerde het grind tot de kleirijke, rood-bruine Bodem van As, met diepe infiltraties van ijzer- en mangaanoxiden en een vermindering van de hardheid van de grindcomponenten. Dit resulteerde in de huidige eigenschappen van het "berggrind", intens gekleurd grind met een kleiïge matrix, die het, zonder bijkomende bewerking, alleen geschikt maakt als natuurlijke verhardingslaag voor landwegen (Afb. 4.8). Valoriatie van het berggrind is nochtans mogelijk. Dit vergt in de eerste plaats een intens wassen om klei en leem grondig te verwijderen. Na breken en calibreren van het steenslag kan vooral het grovere steenslag een goede kwaliteit verkrijgen, omwille van de concentratie van de meest harde elementen.

Door opheffing van het land sneed de Maas krachtig in en met enkele onbelangrijke tussenstappen zet ze uiteindelijk de dalbodemplanden af. De Maas is ondertussen een andere rivier geworden want ze is haar bijrivier de Moezel kwijtgespeeld ten voordele van de Rijn. Ze wordt dus niet meer beïnvloed door de grote gletsjerkappen die tijdens de twee laatste ijstijden op de Vogezen tot ontwikkeling kwamen. Louter Ardens puin wordt dus nu aangevoerd, wel onder invloed van de belangrijke sneeuwsmelt. Het resultaat is een leemarm grind, goed uitgewassen waarvan de korrelgrootte gemiddeld wat kleiner is, tussen 2 en 6 cm, en met slechts zeldzame grote blokken. Het grind bevindt zich daarbij grotendeels onder de watertafel die door het

Maaspeil wordt bepaald. Het heeft dus slechts een beperkte oppervlakkige bodemvorming ondergaan zodat het grind onder water zuiver is gebleven en grijs van kleur. Tussen de Maas en haar dalwand is de strook dalbodempland gemiddeld 6 km breed en van Lanaken tot Kessenich 30 km lang. Met een gemiddelde dikte van 10 m betekent dit een hoeveelheid grind van 1,8 km³.

waaiers op met zandige grinden. Die strook bevat dus het grofste grind en tevens het meest fijn zand.

Tijdens de laatste ijstijd, tot 10.000 jaren geleden vormde de verwilderde Maas een dalbodempland ten oosten hiervan, die als de Mechelen-aan-Maas en Geistingen Terrassen amper uitsteken boven de huidige Maasvlakte. Het grind is fijner, onverweerd en het laatste zonder zanddek.



AFB. 4.8 ZUTENDAL GRIND

Het Zutendal Grind vormt de top van het-Kempisch Plateau (As). De ijstijden en tussenijstijden die op de afzetting volgden, hebben hun sporen nagelaten onder de vorm van-verwerings en verstoringen.

De samenstelling is echter verre van homogeen zoals uit de bespreking van de bijzonderste elementen van de geologische opbouw kan blijken. Het grind werd afgezet in verschillende fasen, gespreid over de laatste twee ijstijden. Het belangrijkste grind van de voorlaatste ijstijd is bewaard als een uitgebreid terras langsheen de dalwand, een paar meter boven de huidige Maasvlakte: het Eisdien Terras. Die ijstijd was de koudste, met Scandinavisch landijs tot in Krefeld en Nijmegen en een firnkap (eeuwige sneeuw) op de Hoge Venen. Met de hoogste smeltwaterdebieten is dit grind dan ook het meest grofkorrelig. Het kon sindsdien oppervlakkig licht verweerd en werd bedekt door dekzand, plaatselijk opgewaaid tot duinen. De talrijke dalletjes die van het plateau komen deponeerden er uitgebreide puin-

Ditzelfde grind wordt ook onder de huidige overstromingsvlakte aangetroffen.

De huidige "interglaciale" Maas is echter gekenmerkt door een enkelvoudige, diepe, meanderende bedding, hoofdzakelijk veroorzaakt door de zeer geringe hoeveelheid vers puin dat aan de rivier geleverd wordt tengevolge van het dicht natuurlijk bosbestand in een gematigd klimaat. Bij overstroming wordt nu wel een dek van fijn alluvium afgezet dat ook eventueel verlaten beddingen opvult. Enerzijds geven deze overstromingslemlen een zeer vruchtbare bodem, anderzijds kunnen zij bij ontginning van het grind gerecupereerd worden voor de baksteenindustrie. Ook in een vroeger interglaciaal bestond een dergelijke meanderende Maas en sommige storende diepe leemlagen die hier en daar werden aangetroffen behoren daartoe.

Ook in de lengterichting van de Maasvlakte komen dikteschommelingen voor. De best bekende is de sprong van Bichterweerd waarbij door een geofysische prospectie kon worden aangetoond dat de basis van het grind plots over gemiddeld 5 m daalde. De Feldebiss Breuk die hiervoor verantwoordelijk is, heeft dus nog aanzienlijk gewerkt sinds de afzetting van het Grind van Eisden. In de buurt van Aldeneik zijn er aanduidingen voor een nog recentere breukwerking in omgekeerde zin. De aardbeving en breukwerking van 1992 in Roermond herinnert er trouwens aan dat de tectonische verzakking van de Roerdal Slenk niet beëindigd is.

Uiteindelijk wordt in die brede strook dalbodemgrinden, de voordeligste ontginning bepaald door het grootste grindrendement per oppervlakte, een combinatie van dikte van de laag en grindgehalte. Het grind zelf heeft zeer verwante eigenschappen. Globaal kan men stellen dat bij een gedifferentieerde productie een eerste zeving 10% grof zand (~Rijnzand) en 30% fijn gerold grind oplevert, 40% grof grind kan dan gebroken worden en gekalibreerd in verschillende maten gesteentegruis en steenslag.

In de valleibodem werd voor natte ontgrinding zowat 1800 ha in de gewestplannen voorzien. Daarvan zijn nu ongeveer 1600 ha ontgonnen (bron I.M.L.). De baggerplassen kennen een verscheiden nagebruik. Een klein deel kan opgevuld worden door storten van inert materiaal, zoals uitgravingsspecie van het Albertkanaal, en aan de landbouw gerestitueerd. Een ander deel, niet rechtstreeks verbonden met de Maas, kan uitgerust worden als drinkwaterreserves, belangrijk vooral ter ondersteuning van het Albertkanaal bij extreme laagwaterdebieten van de Maas. Reconversie tot toeristische industrie biedt economische meerwaarde. Afgesloten van de Maas kan ze gecombineerd worden met drinkwatervoorziening. Open tot de Maas leveren de plassen een bijdrage tot het aftappen van de debietextremen van de Maas.

Voor droge ontginning werden op het plateau 566 ha voorzien in het gewestplan, waarvan ongeveer 450 ha. zijn uitgebaat (bron I.M.L.).

Ongeveer 300 werknemers zijn tewerkgesteld bij de negen betrokken grindwinningsbedrijven.

3 VERBRIJZELDE NATUURSTEEN - STEENSLAG

J. Elsen

Steenslag wordt gedefinieerd als een granulaat voortkomend uit het mechanisch breken van stenen met diameter groter dan twee millimeter. Het woord "steen" wordt dikwijls vervolledigd door de aanduiding van het moedergesteente, zoals bijvoorbeeld kalksteenslag, porfiersteenslag... Het overgrote deel van het steenslag is echter afkomstig uit Wallonië.

Porfier wordt heden ten dage ontgonnen in drie zeer grote groeven ten zuidwesten van Brussel aan de bovenloop van de Zenne en de Dender, te Deux-Acres, Lessines

en Quenast. Porfiersteenslag bezit uitzonderlijk goede intrinsieke kenmerken, zowel wat schadelijke onzuiverheden en dergelijke betreft als wat zijn fysische en mechanische kenmerken betreft, en mede hierdoor vindt een aanzienlijk gedeelte van de produktie zijn weg naar het buitenland. De gemiddelde jaarlijkse produktie bedraagt ongeveer 3.800.000 ton.

Kalksteengroeven worden op een zeer groot aantal plaatsen geëxploiteerd in het zuiden van het land langs de Maas, in de Condroz, bij Soignies, bij Tournai,... Elk jaar wordt er ongeveer 11.100.000 ton geproduceerd.

De kwartsieten van Dongelberg en Opprebais werden tot voor een tiental jaren geëxploiteerd tussen Leuven en Namur. Vanwege hun uitzonderlijk hoge weerstand tegen polijsting werden ze onder andere gebruikt als kasseisteen en waren het aangewezen materiaal voor het gebruik in de slijtlagen van wegen.

Zandsteen wordt over het hele zuidelijk gedeelte van ons land geëxploiteerd uit formaties van het Devoon en het Karboon. De gemiddelde jaarlijkse produktie van 2.200.000 ton wordt onder andere gebruikt in beton, voor wegdekken en als ballast voor spoorwegen.

4 SPECIALE GRANULATEN

J. Elsen

Als lichte granulaten worden zeer verscheiden materialen gebruikt zoals puimsteen, vermiculiet, geëxpandeerde slakken,... In ons land wordt als licht granulaat enkel geëxpandeerde klei op grote schaal geproduceerd (500.000 m³ produktiecapaciteit per jaar ARGEX granulaten). Als grondstof wordt hiervoor de Boom Klei gebruikt. De expansie van klei wordt veroorzaakt door ontsnappend gas dat vrijkomt bij de thermische behandeling in een draaioven bij een temperatuur van ongeveer 1.100°C.

Recentelijk worden natuurlijke granulaten ook geheel of gedeeltelijk vervangen door kunstmatige granulaten afkomstig van gerecycleerd bouw-en slooppuin. Deze nieuwe evolutie betreft voornamelijk het Vlaamse landsgedeelte waar de laatste jaren heel wat nieuwe breekinstallaties in gebruik genomen zijn.

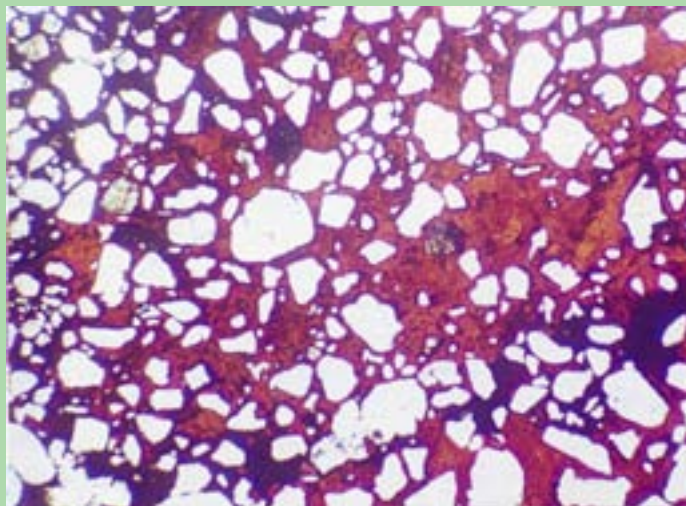
Verdere Lectuur:

De Maasvallei werd door E. Paulissen grondig bestudeerd. Meer informatie over het Maasgrind kan men dan ook terugvinden in zijn werk uit 1973: "De morfologie en de Quartairstratigrafie van de Maasvallei in Belgisch Limburg", een Verhandeling van de Koninklijke Vlaamse Academie voor Wetenschappen, nr. 127 (266 p.).

Een algemeen werk over het gebruik van granulaten voor bouwdoeleinden is: Smith M.R. en L. Collins, 1993.

Aggregates: sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes. Geological Society Engineering Geology Special Publication nr. 9 (London).

BOUWSTEEN



Vlaanderen is sinds eeuwen een van de dichtst bevolkte gebieden op aarde; er is bijgevolg van oudsher een aanhoudende vraag geweest naar bouwmaterialen. Afgezien van de moderne industriële betonsoorten, kunststoffen, glas, enz. zijn baksteen en, in vroegere tijden, hout, stro en klei of leem de belangrijkste bouwmaterialen geweest voor de “gewone” constructies, waarin of waarrond het dagelijks leven zich afspeelde (wonen, werken). Zodra een gebouw echter een betekenis kreeg die boven dit “banale” uitsteeg, werd bij voorkeur naar natuursteen overgeschakeld. Dit merkt men bij stadhuizen, kerken, paleizen, wallen, poorten, belforten, stations, musea, theaters en andere representatieve gebouwen. Natuursteen, van welke oorsprong ook, verleent het gebouw een bijzondere uitstraling; natuursteen voegt een dimensie toe aan de architecturale vormen en dit werd sinds de dageraad van de bouwkunst zo aan gevoeld.

De behoefte aan natuursteen kan in een land als Vlaanderen niet gemakkelijk bevredigd worden. De ondergrond bestaat grotendeels uit losse sedimenten - klei en zand - waarin nooit processen zijn opgetreden die bij hoge druk en temperatuur tot grootschalige versteningen zouden kunnen hebben geleid (zoals tijdens gebergtevorming). De enige harde horizonten zijn voortgekomen uit een rustige geschiedenis van het sediment waarbij het grondwater de hoofdrol heeft gespeeld, onder meer als transportmiddel voor opgeloste stoffen. Er is echter een grens aan de oplosbaarheid; als deze wordt bereikt, zullen uit het grondwater bepaalde bestanddelen kristalliseren met de vorming van calciet of de kiezelvariëteiten kwarts, opaal en chalcedoon tot gevolg. Deze stoffen vormen het cement tussen de zandkorrels, die aldus traag maar zeker een vast gesteente worden. Dit verklaart tevens de sterk uiteenlopende cohesie en stevigheid van deze natuurstenen (titelfiguur).

Afgezien van de Cambrische rotsen van het Massief van Brabant in de omgeving van Halle, behoren de gesteenten in Vlaanderen tot het Mesozoïcum (Maas-trichtersteen en silex) en vooral tot het Cenozoïcum: Lincen Tuffeau en Rommersom Kwartsiet uit het Paleoceen, Ieperiaanse nummulietenkalksteen, Balegemse steen, Gobertingen steen, Brusselse zandsteen en veldsteen uit het Eoceen, ijzerzandsteen uit het Mio-Pliocene. Als toemaatje mag het Holocene ijzeroer vermeld worden.

1 BASISEIGENSCHAPPEN

R. Nijs

Al deze gesteenten kunnen zeer sterk uiteenlopen de technische eigenschappen vertonen. Vooral de gemakkelijk te bewerken (zandige) kalksteensoorten staan hier tegenover de taaiere, compactere en dus minder hanteerbare kiezelgesteenten (silex, veldsteen, zandsteen, kwartsiet). De belangrijkste technische parameters, eigen aan gesteenten, worden onder standaardomstandigheden gemeten. Deze zijn onder meer:

- **de druksterkte** (uitgedrukt in kg/cm^2). Ze geeft de grens van de draagkracht van het materiaal aan: als die grens wordt overschreden, breekt de steen. Dit gebeurt bij Maastrichtersteen boven 30 kg/cm^2 , bij Gobertingen- en Balegemse steen rond 1.000 kg/cm^2 , bij blauwe hardsteen boven 1.800 kg/cm^2 en bij kas-sesteen boven 2.000 kg/cm^2 ;
- **de schijnbare volumemassa** (kg/m^3) geeft de dichtheid van het gesteente in zijn geheel weer, dus met zijn micro- of macroporositeit, met zijn mineralisaties,... Voor arduin bedraagt de schijnbare volumemassa 2.700 kg/m^3 , voor Maastrichtersteen slechts 1.300 kg/m^3 ;
- **de geluidssnelheid** (m/s) waarvan de schommelingen inwendige fouten in de steen aan het licht kunnen brengen;
- **de krasbreedte** (mm) die een idee geeft van de sleet- en schoksterkte van het gesteenteoppervlak;
- **de porositeit** (%) en daarmee samenhangend, het waterabsorberend vermogen;
- **de vorstgevoeligheid, de warmtegeleidbaarheid, de geluidsisolatie**, enz.

Globaal genomen kunnen we al onze natuurlijke bouwstenen ook geografisch in twee soorten verdelen. Vooreerst kunnen de gesteenten onderscheiden worden die slechts lokale toepassingen kenden: hun gebruik als bouw materiaal is dus beperkt gebleven tot hun geologisch territorium. De muren van historische gebouwen aldaar weerspiegelen op een opvallende manier de plaatselijke geologische gesteldheid, ook al zijn de ontginningen en zelfs de ontsluitingen van het gesteente in situ soms al lang verdwenen, omdat de meeste steenwinning gebeurde in ondiepe, open kuilen die achteraf werden opgevuld. Ook de ondergrondse galerijen waaruit Maastrichtersteen en Gobertinger steen werd gewonnen, werden meestal na gebruik verlaten en verder verwaarloosd.

Voorbeelden van lokale bouwstenen zijn de Zandbergse steen (Ieperiaanse nummulietenkalksteen) in de Denderstreek, krijt en silex in Zuid-Limburg (Afb. 5.1), ijzerzandsteen in het Hageland en de Kempen, Rommersom Kwartsiet en Lincent Tuffeau in Haspengouw. Andere gesteenten zijn tot ver buiten hun oorspronggebied in de architectuur doorgedrongen, via gemakkelijke verbindingen: eerst via het bevaarbare rivierennet, later via de spoorwegen. Klassieke voorbeelden zijn de Balegemse steen en de steen van Gobertingen - Diegem.

Zeer opvallend is de samenhang tussen bouwstijl en gebruikt materiaal. Tot aan de Vroeg-Gotiek werden belangrijke gebouwen - zeker in het Scheldebekken - vooral opgetrokken met natuursteen afkomstig uit het Doornikse. Balegemse steen en Gobertingen steen lenen zich door hun fysische kenmerken zeer goed tot gotische subtiliteiten, die soms aan kantwerk of aan klavecimbelklanken doen denken. Hun grote opgang - en de gelijktijdige terugloop in het gebruik van Doornikse steen - valt dus samen met de opkomst van de Gotiek. In Haspengouw is het taaie Rommersom Kwartsiet voorbestemd voor stoere Romaanse volumes; zijn rol is na de Vroeggotiek dan ook uitgespeeld. De studie van natuurlijke bouwsteen vertoont dus niet uitsluitend een geografische dimensie: het is ook een reis in de tijd.

Tenslotte is het onvermijdelijk dat Vlaanderen tegenwoordig overspoeld wordt met niet-historisch restauratiemateriaal dat, op grote schaal en sterk gemechaniseerd, ontgonnen kan worden in het Bekken van Parijs of elders in Europa. Vroeg of laat moest het gebeuren dat onze plaatselijke ontginningen met hun gering rendement en hun gevaarlijk labuur het zouden afleggen tegen commercieel



**AFB. 5.1 LOKALE BOUWSTEEN
IN ZUID-LIMBURG**

Een rustig hoekje van Borgloon: de krijt- en silexondergrond van het Jekerbekken is niet veraf.

sterkere concurrenten. Of hierdoor de authenticiteit van ons kunstpatrimonium wordt bedreigd, blijft een open vraag die het geologisch interessegebied ver overstijgt.

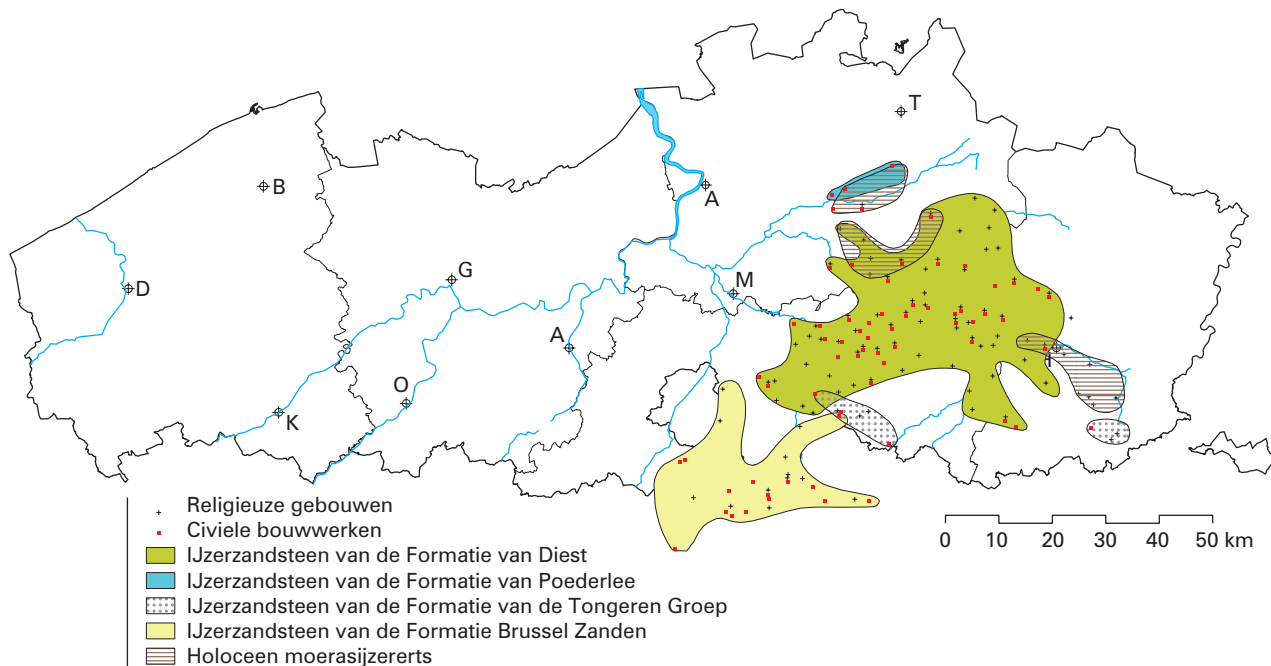
2 IJZERZANDSTEEN

F. Gullentops

IJzerzandsteen vormt zich wanneer een neerslag van limoniet $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (ijzerroest) zandkorrels aaneenkit. Het ijzer kan worden geleverd door de verwerking van FeS_2 , pyriet of marcassiet, dat in veel kleien voorkomt en verantwoordelijk is voor de roestkleurige uitsijpeling van zuurstofrijk water. De veruit belangrijkste bron is echter glauconiet, een ijzerrijk silicaat dat als groene korrels op de zeebodem wordt gevormd en veelvuldig aanwezig is in de Tertiaire mariene zanden. Bij verwerking in de bodem onttrekt het glauconiet. Zuur water voert de ijzeroxide-gels af naar de ondergrond. Bij verandering in Eh- en pH-toestand vlokt het roest uit, verhardt door uitdrogen en kristalliseert eventueel bij veroudering. Dit gebeurt dus steeds boven de watertafel en bij voorkeur in de schommelingszone van de watertafel waar de oxydo-reductietoestand voortdurend wijzigt (Afb. 5.2).

Leuven tot Kwaadmechelen. Tijdens het Quartair versnelde de opheffing en verminderde de scheikundige verwerking waardoor de basis van de verder oprijzende heuvels veel minder verijzerde.

De Hagelandse heuvels herkent men gemakkelijk aan de zeer steile hellingen, waar de verijzeringen het sterkst ontwikkeld zijn. De bodem is er bezaaid met harde limonietplaten die van oudsher werden verzameld voor fundamente en zelfs muren van huizen. De 3 km lange Wijn-gaardmuur van Wezemaal werd ermee gestapeld. In oude bouwwerken zoals de bases van de Romaanse kerktorens van Kortrijk-Dutsel werden brokken ijzerzandsteen gebruikt die uit de taluds van de holle wegen konden worden gebroken. Daarna werd al snel tot systematische ontginning van de beste banken overgegaan. Deze bestaan uit homogeen aaneengekit zand, zonder zeer harde storende limonietlagen. Deze banken konden gemakkelijk tot grote regelmatige bouwblokken gekapt worden, gedeeltelijk zelfs gezaagd wanneer ze nog groevevochtig waren. Ze zijn het typisch bouw materiaal van de Demergotiek en de Zuid-Vlaamse heuvels (Afb. 5.3). Tijdens het Oostenrijks bewind werden ze nog op grote schaal voor waterwerken langs Demer,



AFB. 5.2 VOORKOMEN VAN VIJF SOORTEN IJZERZANDSTEEN IN HET HERTOGDOM BRABANT

De Diest Zanden bevatten gemiddeld 50% glauconiet en hebben door optimale evolutie spectaculaire verijzering gegeven. Na de regressie vielen de Diestiaan zandbanken droog en onder nog subtropisch Pliocéen klimaat was de verwerking zeer intens. De zandbankreliëfs boven de watertafel verijzerden en werden door de ijzerkorst zeer weerstandbiedend. Door de geleidelijke opheffing en dus daling van de watertafel vorderden de verwerking en neerslag in de diepte. De oorspronkelijke zandbanken werden imposante heuvelrijen die het landschap domineren van

Dijle en Dijlekanal gebruikt. Sporadisch werden zij ook ontgonnen in de toppen van enkele Vlaamse Heuvels, van Muziekberg tot Rode Berg.

Als verweringsproduct is ijzerzandsteen chemisch vrij stabiel. Slecht verharde blokken kunnen op vochtige locaties wel verzanding en soms afbladering vertonen. Het gebruik van vreemde ijzerzandstenen voor restauratie geeft vaak storende kleurverschillen. Toch zijn zonder twijfel aanzienlijke voorraden aanwezig in het Hageland.

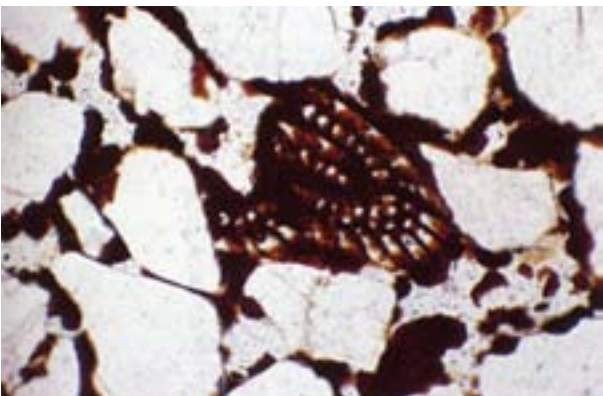


**AFB. 5.3 DIESTIAAN IJZERZANDSTEEN
EN ARCHITECTUUR**

Ijzerzandsteen in Romaanse toren van Opbrakel. De grote gekapte hoeksteen toont de harde limonietlagen.

Diestiaan ijzerzandsteen is herkenbaar aan zijn grove korrel en de vele donkergroene glauconietkorrels.

Een aanverwante ijzerzandsteen ontstond in het Pliocene Poederlee Zand, dat wel minder glauconiet bevat. Ten gevolge van de sterke pH-omslag sloeg het uitgelooide ijzer echter neer in een kalkrijke schelpenlaag. De harde ijzerzandsteen bevat talrijke schelpafdrukken, soms nog met schelpresten zoals in de St.-Dymphnakerk in Geel.



**AFB. 5.4 MICROSCOOP-OPNAME VAN
BRUSSELIAAN IJZERZANDSTEEN**

De Brusseliaan ijzerzandsteen is een met limoniet aaneengekit kwartzand, zonder glauconiet, en met verwijzerde organisme.

Ijzeroplossingen kunnen soms op onvoorspelbare wijze de onderliggende zanden infiltreren en aaneenkitten. Meestal zijn het grillige limonietaders, zeldzamer zijn de massieve banken. Dergelijke banken werden gevormd in het Tongeriaan zand rond Bierbeek en in de Romeinse tijd voor de bouw van een villa ontgonnen. Ze zijn herkenbaar door hun zeer fijne korrel en hun glimmergehalte.

In de omgeving van Waver komen dergelijke massa's voor in winningen van Brusseliaan zanden. Het grove zand is zo goed als glauconietvrij en de harde ijzersteen is goed herkenbaar aan zijn licht paarse tint (Afb 5.4). Omwille van zijn beschikbaarheid wordt hij vaak voor restauraties gebruikt.

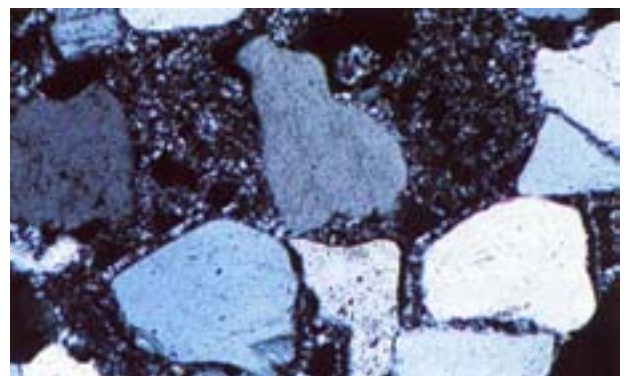
Het moerasijzererts van de Kempense beekdalen is heel anders ontstaan. Uitsijpelend uit glauconietzanden heeft Kempens kwelwater steeds een opmerkelijk ijzergehalte. Bij overstroming slaat het ijzer in de alluviale vlakke neer en vormt er een oppervlakkige oerlaag die herkenbaar is aan zijn grofkorrelig, poreus uiterlijk. Bij gebrek aan andere harde gesteenten werd het van oudsher sporadisch gebruikt voor funderingen. Toen het ook als erts werd ontgonnen werd het in enkele zeldzame gebouwen verwerkt.

3 ZANDSTENEN

3.A BRUSSEL ZANDSTEEN

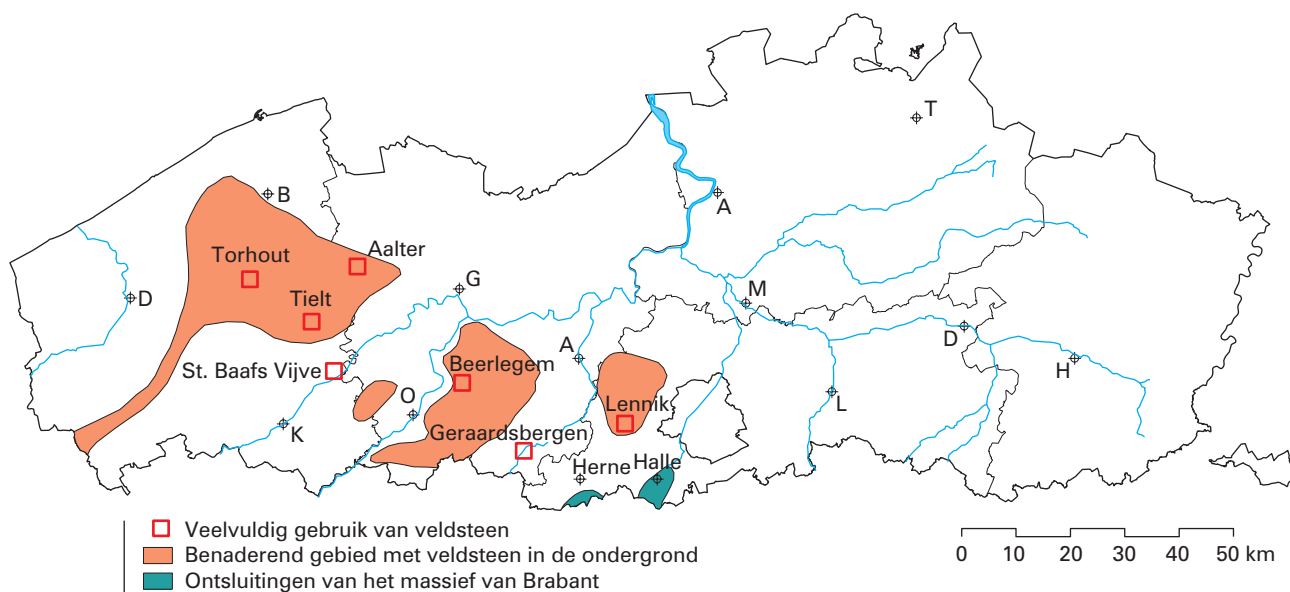
R. Nijs

Dit materiaal, in de oude literatuur ook wel "fistuleuze zandsteen" genoemd, wordt in de niet-kalkhoudende gedeelten van het Brusseliaan aangetroffen, vooral in de ondergrond van de heuvels ten oosten van Halle en nog meer oostwaarts (Zoniënwoud) tot in Overijse. In Waals-Brabant komt het rond Waver voor. Het gaat hier vooral om een "bijproduct" van zandgroeven zonder echte historische, noch economische waarde. De Brussel Zandsteen heeft sporadisch als funderingsmateriaal gediend. Men treft hem nog het meest aan in rotstuintjes, waar de



**AFB. 5.5 MICROSCOOP-OPNAME VAN BRUSSEL
ZANDSTEEN**

De kwartskorrels (grov zand) werden eerst met een vezelig laagje chaledoon bedekt, daarna werden de poriën tussen de korrels met fijn kwarts en chaledoon opgevuld (de poriën zijn donker op de foto).



AFB. 5.6 VOORKOMEN VAN VELDSTEEN

grillige, ja zelfs grappige vormen als zuivere natuurlijke inspiratie het moost tot hun recht komen.

De knol-, buis- en wormvormige zandstenen zijn versteende bioturbaties: graafsporen van kreeftjes en wormen, waarna het sediment lichtjes anders evolueerde. Deze diagenese heeft het grove Brussel Zand aaneengekit met een zeer fijn chalcedoon - en kwarts cement tot een zandsteen met zeer wisselende porositeit en dus met uiteenlopende technische kwaliteiten (Afb. 5.5).

3.B VELDSTEEN

B. Fobe

Veldsteen wordt aangetroffen in West-Vlaanderen, meer bepaald in de regio Brugge-Tielt en in het gebied tussen Gent, Oudenaarde en Brussel (Afb. 5.6).

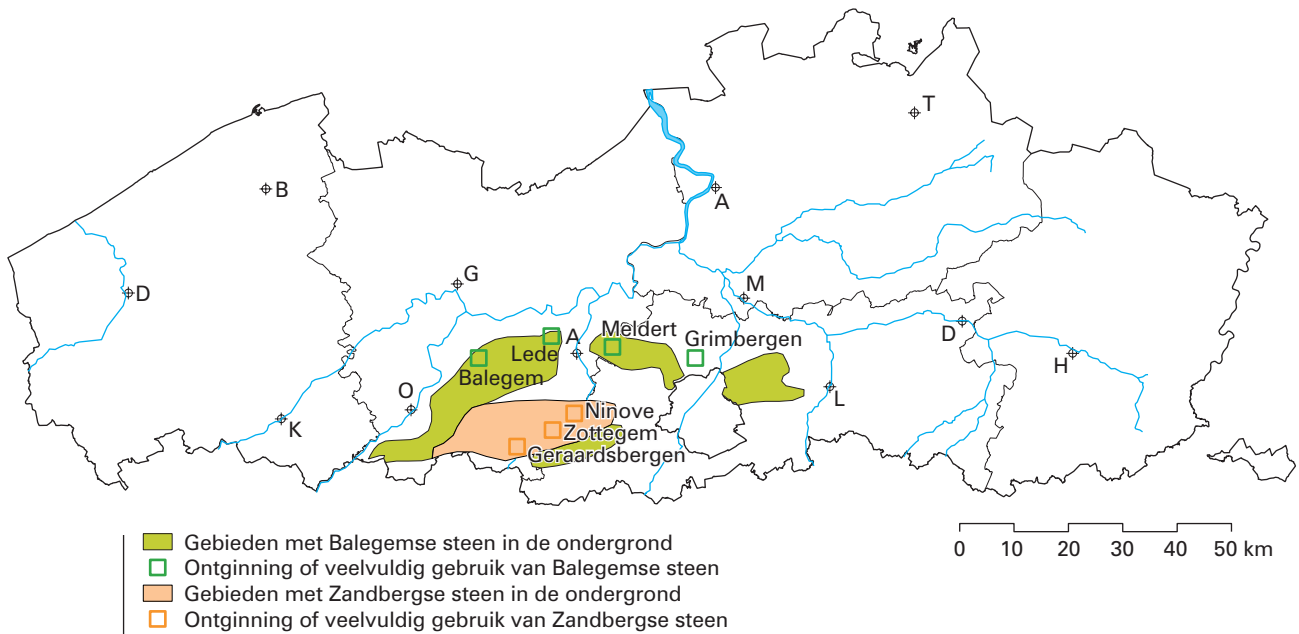
Veldsteen werd uitsluitend gebruikt in de nabijheid van de ontginningsplaatsen. Men kent geen aanwijzingen voor een systematische ontginning. Vermoed wordt dat veldsteen eerder onregelmatig werd ontgonnen als een bijproduct van zandgroeven en bouwputten.

Veldsteen vindt men voornamelijk terug in Romaanse of Vroeg-Gotische gebouwen of bouwfasen. Voorbeelden zijn de Sint-Salvatorkerk, de O.L.V.-kathedraal en de fundamente van de Sint-Donaaskathedraal in Brugge, de kerken van Maldegem, Vinkt, Hansbeke. Er zijn ook verschillende dorpskerken waarvan grote delen uit veldsteen zijn opgetrokken. Voorbeelden hiervan zijn de kerken van Aarsele, Lotenhulle, Pittem en O.L.V.-Lombeek. Tussen Oudenaarde en Geraardsbergen is veldsteen vermengd gebruikt met andere, al dan niet lokale bouwstenen: Balegemse en Zandbergse Kalksteen, ijzertzandsteen, Doornikse steen,... (voorbeelden hiervan vindt men in Sint-Martens-Lierde, Sint-Goriks-Oudenhove, Zegelsem, Rozebeke,...).

Veldsteen komt voor als steenbanken in klei of zand en wordt aangetroffen in verschillende afzettingen van Ieperiaan-ouderdom: de zandige Mont Panisel Klei, de Pittem Klei en het Vlierzele Zand.



AFB. 5.7 VELDSTEEN EN ARCHITECTUUR
Veldstenen muur van de kerk van Torhout.



AFB. 5.8 VOORKOMEN VAN BALEGEMSE EN ZANDBERGSE STEEN

Veldsteen is een groengrijze glauconiethoudende zandsteen met een kiezelcement, een variëteit van SiO_2 (kwarts). Veldstenen uit zandige afzettingen hebben een cement van opaal ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) en chalcedoon (cryptokristallijne kwarts). Steenbanken uit kleiige lagen hebben een minder dichte stapeling van zandkorrels en worden gecementeerd door opaal. Tussen beide types worden ook overgangsvormen aangetroffen.

Er is weinig onderzoek verricht rond de veldsteen. Wegens zijn kiezelcement ondervindt veldsteen weinig of geen schade van zure neerslag. Steenbanken in de groeven hebben soms last van vorstverwering. In gebouwen verwerkte gesteenten zijn, op enkele uitzonderingen na, zeer taai bij het bewerken en zeer stabiel (Afb. 5.7).

Zeldzame restauraties worden doorgaans uitgevoerd met het oorspronkelijk gesteente, dat dikwijls afkomstig is van zandgroeven of toevallige ontsluitingen.

3.C DE ZANDBERGSE STEEN

B. Fobe

Kenmerkend voor sommige Eocene zandlagen in België is het voorkomen van steenbanken bestaande uit een met kalkcement aaneengekit zand. De steenbanken kunnen tot 50 cm dik zijn. Ze werden in het verleden ontgonnen als "witte steen": de Balegemse en de Diegemse-Gobertingen steen. In de Denderstreek (regio Ninove-Geraardsbergen) en in de Vlaamse Ardennen tussen Geraardsbergen en Ronse, werd nog een derde soort witte steen gewonnen, de zogenaamde Zandbergse steen. Deze steen komt voor in het Mons-en-Pévèle Zand (Ieperiaan-ouderdom).

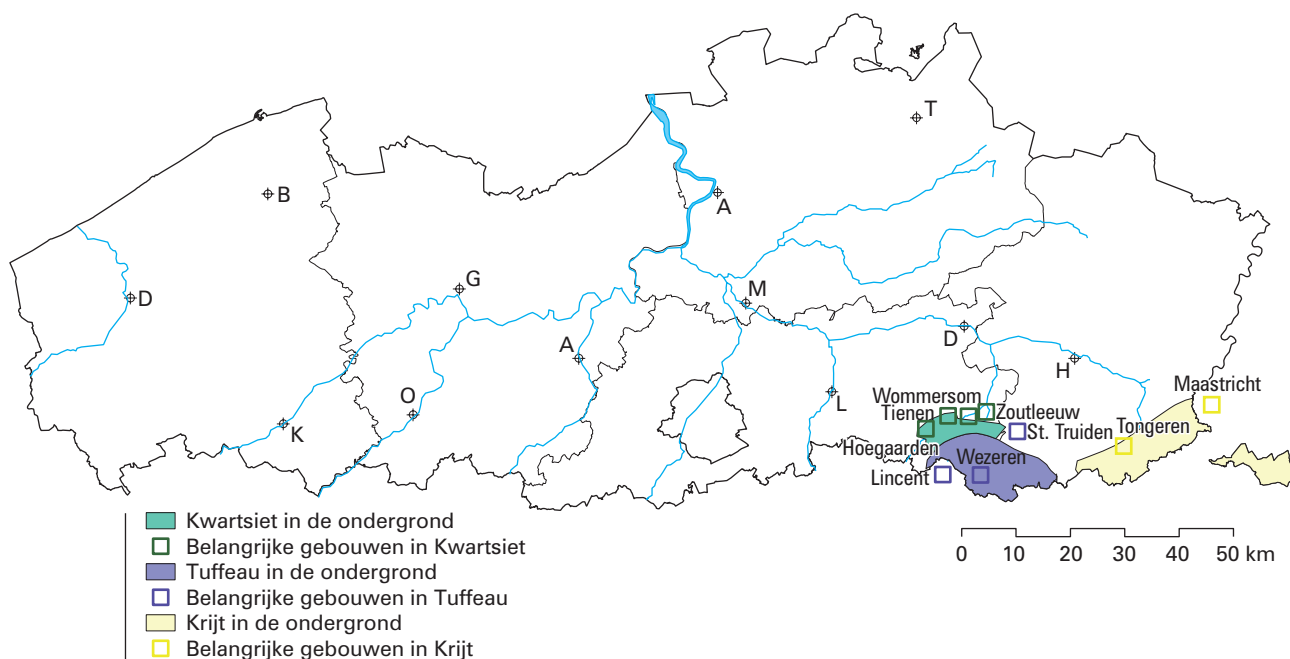
Het gesteente wordt niet meer aangetroffen in gebouwen van na 1800. De reserves zijn ook nooit het onderwerp van enige studie geweest (Afb. 5.8).

Zandbergse steen werd heel uitzonderlijk lokaal als bouw materiaal gebruikt. In die regio is het de meest



AFB. 5.9 VERWERING VAN ZANDBERGSE STEEN

Detailopname van de gehavende buitenmuren van de abdijkerk van Ninove. De nummulieten zijn met het blote oog zichtbaar als korrels in laagjes.



AFB. 5.10 VOORKOMEN VAN KWARTSIET, TUFFEAU EN KRIJIT

gebruikte natuursteen in veel historische monumenten. Er zijn gebouwen waar voor de buitenmuren vrijwel uitsluitend de Zandbergse steen werd aangewend. De steen komt in dit gebied ook samen met andere lokale bouwmaterialen voor zoals ijzerzandsteen, veldsteen, gesteenten van het Massief van Brabant...

Maar ook verder weg vindt men de Zandbergse steen terug, met name in het Schelde bekken. Het gesteente werd blijkbaar samen met partijen Balegemse steen tot in Middelburg, Diest, Herentals, Lier, Ieper en Brugge verscheept. Eigenaardig genoeg werd hij in het Zenne- en Dijlebekken niet gebruikt, hoewel hij ten oosten van de huidige Brusselse agglomeratie op ontginbare diepte kan worden aangetroffen.

Het cement van de Zandbergse steen bestaat uit calciet. Het meest opvallende kenmerk is de doorgaans massale aanwezigheid van nummulieten (*Nummulites planulatus*), een kalkschalig schijfvormig fossiel met een diameter van enkele millimeters. In gevelstenen zijn ze meestal in dwarsdoorsnede zichtbaar en lijken ze op rijstkorrels (zie het voorblad van dit hoofdstuk). Onder invloed van de sedimentatie-omstandigheden ontstonden afwisselend nummulietrijke en nummulietarme zones, wat in het gesteente aanleiding geeft tot een typische schakering van lichtbruine en okergele banden (Afb. 5.9).

Rond de Zandbergse steen is er nauwelijks onderzoek verricht. Net als de verwante Balegemse en Gobertangesteente kan worden verwacht dat de Zandbergse steen gevoelig is voor zure neerslag. Vooral de nummulietarme zones kunnen vorstgevoelig zijn.

Er bestaat geen specifieke restauratiesteen voor de Zandbergse steen. Het is evenwel niet uitgesloten dat de steen op identieke manier werd vervangen als de Bale-

gemse, dus door Gobertingen steen en nu door Massangis uit Frankrijk.

3.D HET ROMMERSOM KWARTSIET

G. De Geyter

Dit gesteente is naar een gehucht van Hoegaarden genoemd, dat ongeveer 3 km ten ZZW van Tienen is gelegen. In de vakliteratuur wordt het ook aangeduid als kwartsiet of zandsteen van Tienen, kwartsiet of zandsteen van Overlaar en "grès mamelonné".

Het Kwartsiet werd op verschillende plaatsen in Haspengouw gewonnen, vooral ten zuiden van Tienen (Afb. 5.10). Oude ontginningen worden onder meer vermeld in Overlaar, Bost, Goetsenhoven, Outgaarden, Hoegaarden en meer zuidelijk in de Waalse gemeenten Huppaye en Marilles.



AFB. 5.11 ROMMERSOM KWARTSIET
"Gemamelonneerd" oppervlak van het Rommersom Kwartsiet. Het blok is zowat een halve meter lang.



**AFB. 5.12 ROMMERSOM KWARTSIET
EN ARCHITECTUUR**
*Het romaans kerkje van Overlaar, ten zuiden
van Tienen.*

Het kwartsiet komt meestal voor als grote, losse, afgeronde blokken opgenomen in de basis van de Quartaire sedimenten. Veel blokken worden gekenmerkt door grillige lobvormige oppervlaktestructuren ("surface mamelonnée", Afb. 5.11) en sporadisch worden verkiezelde plantenwortels en verkiezelde houtfragmenten in het gesteente opgemerkt. Doorlopende steenbanken werden ontgonnen in Huppaye en Overlaar.

De laatste ontginningen van Rommersom kwartsiet, deze van Overlaar, werden in 1910 gesloten. Ze kregen vooral bekendheid als vindplaatsen van versteend hout. In de omgeving van Overlaar is het kwartsiet zeker nog aanwezig want bij de graafwerken voor de aanleg van de E40-autosnelweg werden steenblokken, plaatselijk geassocieerd met versteend hout, aangetroffen.

Het Rommersom Kwartsiet was in het Getebekken één van de belangrijkste bouwmaterialen van de Romaanse en Vroeggotische stijlperiodes. Vanaf de Hooggotiek werd het grotendeels door kalksteen van het nabijgelegen Gobertange verdrongen.

Het zwaartepunt van het kwartsietgebruik lag in Tienen zelf. Hiervan getuigen onder meer de thans verdwenen stadspoorten, de Romaanse westbouw van de Sint-Geranuskerk, de Vroeggotische begijnhofkerk, het

Romaanse kerkje van O.L.V.-Ter Steen van Grimde en de Romaanse kerk van Overlaar (Afb.5.12).

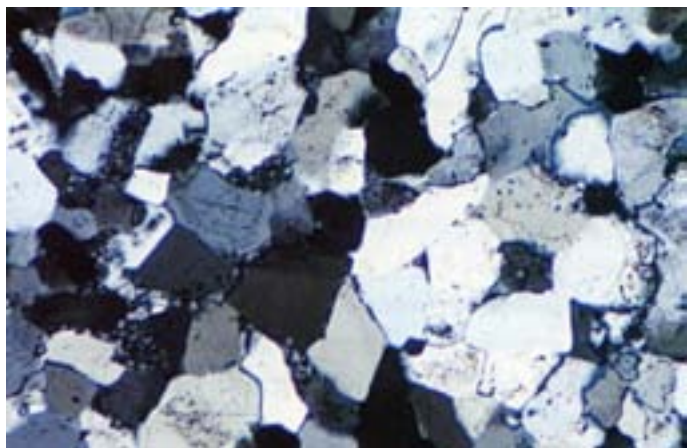
Ook in de omliggende dorpen treft men verschillende voorbeelden aan, zoals de kerken van Goetsenhoven, Oplinter en Hakendover, maar in deze monumenten is het kwartsiet meestal ondergeschikt aan de kalksteen van Gobertingen. Verder van Tienen neemt het belang van het kwartsiet vlug af. Vermeldenswaard zijn nog de Sint-Leonarduskerk in Zoutleeuw en de abdijtoren en begijnhofkerk in Sint-Truiden. Wegens hun grote hardheid werden de kwartsieten meestal slechts in massieve bouwelementen aangewend (gekapt in bijna vierkante blokken).

Het gesteente dateert uit de overgangperiode Paleoceen-Eoceen. Het wordt traditioneel tot de Formatie van Tienen (Boven-Landeniaan) gerekend maar op talrijke plaatsen werden ook verweerde mariene zanden van de Formatie van Hannut (Onder-Landeniaan) omgevormd tot kwartsiet.

Het grijze tot lichtgrijze gesteente wordt gekenmerkt door een kwartsiettextuur: de oorspronkelijke, sedimentaire kwartskorrels zijn door secundaire aangroei met mekaar vergroeid (Afb. 5.13). Dit verklaart de geringe porositeit en sterke cohesie van deze harde gesteenten. De gemiddelde korrelafmeting varieert tussen 0,125 en 0,250 mm. Aan de korrelcontacten worden plaatselijk kleinere (minder dan 0,030 mm), nieuw gevormde kwarts kristallen met goed ontwikkelde kristalvlakken aangetroffen. De kwartsieten bestaan nagenoeg uitsluitend uit kwarts (98-99 % SiO_2).

De Rommersom kwartsieten zijn zeer stabiele materialen maar door de grote hardheid zijn de toepassingen voor bouwwerken beperkt.

Het Wommersom Microkwartsiet, niet te verwarren met het Rommersom Kwartsiet, vertoont een sterk verschillende textuur: een beperkt aantal "grote" (van 0,050 tot 0,100 mm) hoekige kwartskorrels zijn in een fijnkorrelig (meestal kleiner dan 0,030 mm) kwarts cement ingebed. Dit gesteentetype, dat schijnbaar enkel in Wommersom wordt aangetroffen, op



**AFB 5.13 MICROSCOOP-OPNAME VAN
HET ROMMERSOM KWARTSIET**
*De ineengegroeide kwartskorrels hebben alle een
diameter tussen 150 en 200 μm .*



AFB. 5.14 DE GROEVE VAN BALEGEM

In de groevewand zijn de uitstekende steenbanken tussen het zand duidelijk zichtbaar.

6 km ten oosten van Tienen, vertoont enige gelijkenis met silex en heeft ook veelvuldig als grondstof voor prehistorische werktuigen gediend.

3.E HET MASSIEF VAN BRABANT

B. Fobe

Het Massief van Brabant bevat de oudste gekende gesteenten in de ondergrond van het Vlaams Gewest. Ze zijn van Cambro-Siluur ouderdom, tussen 540 en 410 miljoen jaar oud, en bestaan uit schiefers, zandstenen en enkele afzettingen van vulkanische oorsprong. Enkele rivieren in Midden-België hebben hun bedding tot op het Massief uitgeschuurd, zoals de Zenne tussen Halle en Lembeek en de Mark nabij Herne (Afb. 5.6).

In de Zennevallei zijn het Blanmont Kwartsiet en de Tubize Zandsteen ontsloten. Nabij de Meerbeek in Dworp is er een Steenputstraat nabij een ontsluiting van het kwartsietgesteente. De grootste steengroeven bevonden zich echter in de Dijle- en Getevalleien in Waals-Brabant (Blanmont, Dongelberg).

In de Zennevallei werd vooral de Tubize Zandsteen ontgonnen en als bouwsteen gebruikt. In Rodenem liggen er nog verlaten steengroeven langs het Kanaal Brussel-Charleroi. In Halle en Lembeek werden er verschillende gebouwen mee opgetrokken.

In de Markvallei werden donkergrijze schiefers voor lokaal gebruik ontgonnen (een oude groeve bestaat nog nabij de Lepershoeve), alsook een vulkanische afzetting, de zogenaamde "Euriet van de Mark", het enige vulkanisch gesteente op Vlaams grondgebied. Dit laatste is in de wegberm naast de spoorwegbrug over de Mark ontsloten, hoewel in sterk verweerde toestand. Voorbeelden van gebruik hiervan zijn de kerken van Sint-Pieters-Kapelle, Herne en Marcq.

Volledigheidshalve kan ook het gebruik van kwartsdioriet ("porfier") uit de groeve van Lessen worden vermeld. Het gesteente werd nabij de Dendervallei in enkele gevallen gebruikt als gevelsteen (o.m. de Sint-Bartholomeuskerk in Geraardsbergen).

Deze gesteenten werden voornamelijk als lokale bouwsteen gebruikt. Het betreft doorgaans resistente gesteenten. De Tubize Zandsteen werd aan het einde van de 19de en het begin van de 20ste eeuw omwille van zijn groene kleur als decoratieve parementsteen gebruikt.

Het Blanmon Kwartsiet bestaat uit een zandsteen, gecementeerd door kwartsovergroeiingen op de zandkorrels. Hierin komt een geringe hoeveelheid chloriet voor.

De Tubize Zandsteen bestaat uit kwartskorrels met daartussenin een cement van hoofdzakelijk kwarts. Het cement bevat ook een aanzienlijke fractie van het kleimineraal chloriet, dat het gesteente zijn groene kleur geeft.



**AFB. 5.15 BALEGEMSE STEEN
EN ARCHITECTUUR**
*Het stadhuis van Oudenaarde in restauratie:
een groot deel van de verweerde Balegemse
buitenbekleding is vervangen door Franse
Massangis steen.*

4 KALKZANDSTENEN

4.A BALEGEMSE STEEN

B. Fobe

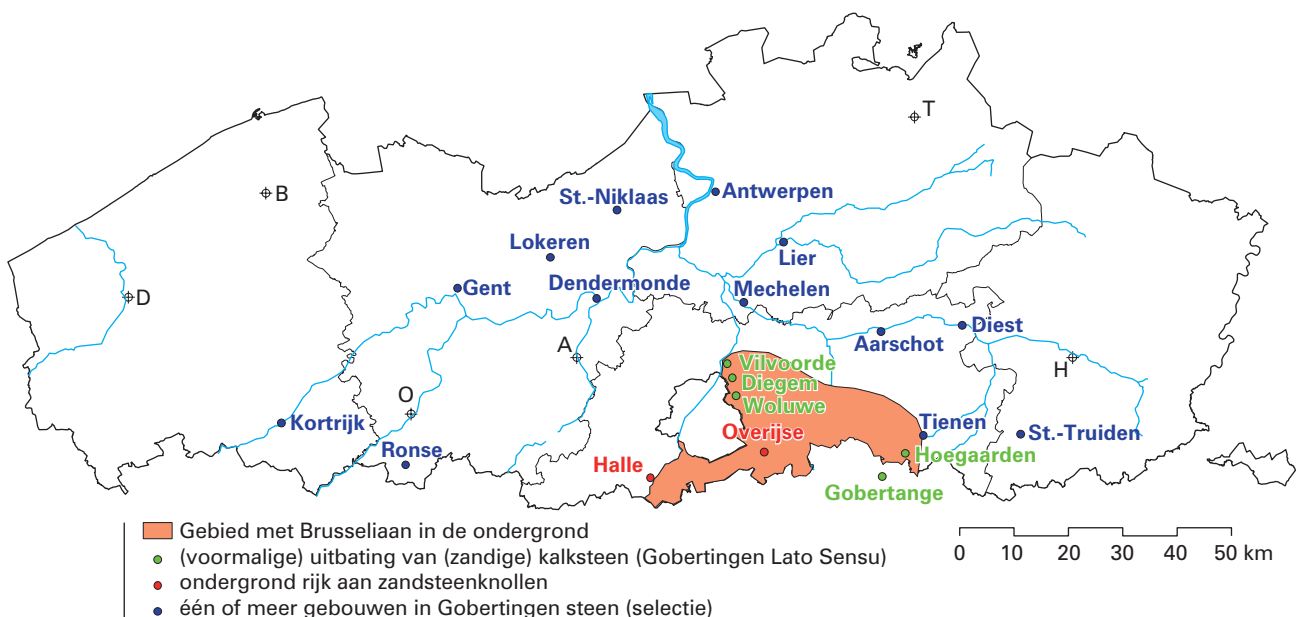
De term “Balegemse steen” wordt hier in zijn ruime betekenis gebruikt, namelijk steen uit de Formatie van Lede. De meeste ontginningen dateren van vóór 1800. Steengroeven waren gelegen in het gebied met Lediaan-ondergrond tussen Gent en Aalst, tussen Aalst en Brussel en in de toen nog niet verstedelijkte heuvels ten

oosten van Brussel (Afb. 5.8). Oude groeven zijn bekend in Balegem, Oosterzele, Lede, Bambrugge, Erpe-Mere, Meldert, Diegem, Ukkel, Oudergem,... Rond Brussel werd de steen in ondergrondse groeven ontgonnen.

De huidige reserves zijn vermoedelijk zeer klein. Men is aangewezen op toevallige vondsten om nog een veld Balegemse steen van degelijke kwaliteit te vinden. Alleen de zandgroeve van Balegem produceert nog wat steen (Afb. 5.14).

Balegemse steen werd sinds de Hoog-Gotiek vooral gebruikt voor kerken, kastelen, stadhuizen en patriciërswoningen maar werd vrijwel nooit verwerkt in kleinere boerderijen en woningen, schuren en dergelijke. Dit laatste in tegenstelling tot de Diegemse en de Gobertingensteen. De meeste gebouwen dateren van vóór de 19de eeuw. Nadien werd de Balegemse steen vooral in officiële gebouwen toegepast (vb. het St. Pietersstation en het seminarie van Gent). Omwille van zijn gevoeligheid voor zwaveloxidehoudende lucht werd de steen vanaf het midden van de 19de eeuw bij restauratiewerken op grote schaal vervangen door Gobertingensteen en tegenwoordig vooral door Massangis.

De Balegemse steen is een lichtgrijze, vrij homogene steen die een lichtgele patina aanneemt. Hij bestaat uit kalkfossielen die plaatselijk zeer talrijk kunnen zijn, wat glauconiet en een belangrijke zandfractie, alles met een fijn calcietcement aaneengekit. Het carbonaatgehalte varieert tussen 40 en 60%, de steen kan beschreven worden als een zandige kalksteen tot kalkhoudende zandsteen. De zandfractie is vrij karakteristiek samengesteld, met een



AFB. 5.16 VOORKOMEN VAN GOBERTINGENSTEEN

beperkt grof deel (korrels grover dan 500 µm) en een deel tussen 125 µm en 88 µm. Bij de Gobertingen en Diegemse steen varieert de korrelgrootteverdeling sterker van plaats tot plaats.

Tijdens de 19e en in het begin van de 20e eeuw werd Balegemse steen, die zeer gevoelig is voor verwerking ten gevolge van zure neerslag, vaak vervangen door Gobertangesteent. Momenteel wordt doorgaans Franse witte kalksteen (vooral Massangis steen) gebruikt (Afb. 5.15). De huidige groeve van Balegem kan nog een beperkte hoeveelheid steen leveren.

Balegemse steen werd geleverd in blokken met een lengte tussen 0.5 en 1.5 m, een breedte van 0.4 tot 1 m en een hoogte van 20 tot 250 cm. (bron: WTCB, Technische voorlichting 80). De druksterke bedraagt gemiddeld 826 kg/cm², de schijnbare volumemassa 2400 kg/m³, de porositeit 10.9% en de verzadigingscoëfficiënt 0.66. De productie is zeer gering, maar er bestaat wel een vrij belangrijke recyclage uit recuperatiemateriaal.

4.B DE KALKSTEEN VAN GOBERTINGEN

R. Nijs

In Waals-Brabant, ten westen van Geldenaken (Jodoigne), komt in de afzettingen van het Brusseliaan (Luteiaan, Midden-Eoceen), een typische Brabantse steensoort voor, waarvoor het gehucht Gobertange (Gobertingen) als type-localiteit geldt. De steenbanken strekken zich echter ondergronds ook noordwaarts langs de linkerflank van de Getevallei tot in Vlaams-Brabant uit, namelijk tot Hoegaarden en omgeving (Afb. 5.16). Anderzijds komt een haast identiek steensoort voor in de streek van Woluwe, Zaventem en Diegem (Diegemse steen). Het zijn twee variëteiten van eenzelfde steensoort van eenzelfde ouderdom.

De ontginning gaat op zijn minst tot de vijftiende eeuw terug, om in de negentiende eeuw haar hoogtepunt te bereiken. In het eerste kwart van de 20e eeuw echter werden haast alle exploitaties afgebouwd. Tegenwoordig is er nog één groeve in bedrijf in Mélin en zijn de talloze kleine vroegere winningen nog nauwelijks in het landschap te herkennen. Dit is ook niet verwonderlijk wanneer men bedenkt dat - vooral rond Gobertingen - de meeste ontginningen ondergronds waren: langs een centrale, verticale schacht werden de horizontale steenbanken losgewrikt en omhooggetakeld. Deze primitieve techniek heeft in de loop der eeuwen toch zeer indrukwekkende hoeveelheden steen opgeleverd.

Van oudsher werd de steen van Gobertingen (lato sensu, in de betekenis van Brusseliaanse kalksteen) in Oost-Brabant als parementsteen gebruikt (St.-Germanus in Tienen, St.-Leonardus in Zoutleeuw). Vanaf de 15e eeuw kende de steen ook elders een stijgend succes. Vilvoorde was daarbij de toegangspoort tot het rivierennet. Al bleef de Balegemse steen vanaf Brussel, en verder westwaarts, een geduchte concurrent - net zoals de Maastrichtersteen

ten oosten van Borgloon -, toch slaagde de Brabantse kalksteen erin zijn invloedssfeer noordwaarts uit te breiden via Antwerpen (kathedraal) en Breda (Grote Kerk) tot de Hollandse provincies: Rotterdam, Delft (stadhuis), Gouda, Leiden (Pieterskerk), Amsterdam (Oude Kerk), Alkmaar (St.-Laurenskerk).

Het hoogtepunt werd bereikt in de 19e eeuw, wanneer de sterke stedelijke expansie als gevolg van de industriële revolutie grote hoeveelheden steen voor nieuwbouw nodig had. Diezelfde industriële revolutie veroorzaakte ook het verval van veel historische gebouwen in Balegemse steen: de Gobertingensteen werd meteen het vervangingsmateriaal bij uitstek, tot ook hij niet immuun bleek voor sulfatactie ten gevolge van zwaveluitstoot door steenkoolverbranding.



AFB. 5.17 GOBERTINGENSTEEN: UITZICHT
Het typische patroon van de Gobertingen steen, met fijn gelaagde kalkbandjes, afgewisseld met onregelmatige verstoringen (bioturbaties). De dikte der stenen bedraagt ongeveer 10 centimeter.

De Gobertingen steen (lato sensu) komt voor in de bovenste zones van het Brussel Zand, in een reeks van minstens tien horizontale steenlagen, gescheiden door losse, zandige lagen. De steenbanken zijn zelden dikker dan twintig centimeter. De steen heeft een zeer karakteristiek uiterlijk (Afb. 5.17): fijne, grillige, witte sedimentaire kalkadertjes met zeer fijn cement wisselen af met lichtgrijze, glauconiet- en zandhoudende vlekken en gangen

(bioturbaties). Het microscoopbeeld toont een massa fossielfragmenten, kwartskorrels, wat glauconiet en veel calcietcement. Mineralogisch bestaat de steen uit ongeveer 80% CaCO₃ (calciet), 15% kwarts, minder dan 5% glauconiet en een paar procenten klei.

De afmetingen van de blokken bedraagt 100 tot 20 cm bij 50 tot 80 cm, met een hoogte tussen 15 en 22 cm (bron: WTCB, Technische Voorlichting 80). De productie kan tot 150 m³/jaar oplopen.



AFB. 5.18 DE LINCENT TUFFEAU EN ARCHITECTUUR

De St.Pieterskerk in Sint-Truiden: een mooi voorbeeld van het gebruik van de "tuffeau".

Zoals vermeld is de Gobertingen steen (l.s.) heel wat minder gevoelig voor "zure regen" dan de meeste andere (zandige) kalkstenen uit onze ondergrond. Toch kan hij in stedelijk-industrieel milieu zwaar aangetast worden, zodat vervanging noodzakelijk wordt. Dit gebeurt voor een deel met versgedolven Gobertingen steen, maar vooral met Franse kalksteensoorten, zoals Massangis steen, die echter nooit hetzelfde levendige sedimentaire patroon te zien geven en die zelden de juiste passende patina ontwikkelen.

4.C DE LINCENT TUFFEAU

G. De Geyter

De Lincen Tuffeau werd op verschillende plaatsen in Haspengouw ontgonnen, onder meer ten zuiden van Sint-Truiden (Afb. 5.10). De belangrijkste groeven waren gesitueerd op het grondgebied van de fusiegemeenten Orp-Jache en Hélécinne in Waals-Brabant en van Lincen en Hannut in de provincie Luik. In deze Waalse gemeenten werd het gesteente op grote schaal aangewend in monumenten en oude gebouwen, maar ook in het aansluitend deel van Vlaanderen werd plaatselijk met deze natuursteen gebouwd. Als belangrijkste voorbeelden kunnen hier vermeld worden:

- de Rijnlands-Romaanse Sint-Pieterskerk (Afb. 5.18) en de Romaanse Sint-Gangelofkerk in Sint-Truiden;
- het Laat-Romaans kerkje van Guvelingen, net ten noorden van Sint-Truiden;
- de Romaanse Sint-Amanduskerk van Wezeren nabij Walshoutem. Vermeldenswaard is hier ook het gebruik van Lincen Tuffeau in het "Merovingisch" altaar.

In het koor van de Romaanse kerk van Goetsenhoven kan nog wat tuffeau worden opgemerkt, maar dit gesteente

wordt niet meer aangetroffen in de kerk van Wange die in baksteen herbouwd werd in 1972, noch in het Vroeg-Gotisch kerkje van Hoksem bij Tienen, waarvan de buitenmuren volledig zijn opgetrokken in Gobertingensteen.

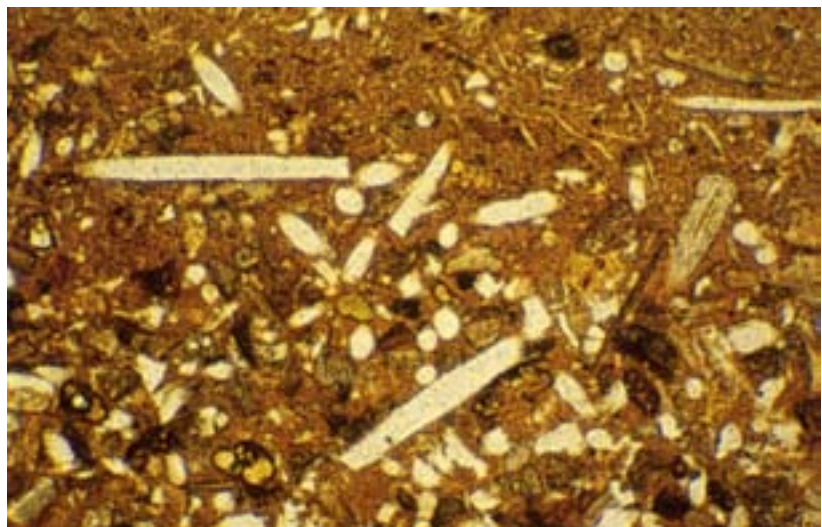
De Lincen Tuffeau werd tot in een recent verleden ontgonnen als vuurvaste steen voor de bekleding van broodovens.

Het gesteente dateert uit het Laat-Paleoceen (Formatie van Hannut of "Onder-Landenaan").

Het is een zachte, poreuze, grijsgele, kiezelrijke kalksteen. Het gesteente bevat weinig kwartskorrels, veel kalkfossielen

(foraminiferen, mollusken en echinodermen) en talrijke regelmatige holten (tot 25 volume %) die ontstaan zijn door oplossing van het opaalskelet van sponzen (Afb. 5.19).

Deze holten zijn plaatselijk opgevuld met chalcedoon.



AFB. 5.19 MIKROSKOOPFOTO VAN LINCEN TUFFEAU
Noteer de talrijke holten, ontstaan door oplossen van de naalden van kiezelsponzen (in lengte- en dwarsdoorsnede; de lengte bedraagt zowat 400 micron). Altaar van Wezeren bij Landen.

Glauconiet is steeds aanwezig maar het aandeel varieert. Het cement bestaat uit een associatie van opaal, microkristallijn calciet en kleimineralen, met opaal als hoofdbestanddeel. Het totale carbonaatgehalte ligt meestal tussen 25 en 50%.

Het belangrijkste nadeel van het gesteente is de sterke vorstgevoeligheid: de Lincent Tuffeau heeft erg te lijden van oppervlakkige afbrokkeling en is daarom weinig geschikt voor gebruik in buitenmuren. Voor restauratie wordt meestal Maastrichtersteen gebruikt (ook bekend als Maastricht Mergel, Tuffeau of Krijt).

5 KRIJTSTEEN

F. Gullentops

Het gewone krijt is te zacht en verveert te gemakkelijk door vorstwerking om als bouwsteen te dienen. Bij Avesnes in Noord-Frankrijk echter komt een sterker aaneengekitte krijtlaag voor waarmee lokaal werd gebouwd. Vlaamse bouwmeesters gebruikten de langs de Schelde gemakkelijk aan te voeren Avenner steen in de 15de eeuw onder andere in Oudenaarde en in Leuven. In de gevel van het stadhuis werd al het beeldhouwwerk met deze steen uitgevoerd. Na enkele jaren begonnen de verbrokkelingsproblemen en werden tevergeefs allerlei conserveringstechnieken beproefd, zoals het insmeren met lijnolie dat een natuurlijk polymeer vormt. Toch blijft deze krijtsteen intact indien het beschermd wordt van weer en wind, zoals de Sacramentstoren in de Sint-Pieterskerk in Leuven aantoont.

5.A MAASTRICHT KORRELKRIJT

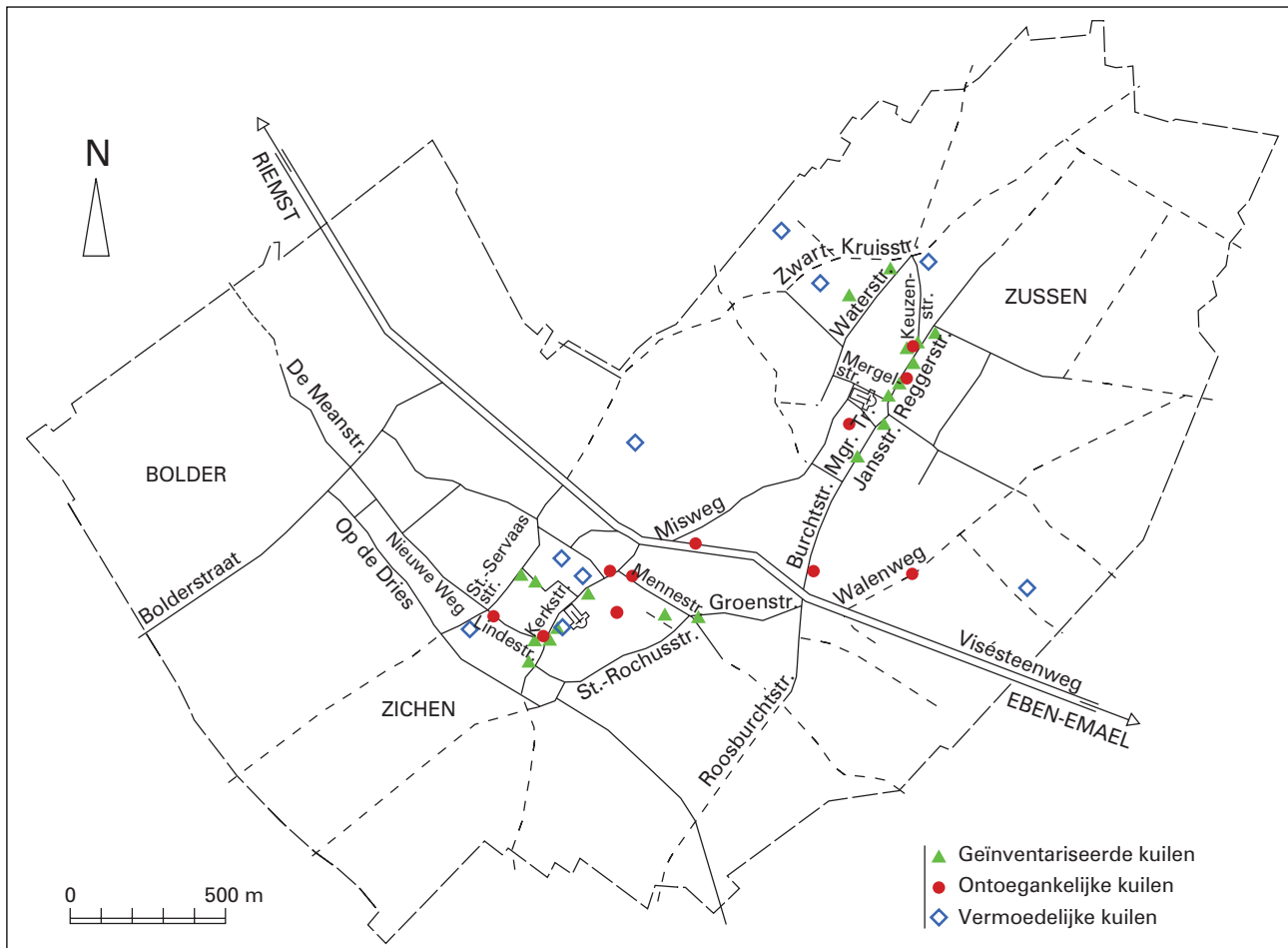
De Krijt-periode eindigde met een ondiepe zee waarvan de afzettingen nu dagzomen in het zuiden van de beide Limburgen. Grote hoeveelheden fragmenten van skeletdelen van organismen zoals schelpen, zee-egels, mosdiertjes, foraminiferen, enz., werden door de golven vermalen en door de stromingen gesorteerd zoals zand. Net zoals de hedendaagse strandzanden van de Bahama's bestond dit zand dus zuiver uit kalkkorrels. Dit zand is daarna slechts aan geringe samendrukking onderhevig geweest. De latere Tertiaire afzettingen stapelden zich immers vooral in het westen van Vlaanderen op. Slechts tijdens het Oligoceen en het Mioceen strekte de Noordzee zich opnieuw over het gebied van Maastricht uit. Men kan aannemen dat het korrelkrijt maximaal onder slechts 50 m sedimenten werd begraven, onder een gewicht van hooguit 10 kg/cm². Door dit gebrek aan lithostatische druk bleef de porositeit zeer hoog.

De skeletfragmenten van CaCO₃ bestonden overwegend uit het mineraal calciet en slechts heel weinig uit de kristalvorm aragoniet. Deze is onstabiel, lost gemakkelijk op en slaat dan neer als calciet, dat de korrels aaneenkit. Omdat er weinig aragoniet voorhanden was, werd het kor-



AFB. 5.20 ONTGINNING VAN MAASTRICHT KORRELKRIJT

Blokken Maastricht Korrelkrijt werden uitgezaagd volgens galerijen met in achtnaam van pijlers die het dak schraagden



AFB. 5.21 INVENTARISATIE VAN DE ONTGINNING VAN KORRELKRIJT IN DE STREEK VAN ZICHEN-ZUSSEN-BOLDER
In Zichen-Zussen-Bolder werd het korrelkrijt voor de bouw van de hoeven veelal onder het huis zelf ontgonnen.

relkrijt daardoor slechts in zeer geringe mate aaneengekit. De weinige, uit aragoniet opgebouwde schelpjes blijven nu als holten over. Het korrelkrijt dankt aan dit geologisch verleden al zijn eigenschappen.

In de verse groevewand is het korrelkrijt erg broos. Mede door de geringe hardheid van het mineraal calciet, kan het gemakkelijk met een gewone stalen zaag in blokken worden gezaagd. Eén laag was daarvoor bijzonder geschikt. Ze bevatte geen vuursteenknollen, en werd daarom ondergronds in galerijen ontgonnen (Afb. 5.20). De blokken zijn bijzonder licht, met soortelijk gewicht van 1,3-1,4 g/cm³. Calciet heeft een soortelijk gewicht van 2,7 g/cm³ zodat de porositeit ongeveer 50% bedraagt. De poriën tussen de korrels nemen zowat 30% in, de rest bestaat uit holten in de skeletdeeltjes zelf van bijvoorbeeld mosdierpjes en foraminiferen. Niet alleen zijn de blokken daardoor gemakkelijk te verhandelen, maar danken ze hieraan bovendien hun uitstekende isolerende eigenschappen. De verwonderlijk goede vorstbestendigheid zal ook door deze dubbele poriënstructuur te verklaren zijn, al speelt ook de totale afwezigheid van klei hierbij een rol.

Een ander gevolg hiervan is de zeer geringe drukweerstand die tussen 4 en 30 kg/cm² varieert. Theoretisch is deze te laag om er de toren van de O.L.-Vrouwekerk van

Tongeren mee te bouwen. Gelukkig werken de weersomstandigheden hier een handje mee. Bij iedere bevochtiging door neerslag lost wat kalk op die bij het drogen aan het oppervlak neerslaat. Daardoor verhardt de buitenkant van de steen, wat de draagkracht ten goede komt. Waar dit harde laagje beschadigd is, ziet men aan de binnenkant het mulle kalkzand. Dit verhardingsproces vergt echter tijd maar kon zich dankzij de toenmalige trage bouwtechnieken toch voltrekken. Die globaal zachte eigenschappen liggen verwoord in de lokale benaming "mergel" waarmee in beide Limburgen het gesteente wordt aangeduid. Wetenschappelijk gebruikt men die term alleen voor zachte klei-rijke kalken.

In het korrelkrijt komen ook banken voor die veel compacter zijn, met een soortelijk gewicht tot 2 g/cm³, de zogenaamde "tauwlagen". Ze ontstonden doordat de sedimentatie tijdelijk werd onderbroken en de zeebodem door allerlei organismen werd doorwoeld. Oplossing en neerslag veroorzaakten verharding. De tauwlagen zijn zelden dikker dan 50 cm en de onregelmatige structuur is, ondanks de hogere drukweerstand, een nadeel.

Het korrelkrijt werd zonder twijfel reeds tijdens de Romeinse periode intensief ontgonnen. Talrijke kerken, van Tongeren tot Bree, zijn ermee opgetrokken. In het

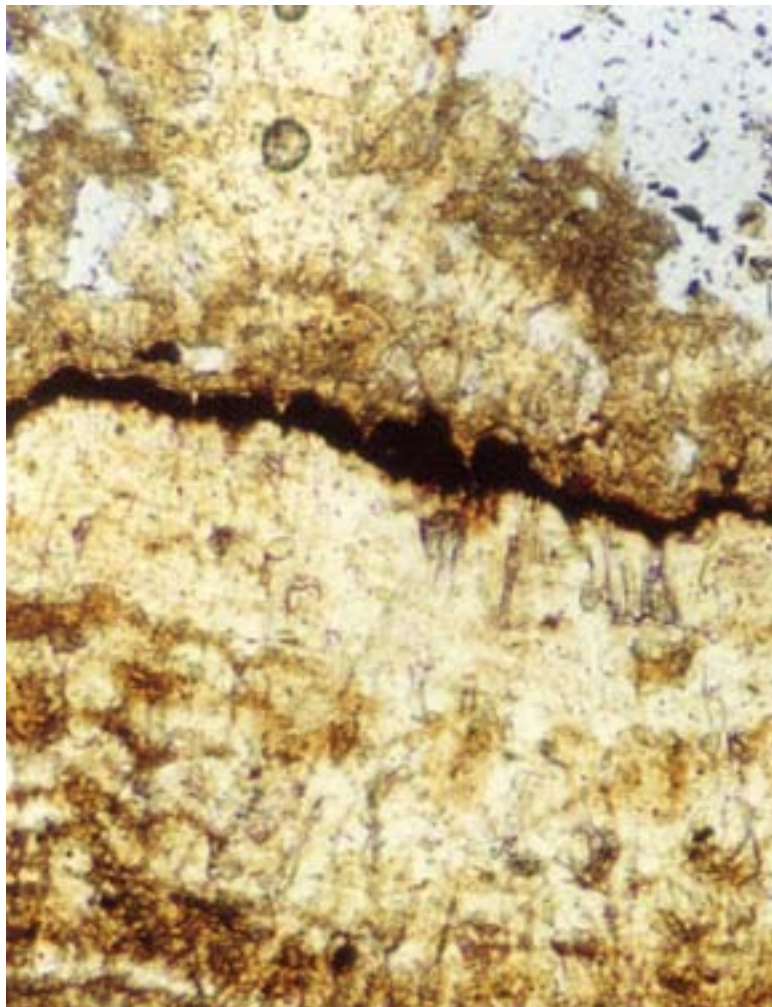
ontginningsgebied zijn er later nog veel hoeven en huizen mee gebouwd (Afb. 5.10). De ondergrondse galerijen van Zichen-Zussen tonen de deskundige wijze van ontginnen, waarbij pijlers het dakgewicht blijven schragen (Afb. 5.21). Het zwaartepunt van de ontginning lag echter in Nederlands Limburg, waar nog steeds wordt ontgonnen, hoofdzakelijk voor restauratiedoeleinden. De bouwtechnische eigenschappen van de verschillende lagen zijn er ook beter gekend. Gezien de nog aanzienlijke voorraad korrelkrijt in het Vlaams Gewest bestaat de nood aan een grondige alomvattende studie.

5.B KALKTUF

Kalktuf is een kalksteen die uit zoet water wordt neergeslagen, net zoals bij de vorming van ketelsteen. Regenwater bevat koolzuurgas, CO_2 , opgenomen uit de lucht en, meer nog, uit de humus van de bodem. Daardoor is regenwater licht zuur en kan het kalk als bicarbonaat oplossen. Bij het verwarmen van kalkhoudend grondwater ontsnapt een deel van het koolzuurgas en slaat

een equivalente hoeveelheid kalk neer. Dit is het geval bij meestal koud grondwater, bij een gemiddelde temperatuur van 11°C , wanneer dit 's zomers in een bron aan de oppervlakte komt. Waterplanten nemen ook nog CO_2 op zodat dus heel wat kalk neerslaat in lagen, meestal rond aanwezige plantenresten (Afb. 5.22).

Na de laatste ijstijd was Midden-België bedekt door een mantel kalkhoudende Brabant Loess. Met de heropbloei van de plantengroei begon ook de ontkalking en leverden de talrijke bronnen een neerslag van kalktuf. Het is dus het scheikundig equivalent van de neerslag van moerasijzererts in de Kempen. Deze moeraskalk is in Midden-België in vrijwel alle dalbodems aanwezig, soms verscheidene meters dik. Dit is vooral het geval in het beneden-Jekerdal omdat de Jeker de krijtgesteenten van Haspengouw draïneert en dus zeer kalkrijk is. Door het latere leemalluvium werd de kalktuf soms diep begraven. In vroege bouwwerken is kalktuf gebruikt, maar waarschijnlijk is die afkomstig uit de Condroz waar aanzienlijke lagen beter aaneengesloten kalktuf voorkomen.



*Afb. 5.22 MICROSCOOP-OPNAME VAN KALKTUF
In fluorescentiemicroscoop wordt de gelaagde neerslag
zichtbaar die het travertijn opbouwt*

ZANDSTEENONTGINNINGEN IN HET NOORDWESTEN VAN DE BRUSSELSE REGIO DOOR DE EEUWEN HEEN

Stephan van Bellingen

Sinds de mens op de aardbol verscheen, heeft hij behoefte gehad aan werktuigen, en in onze gewesten ook aan een dak boven het hoofd. Het spreekt voor zich dat hij in de eerste plaats de materialen ging aanwenden die hij in zijn vertrouwde omgeving kon vinden. Hout en steen hebben dan ook een voor-aanstaande rol gespeeld in de ontwikkeling van de beschaving. Tijdens archeologische opgravingen is het eerder uitzonderlijk om objecten aan te treffen die gemaakt zijn uit organisch materiaal. Steen daarentegen is heel wat beter bestand tegen de diverse natuurlijke afbraakprocessen en de oudst gekende voorwerpen zijn dan ook uit steen (bv. silex) vervaardigd. In de loop van de geschiedenis is de mens gaan inzien dat bepaalde steensoorten omwille van hun hardheid, hun bewerkbaarheid of structuur beter geschikt waren voor het maken van bepaalde voorwerpen of het bouwen van huizen. Niet alle streken bevatten in hun ondergrond steen, wat tot gevolg had dat reeds zeer vroeg bepaalde steensoorten werden verhandeld, soms over vrij grote afstand. Hierdoor kwam stilaan de mijnbouw op gang.

De ondergrond van een groot deel van Vlaams-Brabant bevat diverse steenlagen die tijdens het Tertiair ontstonden, zoals de kalkzandsteenbanken van het Lediaan.

De kalkzandsteen van het Lediaan werd tijdens de Gallo-Romeinse periode en de middeleeuwen stelselmatig ontgonnen. Dit heeft onder meer in het noordwesten van het Brussels Gewest en in de streek van Asse duidelijke littekens in het landschap nagelaten. Een mooi voorbeeld hiervan treffen we aan in het Koning Boudewijnpark te Jette (Brussel).

Tijdens de jaren 1968-1971 werd in de Bosstraat te Jette een Gallo-Romeinse villa opgegraven die gedateerd kan worden in de periode 2de eeuw/1ste helft derde eeuw. De kleine landelijke woning was opgetrokken uit regelmatig gekapte zandsteenblokken die in de onmiddellijke omgeving werden ontgonnen. Op het einde van de 11de eeuw werd in het noorden van de gemeente Jette de abdij van Dieleghem opgericht. De monniken die zich in het open landschap kwamen vestigen, ontdekten zeer snel de aanwezigheid van de Lediaanse steenlagen in de ondergrond - op sommige plaatsen dagzoomden deze lagen - en maakten hiervan gretig gebruik bij de constructie van kloostergebouwen. Niet alleen ontgonnen zij de groeven die vlakbij de abdij waren gelegen, maar ook de restanten van de Gallo-Romeinse villa moesten het voor een deel ontgelden. De abdij van Dieleghem is geen alleenstaand voorbeeld, ook andere grootgrondbezitters baatten hun ondergrond uit. Wel valt op te merken dat talrijke gebieden die voor de ontginning van zandsteen in aanmerking kwamen, in het bezit waren van kerkelijke instellingen.

De monniken van Dieleghem zagen al zeer snel in dat het ontginnen en het verkopen van de steen, die volgens Sanderus van

een goede kwaliteit was en zowel voor architectuur als voor het maken van beeldhouwwerken kon worden aangewend, lucratief kon zijn. De oudste bewaarde getuigenis betreffende de verkoop van stenen uit Dieleghem gaat terug tot 1435, voor de levering van stenen te Mechelen voor de bouw van de O.L.V.-over-de-Dijlekerk. Voor de export van de grondstof werd gebruik gemaakt van de toen nog bevaarbare Zenne. De Zenne diende trouwens ook voor het transport van stenen ontgonnen in andere Brusselse gemeenten zoals Schaarbeek en Evere.

De eerste helft van de 16e eeuw blijkt een hoogtepunt te zijn in de exploitatiegeschiedenis van de Jetse steengroeven. In 1533 leverde de abdij onder meer bouw materiaal voor de constructie van de Kapel van het H. Sacrament in de Sint-Michielskathedraal in Brussel. De godsdiensttroebelen in de tweede helft van de 16de eeuw zouden de productie sterk doen afnemen. In dezelfde periode blijkt de abdij de ontginningen uit handen te geven en te laten uitvoeren door derden die echter nog steeds in opdracht van het klooster werken. De slechte financiële toestand van de abdij verbeterd in het begin van de 17de eeuw enigszins, onder andere door de belangrijke leveringen voor het nieuwe Jezuïetenklooster en bijbehorend college in Brussel. De beschietingen van Brussel in 1695 door de troepen van Maarschalk de Villeroy zijn een zware klap voor de abdij. Een groot deel van de bezittingen en de archieven van het klooster, alsook die van de kerken en kapellen die door de abdij werden bediend, waren immers 'in veiligheid' gebracht in het refugium dat de abdij in de stad bezat en verdwenen in de vlammenzee. Ondanks de benarde financiële situatie vat men in 1748 het plan op om de abdij te renoveren. Uit enkele archiefstukken blijkt dat de Jetse groeven niet voldoende stenen meer konden opbrengen en dat bouwmaterialen werden aangekocht in Neder-Heembeek. Een gedeelte van de niet renderende steen groeven werden in die periode bebost en gaven aldus het ontstaan aan de drie Jetse bossen die thans in het Koning Boudewijnpark zijn gegroepeerd. Het definitieve einde van de abdij komt er op 10 november 1792 wanneer ze wordt afgeschaft en de bijhorende steengroeven worden gesloten.

Hoe de ontginning van de stenen exact gebeurde, wordt in de archivalia niet vermeld, maar de talrijke, diepe uitgravingen die bijvoorbeeld in het Dieleghembos te Jette te zien zijn, geven te kennen dat dit in dagbouw gebeurde. Elders in de Brusselse regio werden echte mijnschachten gegraven en deze gaven in het verleden enkele malen aanleiding tot zware verzakkingen. Ondanks het feit dat in een grootstad als Brussel, maar soms ook op het platteland, van deze ontginningen weinig tastbare getuigen zijn overgebleven, getuigen een aantal toponiemen als 'Steenput', 'Steenpoel', enz. van deze vervlogen activiteiten.

Verdere Lectuur:

In de Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie werd een speciale editie gewijd aan de bouwstenen (1990, volume 99-2).

Ook de eerder vernoemde jubileum uitgave daterende uit 1947 van de Association des Ingénieurs sortis de l'Ecole de Liège behandelt onder meer het thema bouwstenen.

Voor de provincie Nederlands Limburg werd in 1989 een speciale editie uitgebracht van Grondboor en Hamer (volume 43, ed. Rademakers) getiteld "Delfstoffen in Limburg".

Daarnaast vermelden we nog:

Breuls, T. (ed.), 1994 - Mergelgrotten, het onbekende landschap, Riemst, 52 pp.

Fobe, B., 1990 - Over de oudste gesteenten in de Nederlanden. Monumenten en Landschappen, 9 (1), p. 57-62

Gendel, P., 1982 - The distribution and utilisation of Wommersom quartzite during the Mesolithic, in Gob, A., en Spier, F., (ed.), Le Mésolithique entre Rhin et Meuse. Soc. Préhistorique Luxembourgeoise, Luxembourg: p. 21-50.

Gulinck, M., 1949 - Oude natuurlijke bouwmaterialen in Laag- en Midden-België, Techn. Wet. Tijdschr., 18/2: p. 25-32.

Gullentops, F. en Bouckaert, J., 1992 - Geologische stadswandeling door Leuven, Dienst Toerisme Leuven, 48 pp.

Gullentops, F., en Mullenders, W., 1972 - Age et formation de dépôts de tuf calcaire holocène en Belgique, Congr.Univ.Liège, 67, p. 113-135.

Leriche, M., 1927 - La "Pierre d'Avesnes" (Avendersteen) dans les anciens monument de la Belgique, Bull. Soc. belge. Géol., 37, p. 65-71.

Nijs, R., 1980 - Identification de la Pierre de Balegem au moyen de la distribution granulométrique de la fraction sableuse, Commission Royale des Monuments et des Sites, 9, p. 33-37, Brussel.

Nijs, R., 1988 - Petrografisch onderzoek van het "Merovingisch Altaar" van Wezeren, Monumenten en Landschappen, 7e jaargang, 3: p. 42-47

Nijs, R., en De Geyter, G., 1984 - Het Kwartsiet van Tienen: petrografische kenmerken en gebruik als bouwsteen. Monumenten en Landschappen, 3e jaargang, 5: p. 20-29.

Nijs, R., en De Geyter, G., 1985 - De l'usage architectural et des caractères pétrographiques du tuffeau de Lincet, Bull Comm. Roy des Monuments et des Sites, 12: p. 59-69.

Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB). Witte Natuursteen. Technische Voorlichting, 80. Brussel.

ENERGIE



Het winnen van energie was een vroegtijdige bekommernis van de mensheid. Het aanmaken en bewaren van vuur was één van haar voornaamste ontdekkingen, cruciaal om te overleven tijdens de ijstijd. Potten konden nog met een houtvuur gebakken worden, om ertsen te reduceren tot brons en ijzer was echter houtskool vereist. Voor de bevoorrading van de groeiende steden bood het lichte houtskool een vervoervoordeel. Rond en in het Zoniënwood zijn de ronde, zwarte sporen die men op diverse plaatsen terugvindt, middeleeuwse getuigen van de intense houtskool-branderijen. Vanaf de feodale tijd werd het verval van de rivieren door opeenvolgende watermolens optimaal benut. En ieder dorp bezat zijn windmolen, een technologie die in Vlaanderen zo grondig werd ontwikkeld, dat ze in de 16de eeuw, tijdens de Spaanse bezetting, naar Spanje werd uitgevoerd, en in de 17de eeuw door Peter de Grote naar Rusland.

Bevolkingstoename en overdadige ontbossing voor landbouw en brandstof veroorzaakten stilaan een energiecrisis vanaf de 11de eeuw. Daarom werden de ontbossing en de houtaanpak door de toenmalige grootgrondbezitters gereguleerd. Vandaar leerde men de fossiele brandstoffen te gebruiken. Duizenden hectaren veen werden gestoken en verhandeld voor de steden in het Noorden, voor Antwerpen in het bijzonder. Tijdens de 13de en 14de eeuw werd steenkool die in de valleien van Sambre en Maas dagzoomt, ontgonnen en als brandstof gebruikt door de “manants” (letterlijk boerenkinkels). Later werd de steenkool met karren naar Brussel uitgevoerd.

In het begin van de 19de eeuw was een kanalenet ontwikkeld om deze nieuwe grondstof over het hele land te verdelen. België was het tweede land ter wereld, na Groot-Brittannië, waar de industriële revolutie plaatsgreep. Stoommachines aangedreven door steenkool stelden het jonge koninkrijk in staat om een grootschalige, gemechaniseerde produktie op gang te brengen. De “Géographie Universelle” van 1837 vermeldt dat België met 20.000 PK over één derde meer vermogen beschikte dan heel Frankrijk. De rol van de steenkool in de groei van het “kleine” België tot een industriële macht kan niet worden overschat, zomin als de ontginning van de steenkool uit het Bekken van de Kempen die tijdens de twintigste eeuw vooral Vlaanderen ten goede kwam.

Deze rijkdom is nu opgedroogd en de nieuwe energie, aardolie en -gas, is blijkbaar aan ons voorbij gegaan. In een wereldeconomie lijkt het eenvoudig te kopen waar er overvloed is. Hoewel de bekende voorraden enorm zijn, zullen ze op een dag opgebruikt zijn. Het is derhalve noodzakelijk om onze ondergrond verder te verkennen. Misschien zit er ergens toch wat gas! In ieder geval is nog geen tiende van de tot hiertoe bekende steenkoolvoorraden uit het Bekken van de Kempen met de conventionele methoden ontgonnen. Nieuwe ontginningstechnologieën zullen zeker door toekomstige generaties ontwikkeld worden.

De eigen aardwarmte kan in ieder geval meer worden aangesproken.

De ondergrond kan natuurlijke opslagruimtes voor gas leveren, of bergruimte voor radioactief afval. Indien stralingsrisico volledig beheerst kan worden, blijft nucleaire energie inderdaad onontkoombaar als energiebron voor de mens.

1 TURF EN LIGNIET

F. Gullentops

1.A ONTSTAAN

Veen wordt gevormd door de opstapeling van afgestorven plantendelen in moerassen of ondiep water waardoor ze van de lucht worden afgesloten en hun ontbinding erg vertraagt. Als de opstapeling snel genoeg verloopt, kunnen ze zelfs aan humificatie ontsnappen en herkenbaar bewaard blijven. Fossiel veen wordt turf genoemd, zeker wanneer het opgedolven is en gedroogd.

Verlandingsveen in plassen en meren begint met waterplanten die aan de ondiepere rand worden gevolgd door o.a. lis en riet. Het eindigt boven het waterniveau met begroeiing door els en wilg.

Moerasveen integendeel ontstaat bij stijging van de watertafel en begint met moerasbos dat geleidelijk verdrongen wordt o.a. door zeggen en mosgroei. Bij overstroming worden slijk en minerale voedingsstoffen aangevoerd.

Hoogveen bestaat bijna uitsluitend uit veenmos dat boven de watertafel uit kan groeien, buiten het bereik van overstromingen en alleen voldoende regenval en luchtvochtigheid nodig heeft om te blijven groeien.

Naargelang zijn vorming zal veen dus uitsluitend uit puur cellulose opgebouwd zijn, of wisselende hoeveelheden slijk bevatten, en minerale zouten hebben opgenomen uit het water. Dit bepaalt zijn eigenschappen en zijn gebruik.

Turf werd op grote schaal gestoken als brandstof toen in de Middeleeuwen de ontbossing toenam en de steden groeiden. Wegens het kaliumgehalte werd de asse, en nog meer de rijkere houtasse, verhandeld als meststof en aange-

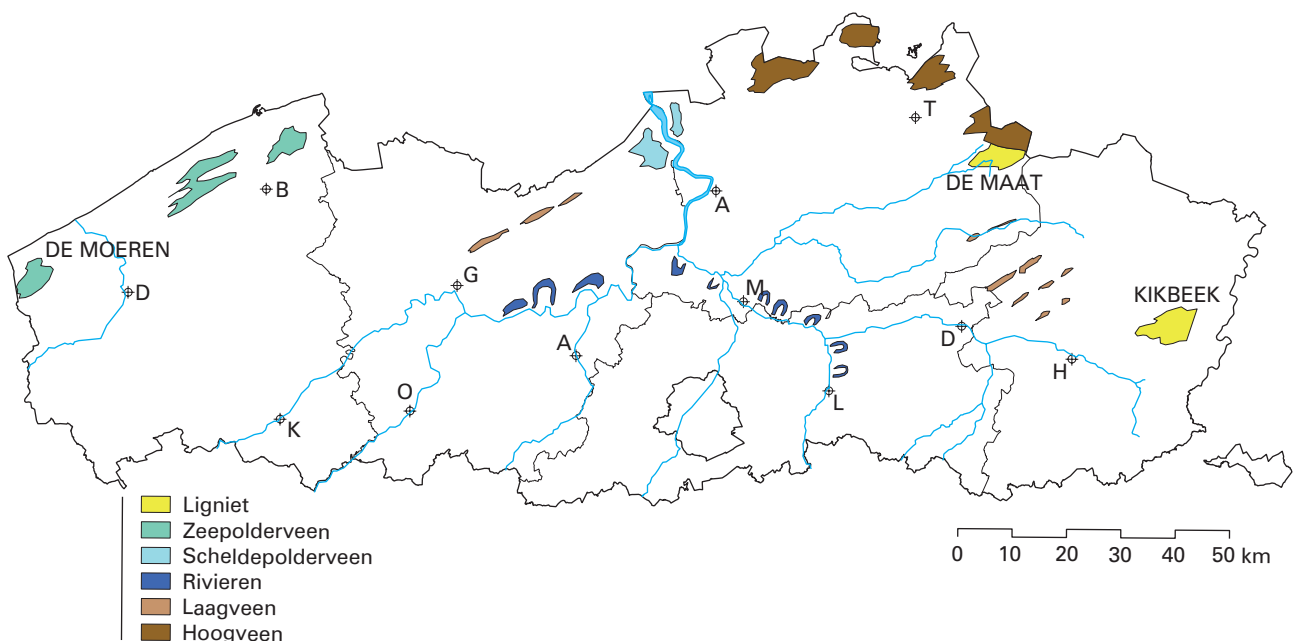
wend voor de bereiding van loog voor de zeepziederijen. Als tuinturf en afgeleide producten is vooral het mosveen gegeerd.

1.B TURF: VOORKOMEN EN ONTGINNING

Drie gebieden hebben in het verleden zeer veel turf geleverd.

De kustvlakte werd moerasig door het snel stijgen van het zeepil na de laatste ijstijd, zodat moerasveen afwisselde met zee-inbraken. In de paar millennia voor Christus ontwikkelde zich het zeer algemene en dikkere oppervlakteveen. Tijdens de latere Duinkerke overstromingen vooral vanuit de mondingen van IJzer en Zwin wordt door diepe getijdereken een deel van dit veen weggeslagen en bedekt door de polderkleien. Op de meest landinwaartse gedeelten, de Moeren, is het veen blijven doorgroeien en was de latere ontginning het gemakkelijkst en het volledigst. Elders werd het "moer" gedeeltelijk in langgerekte percelen opgedolven onder de klei. Uit zouthoudend veen werd zeezout gewonnen, mede door verdamping van zeewater. Men mag ramen dat zeker 200 miljoen m³ "moer" werd ontgonnen (Afb. 6.1).

Door de drastische klimaatsverbetering na de laatste ijstijd ontstond een dichte begroeiing waardoor de erosie tot stilstand kwam. De dalbodems werden uitgebreide moerassen, die een bijna overal aanwezige veenlaag produceerden. Vanaf het Neolithicum nam in Midden-België de bodemerosie geleidelijk toe door toedoen van de toenemende bewoning, ontbossing en landbouw. Het veen werd



AFB. 6.1 ONTGINNING VAN TURF EN LIGNIET IN VLAANDEREN

er bedolven onder een dikke laag, dikwijls 4 tot 6 m dik, overstromingsleem en viel niet meer te ontginnen.

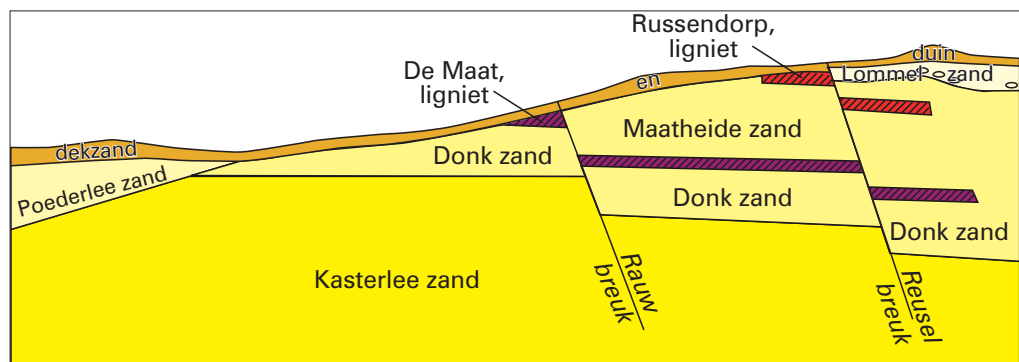
In de brede benedenloop van de rivieren, vooral van de dwarsas Demer-Dijle-Rupel-Schelde, was de bedekking geringer en kon het veen worden gestoken. In de diepe meanderbeddingen van het einde van de ijstijd was het veen bijzonder dik. Van de ontginning ervan getuigen van Gent tot Leuven typisch lusvormige vijvers en moerassen.

In de Kempen is er veen gestoken in de meeste beekdalen. Maar vooral de waterscheidingszone van Essen tot Postel in de Noorderkempen was bijzonder moerassig door de combinatie van een zeer vlak reliëf en de dikwijls ondoorlatende kleiondergrond. Mede door toedoen van de Norbertijnen werd de ontginning van in de 13de eeuw aangevat. Turfvaarten getuigen nog van de afvoer naar het Noorden om langs het water vooral Antwerpen te bevoorraden. Zoals nu nog in de naburige Nederlandse Peel had het veen hier en daar het hoogveenstadium bereikt. De laatste ontginning van de Postelse Moeren door de firma Agrifino is in de zeventiger jaren geëindigd; hier alleen werden naar schatting 10 miljoen m³ Postelse "klot" gedolven.

1.C LIGNIET: VOORKOMEN EN ONTGINNING

Hoe dieper een veen bedolven wordt onder andere sedimenten hoe meer het samendrukt en ontwaart. Door ontbinding stijgt tevens het koolstofgehalte. De eerste stap van deze inkoling is de vorming van bruinkool of ligniet.

De Lignietlaag van Russendorp was ten Oosten van de Blauwe Kei op Maatheide (Mol) doorsneden door het Kempisch kanaal en reeds in 1926 grondig geprospecteerd. De maximale dikte bereikte 3 m en ze was ontginbaar over ongeveer 100 ha. Een deel ervan werd ontgonnen tijdens de laatste oorlog. De laag komt voor boven in het Maatheide Zand, het bovense lid van de Mol Zanden (Afb. 6.2).



AFB. 6.2 PROFIEL IN DE STREEK ROND MOL
In het witte Mol Kwartzsand komen twee lignietlagen voor, het Russendorp Ligniet en De Maat Ligniet, die door breukwerking op verschillende diepte teruggevonden worden.



AFB. 6.3 DE KIKBEEK LIGNIET
In het spierwitte Opgrimbie Zilverzand komt de zwarte Kikbeek Ligniet voor.

De Lignietlaag van De Maat was eveneens ontdekt bij de heraanleg van de sluizen op het Kempisch kanaal ten Westen van de Blauwe Kei. Deze laag, bekend als "spriet", komt voor midden in de Mol Zanden, tussen het Maatheide Zand en het onderste lid, het Donk Zand. Ze bevat zeer veel goed bewaard hout van soorten kenmerkend voor een subtropisch moerasbos. Het betreft vooral houtbrokken die bijeengespoeld waren in een rustig haf van een delta-arm. Een boomstam van 10,32 m omtrek, wat overeenkomt met een diameter van ongeveer 3 m, zou gemeten zijn. Aangezien de spriet eveneens voorkwam onder de hoge watertafel werd de ontginning na bemaling pas rendabel tijdens de laatste oorlog. Men kan ramen dat toen wel 5 miljoen m³ werden gedolven, wat een aanzienlijk supplement vrije brandstof opleverde, en dit niet alleen voor lokaal gebruik.

Ten oosten van de Breuk van Rauw komt de spriet op een grotere diepte voor waardoor hij niet kon worden ontgonnen. De huidige vijver van het natuurreservaat De Maat geeft het meest oostelijke einde aan van de ontginning.

Het Kikbeek Ligniet komt voor in geulen aan de top van het Opgrimbie Zilverzand (Afb. 6.3). Het bestaat uitsluitend uit houtfragmenten aangevoerd door riviermondingen en bijeengespoeld in evenwijdige geulen tussen opeenvolgende schoorwallen. Het vormt daardoor lensvormige lichamen tot 8 m dik en een 100 m breed, die de ontginning van het Zilverzand aanzienlijk bemoeilijken. Valorisatie van het ligniet als lokale brandstof wordt bemoeilijkt door zijn zwavelgehalte. Deze lignietlaag zet zich verder in Nederlands Limburg waar ze meer continu wordt en ze voorbij de Feldbiss-breuk ten oosten van Aken overgaat in de meer dan 100 m dikke bruinkoollaag die zich vormde in de moerassen van de dalende Rijnslenk.

2 STEENKOOL

M. Dusar

2.A INLEIDING

Kohle angebohrt - Betrieb angestellt - Glück auf". Zo luidde het telegram dat op 2 augustus 1901 aan André Dumont werd gestuurd: in As werd de eerste Kempense steenkool aangeboord, als bekroning van een vijftientigjarige zoektocht naar nieuwe grondstoffen in Noord-België. Deze ontdekking zou het aanzien van de provincie Limburg in de twintigste eeuw een nieuwe wending geven. De economische, sociale en demografische evolutie van Limburg werd voortaan bepaald door een grondstof en energiebron, steenkool. Nu, bij het naderend einde van de twintigste eeuw, en na de ontginning van meer dan 440 miljoen ton lijkt de rol van steenkool uitgespeeld. Er zijn evenwel nog ruim vier miljard ton potentieel exploitierbare reserves aangetoond, terwijl grote voorraden methaangas die in de kool opgeslagen zijn op internationale belangstelling mogen rekenen. Steenkool zou wel eens een grondstof van de toekomst kunnen worden.

2.B OORSPRONG VAN DE STEENKOOL

Steenkool is een fossiele brandstof die zo een 310 miljoen jaar geleden tijdens het Carboon-tijdperk ontstaan is uit dikke lagen opeengestapelde plantenresten. In die tijd was de verdeling tussen land en zee grondig verschillend van de huidige situatie. Door de continentendrift bevonden België en omringende landen zich vlak ten zuiden van de evenaar. Het land was vlak en laaggelegen en werd doorsneden door grote rivieren waarvan het slib de vroegere ondiepe randzeeën had opgevuld. Er heerste een warm en vochtig tropisch klimaat waarin een weelderige plantengroei kon gedijen. Droogvallende komgronden en verlaten rivierbeddingen werden ingenomen door wouden van Lycopoden (wolfsklauwen), boomvarens en Cordaiten (naaktzadigen) die tot 50 meter groot werden (Afb. 6.4). Door de hoge grondwaterstanden werden de afgestorven



- 1 droog kolenwoud, geeft zuiverste koollagen
- 2 nat kolenwoud, geeft asrijke koollagen door instromend slib
- 3 overstroomd kolenwoud door uitbranden kolenwoud en onderliggende turfslag
- 4 zoetwatermeren, met fijne slibafzettingen
- 5 dijkbreuken, met dunne zandige overstromingssedimenten
- 6 deltafront, met geleidelijke zand - slib opeenvolging
- 7 rivierlopen, met grofzandige afzettingen

AFB. 6.4 SCHEMATISCHE PALEOGEOGRAFISCHE RECONSTRUCTIE VAN HET AFZETTINGSMILIEU TIJDENS HET CARBOON IN DE KEMPEN.

planten niet afgebroken, maar ze konden zich opstapelen in turf-lagen. Bosbranden en overstromingen onderbraken de plantengroei en leidden tot de afzetting van nieuwe zand- en sliedlagen waarna de vegetatie hervat kon worden in een langdurige cyclische herhaling.

De aardkorst onder het Noordwest-Europese steenkoolbekken zakte langzaam in tijdens het Carboon maar de aangroei van turf-lagen en aanslibbingen hield gelijke tred met de bodemdaling. Hetzelfde landschap kon aldus lange tijd standhouden, weliswaar met een voortdurend veranderend patroon van wouden, rivieren en overstromingsbekkens. Zeedoorbraken waren zeldzaam; hun getuigenissen vormen nu nog de merklijnen voor de tijdsindeling van de afzettingen. In totaal werd een kilometersdik pakket van organische en anorganische gesteenten afgezet, het "Steenkoolterrein", waarvan in de Kempen lokaal tot 3000 meter dikte bewaard is gebleven met een gemiddeld steenkoolgehalte van 3%, verdeeld over talrijke koollagen (gemiddeld komt een koollaag om de 15 meter voor, met een gemiddelde dikte van 123 cm voor de exploitierbare lagen). Druk- en temperatuurverhoging binnen dit dikke pakket leidde tot sterke compactie en geleidelijke omvorming van de turf in ligniet (bruinkool) en steenkool. Dit inkolingsproces was op het einde van het Carboon grotendeels voltooid. Hiermee wordt ook verklaard waarom individuele koollagen een onregelmatige uitbreiding hebben en normaal niet dikker dan 3 meter worden (overeenkomend met een dikte van 30 meter turf vóór de compactie). In iedere kolenmijn werden daarom ook verschillende koollagen ontgonnen.

Een bijzonder kenmerk van de steenkoolafzettingen is het cyclische karakter van de sedimentatie ten opzichte van een meer gelijkmatige bodemdaling: de opeenvolgingen steenkool en nevangesteente hangen af van de horizontale verplaatsingen van het afwateringssysteem.

Hoewel de koollagen in een fluviatiele omgeving werden gevormd, is het tempo van hun opeenvolging, en zeker de successie van dikkere, potentieel ontginbare lagen, mee bepaald door relatieve schommelingen in de zeespiegelstand, veroorzaakt door toenmalige ijstijden op het zuidelijke Gondwana-continent (nu Zuid-Amerika). Mariene sedimenten zijn uitzonderlijk, maar verzilting van het oppervlaktewater tijdens transgressieve sequenties onderdrukt blijkbaar de vorming van dikke koollagen. Op deze wijze kunnen in de successie van koollagen verschillende

/	ETAGE	BUNDEL	GRENSVLAK	DIKTE (m)
Westfaliaan	D	Neeroeteren	basis zandsteen	+ 500
	C	Neerglabbeek	Tonstein Nibelung	350 - 550
		Meeuwen	Maurage = Aegir	225 - 400
	B	Eikenberg	Eisden = Domina	250 - 350
		As	Quaregnon = Katharina	250 - 350
	A	Genk	Mons = Wasserfall	450 - 850
		Beringen	Ransart = Sarnsbank	450 - 500
Namuriaan	Yeadoniaan	/	/	/

AfB. 6.5 STRATIGRAFISCH SCHEMA VAN HET STEENKoolTERREIN.
Het voorkomen van deze lagen in de Kempense ondergrond is weergegeven in afbeelding 6.6.

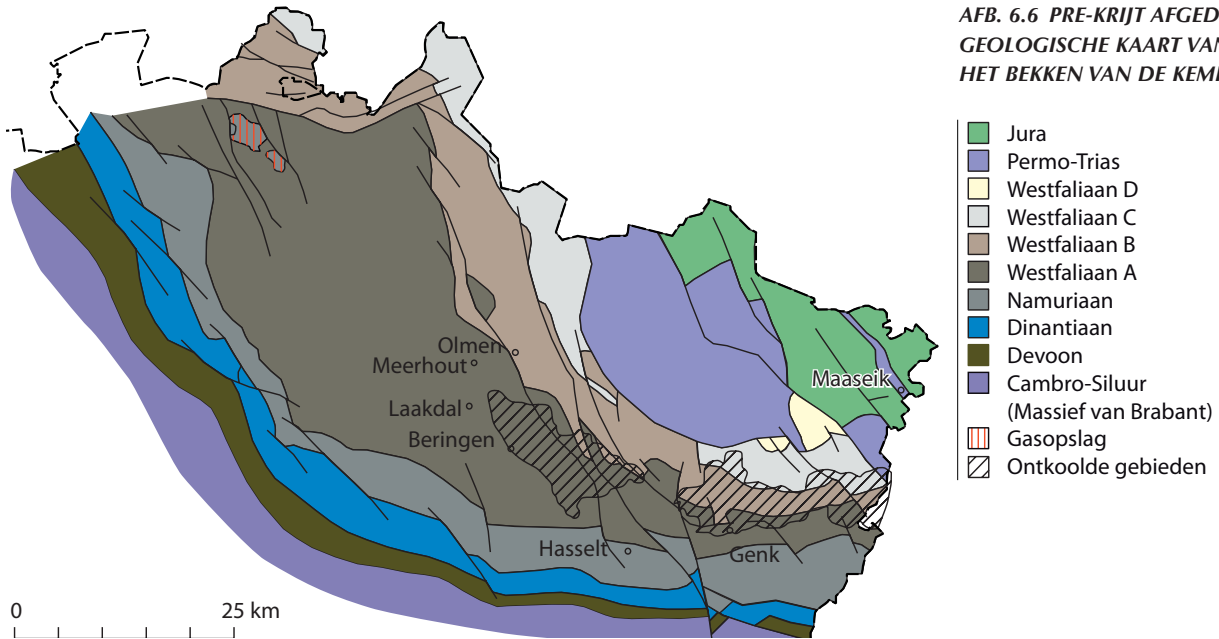
opeenvolgende bundels onderscheiden worden, gekenmerkt door een toename van de steenkoolrijkdom van de marien-beïnvloede basis naar de volledige zoetwatertop.

2.C WORDINGSGESCHIEDENIS - STRUCTURATIE VAN HET BEKKEN VAN DE KEMPEN

Het Kempens steenkoolbekken is zeer oud en heeft sindsdien een merkwaardige evolutie doorgemaakt die geleid heeft tot de huidige situatie: bedolven onder een dik pakket dekterreinen waardoor diepe schachten noodzakelijk waren om de koollagen te bereiken, zwakhellend maar gecompartmenteerd door breuktrappen die ontginning tot langgerekte panelen beperkte, en een veelheid van koollagen die naast elkaar in de verschillende breuktrappen voorkwamen. Om deze situatie te verklaren moet als het ware de geschiedenis van het Bekken van de Kempen ontcijferd worden.

Het Steenkoolterrein werd in relatief korte tijd (min of meer 6 miljoen jaar) afgezet tijdens het Boven-Carboon, meer speciaal tijdens het Westfaliaan (Afb. 6.5). In de loop van het Westfaliaan werd het zuidelijke heuvelland, brongebied van de rivieren die door de Noordwest-Europese laagvlakte stroomden, geleidelijk omhooggedrukt door de noordwaartse verschuiving van zuidelijk Europa tegen het meer stabiele Noorden. De rivieren brachten meer erosiepuin zoals zand en grind aan; de laagvlakte kwam in de regenschaduw van de oprijzende bergen te liggen en de vegetatie verkommerde.

AFB. 6.6 PRE-KRIJT AFGEDEKTE
GEOLOGISCHE KAART VAN
HET BEKKEN VAN DE KEMPEN

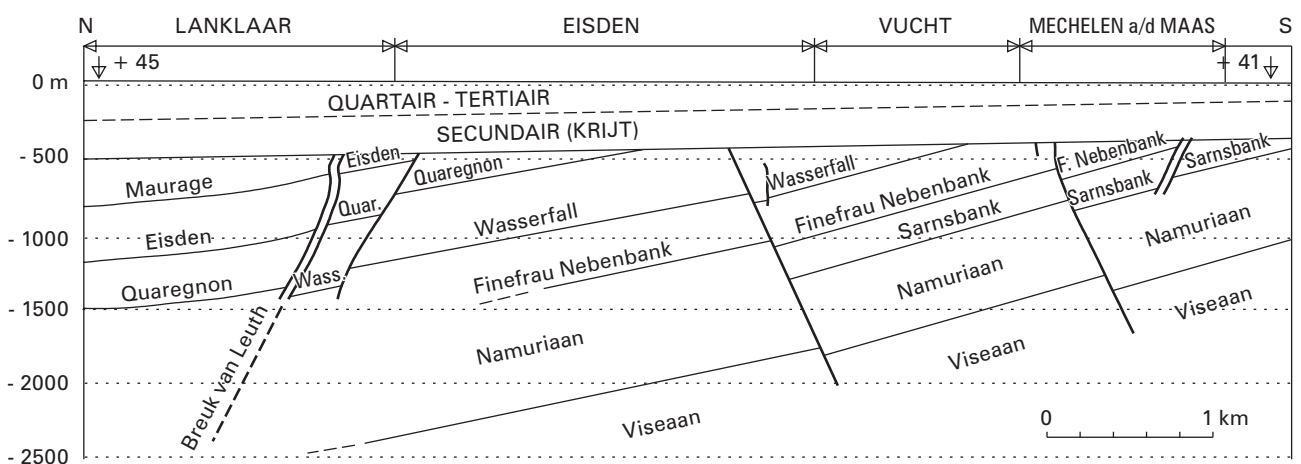


Grof zand werd in dikke pakketten door verwilderde rivieren afgezet op het einde van het Westfaliaan. In noord-oost Limburg bleef tot 500 meter van deze "Neeroeteren Zandsteen" (Westfaliaan D) in de ondergrond bewaard. In tegenstelling tot de oudere zandsteenlagen bezit de Neeroeteren Zandsteen een hoge porositeit en een relatief goede permeabiliteit waardoor dit gesteente een potentieel reservoir vormt voor olie en gas (zie ook het hoofdstuk 6.3 Koolwaterstoffen).

Op het einde van het Westfaliaan waren de gunstige omstandigheden voor steenkoolvorming verdwenen. Het "Varistische" bergvormingsfront schreed verder noordwaarts tot aan de rand van de Noordwest-Europese laagvlakte die gedurende miljoenen jaren het toneel was van subsidentie en sedimentatie en die nu op zijn beurt werd

opgeheven. De Varistische bergvorming bereikte haar hoogtepunt op het einde van het Carboon, zo'n 300 miljoen jaar geleden. Het Bekken van de Kempen werd niet geplooid zoals de Ardennen, maar viel uiteen in breukschollen die in de mijnstreek meestal naar het noorden afhielden (Afb. 6.6 en 6.7).

Ten gevolge van de Varistische bergvorming werd het supercontinent Pangea gevormd. Pangea viel in de loop van het Mesozoïcum geleidelijk uit elkaar, maar aan het begin ervan (Perm-Trias) werd de wereld gekenmerkt door extreem lage zeestanden en uitgestrekte woestijnen. De jongste Carboon-lagen en een variabel, soms kilometerdik pakket van het Steenkoolterrein (opgedeeld in breukschollen die wisselend ingezakt waren) verdwenen tijdens deze periode die 50 miljoen jaar duurde door erosie. Een schier-



AFB. 6.7 NOORD-ZUID PROFIEL DOORHEEN DE CONCESSIE VAN EISDEN.

De figuur toont duidelijk aan dat de Quartaire, Tertiaire en Secundaire lagen in het steenkoolgebied ongestoord en subhorizontaal verlopen. De steenkoollagen daarentegen werden opgebroken langs oude breukvlakken en de lagen worden gekenmerkt door een duiking naar het noorden.

vlakke werd gevormd aan de rand van een noordelijke binnenzee die regelmatig uitdampde. Zandige en kalkige sedimenten van het jongste Perm en het Trias, afgezet in wadi's en lagunes, overdekten de restanten van het Steenkoolterrein en konden een dikte van 800 meter bereiken. Slenk-vorming geassocieerd met de vorming van de Atlantische Oceaan leidde tot de afzetting van mariene kleien tijdens het Onder-Jura waarvan een 800 meter dik pakket in de Roerdal Slenk werd bewaard.

Evenwel werd deze nieuwe sedimentatieperiode onderbroken door een nieuwe opheffing (de Kimmerische fase) van het Massief van Brabant 150 miljoen jaar geleden (Boven-Jura), waardoor de nieuwgevormde sedimenten en een bijkomend deel van het Carboon geërodeerd werden op het Massief van Brabant (waar alles verdween) en het aangrenzende deel van het Bekken van de Kempen. De Perm-Trias-Jura sedimenten bleven wel bewaard in het noordoostelijk deel van het Bekken van de Kempen, waardoor de top van het onderliggende Steenkoolterrein er snel verdiept tot onder de "economische drempel" voor mijnbouw (1500 m). Het mijngebied daarentegen werd gelokaliseerd ten zuiden van de erosiegrens van deze zogenaamde "Rode Gesteenten". Door de Kimmerische fase kregen de Carboon-lagen ook hun typische "monoclinale" afhelling in noordelijke of noordoostelijke richting, naar de Roerdal Slenk toe. In de nabijheid van de slenk verandert de monocline in onregelmatige open plooien.

Door de opheffing van het Massief van Brabant duurde het tot in het Boven-Krijt (85 miljoen jaar geleden) voordat nieuwe sedimenten in Vlaanderen worden afgezet. In het Kempens Kolenbekken bedraagt hun dikte gemiddeld 200 m. De Krijt-periode eindigde 65 miljoen jaar geleden en werd gevolgd door het Tertiair, gekenmerkt door meest zandige en kleiige afzettingen op de rand van het Noordzeebekken. De sedimentatie tijdens het Krijt en het Onder-Tertiair verliep nochtans met horten en stoten: de oude, diep ingezakte sedimentatiebekkens werden met tussenpozen samengeperst zodat de bodem een inversiebeweging maakte: wat het diepst ingezakt was, werd het meest opgeheven. Opnieuw is een ver fenomeen verantwoordelijk voor deze vreemde gang van zaken: de kanteling van het Iberisch schiereiland, met de opening van de Golf van Biskaje en de opheffing van de Pyreneeën

stuurden een reeks geleidelijk verzakkende schokgolven door het noordelijke voorland.

30 miljoen jaar geleden (Oligoceen) begint de versnelde verzakking van de Roerdal Slenk, een onderdeel van een diepe scheur in de aardkorst die grotendeels gevolgd wordt door de Rijn. In de Roerdal Slenk die ook heden ten dage actief blijft (getuige de aardbeving van Roermond van 1991) is de top van het Steenkoolterrein verzakt tot 2500 meter. De Heerlerheide-Feldbiss Breuken die de zuidgrens vormen van de slenk, vormen daarmee ook de praktische noordgrens van het Kempens kolenbekken. Parallel aan de vorming van de slenk werden de grote noordwest-zuidoost gerichte breuken opnieuw geactiveerd. Opvallend is wel dat de westgrens van de steenkoolontginning, de Breuk van Beringen, tevens de westgrens vormt van de invloedzone van de Roerdal Slenk, en van het Quartaire Kempens Plateau.

Het Tertiair en het Krijt vormen samen de tweede sedimentaire sequentie die het Steenkoolterrein overdekt. In tegenstelling met de Perm-Trias-Jura-lagen overdekken zij overal het Steenkoolterrein met diktes die in het mijngebied oplopen van 300 tot 700 m (Afb. 6.7).

2.D VETKOOL OF VLAMKOOL

De belangstelling voor de steenkool uit Limburg was in grote mate te danken aan de kwaliteit van de nieuw ontdekte steenkool. In tegenstelling met de steenkoolproductie uit de Waalse bekkens is in Limburg vooral **vetkool** geproduceerd, de ideale grondstof voor cokes en dus levensnoodzakelijk voor de staalindustrie. De overblijvende steenkoolreserves van het Bekken van de Kempen bestaan zowel uit vetkool als uit hoogvluchtige **vlamkool**, meer geschikt als grondstof voor gasopwekking en carbochemie. **Magerkool** of **antraciet**, geschikt als huisbrand, komen in tegenstelling tot de Waalse kolenbekkens heel weinig voor en is beperkt tot de niet ontgonnen oudste koallagen van het Bekken van de Kempen. Dit onderscheid

in steenkooltypes is te wijten aan de **inkoling** of thermische evolutie van steenkool in de loop van het vormingsproces.

Tijdens periodes van bodemdaling (in het geval van het Kempens kolenbekken vooral op het einde van het Carboon) komen de koallagen op steeds grotere

STEENKOOISOORT	VLUCHTIGE BESTANDDELEN	CALORISCHE WAARDE	VOORNAAMSTE GEBRUIK
VLAMKOOL	50 - 40	8000 - 8500	gasfabrieken
GASKOOL	40 - 30	8500 - 8800	gasfabrieken
VETKOOL	30 - 20	8800 - 9600	cokesfabrieken
ESS- EN MAGERKOOL	20 - 10	9200 - 9500	industriekolen
ANTRACIET	10 - 5	9000 - 9300	huisbrand

AFB. 6.8 SOORTEN STEENKOOI
Schematische indeling van de steenkolen naar het gehalte aan vluchtige bestanddelen.

AFB. 6.9 ONTGINNINGSPLAN VAN DE MIJNZETEL ZOLDER

De figuur geeft de ligging weer van de ontkoolde panelen in koollaag KS68, een regelmatige, goed ontginbare laag van gemiddeld 145 cm kooldikte in de Bundel van Genk (Westfaliaan A), en van de breuken. Een pijler vormt het ontginningsfront in een koollaag. Wanneer eenmaal een verbinding doorheen de koollaag met de exploitatiesteengang gerealiseerd is, kan de steenkool stelselmatig ontgonnen worden. De pijlers hebben een gemiddelde breedte van 200 meter en een lengte van 700 meter. Vroeger, bij geringere mechanisatie, waren de pijlers dikwijls minder groot en minder regelmatig van vorm. Merk ook op dat een cirkelvormige beschermzone (groen) gelegen is rond de schachten (rood) om de stabiliteit ervan te vrijwaren. De pijlers liggen in een reeks langgerekte panelen, begrensd door breukzones. Breuken onderbreken de continuïteit van de koollaag. De hoofdbreuken in het Bekken van de Kempen, met verticale verplaatsingen tot 450 m, verlopen in NW-SE richting. Kleinere secundaire breuken, met verticale verplaatsing tot 20 m, maar desalniettemin erg hindelijk bij de ontginning, staan in een dwarsrichting NE-SW. De koollaag kan in sommige breukblokken verdiept worden tot onder de exploitatiedrempel of opgeheven zijn en door erosie verdwenen. Deze bemerking geldt ook voor andere steenkollagen. Het gevolg hiervan is dat de hoeveelheid ontgonnen steenkool van plaats tot plaats kan verschillen, met soms abrupte sprongen langs de breuklijnen. De bodemverzakking of subsidentie die hieraan te wijten is, vertoont een maximum rondom de schachten (tot 8 m totale verzakking), om geleidelijk af te nemen naar de buitenliggende ontginningsgebieden. Breuken kunnen evenwel door de verzakkingen gereactiveerd worden tot aan de oppervlakte en merkbare mijnschade veroorzaken aan gebouwen of leidingen die boven de breukzone gesitueerd zijn.



diepte te liggen en worden ze blootgesteld aan verhoogde druk en temperatuur. De aan de oppervlakte gevormde veenlagen zullen eerst onder invloed van biologische processen, compactering en ontwatering omgezet worden in bruinkool. De omzetting van bruinkool naar steenkool, en de verdere evolutie in de steenkoolreeks van vlamkool tot antraciet is een fysisch-thermogeen proces, waarbij de hoeveelheid vaste koolstof voortdurend toeneemt en het gehalte vluchtige koolstof voortdurend afneemt (Afb. 6.8). Dit proces van inkoling is onomkeerbaar: eenmaal een bepaalde graad van inkoling bereikt, zal deze niet ongedaan gemaakt worden indien de koollagen onder tektonische invloed tijdens latere tijdperken terug dichterbij de oppervlakte gebracht en afgekoeld worden.

De relatie inkoling-diepte-temperatuur verklaart ook waarom de jongste koollagen in de top van een dikke sedimentaire sequentie minder ingekoold zijn dan de oudere, diepere koollagen ("wet van Hilt"). De verticale inkolingsgradiënt, en de ervan afgeleide steenkoolclassificatie worden bepaald met analysetechnieken zoals de vitrinireflectiviteit (voornamelijk gebruikt in de olie- en gasexploratie) en de vluchtige bestanddelen (traditioneel gebruikt in de steenkoolnijverheid).

Aangezien de inkoling door latere bodembewegingen slechts in geringe mate beïnvloed werd, komen in de mijnen verschillende steenkoolsoorten naast elkaar voor, met dien verstande dat vetkoollagen doorgaans ouder, zij het niet noodzakelijk dieperliggend zijn dan vlamkoollagen. De exploitatie concentreerde zich daarom op de oudste productieve "steenkoolbundel van Genk" die meestal de

gegeerde vetkool bevat. Anderzijds bestaat een groot deel van de steenkoolreserves uit vlamkool die vooral aangehouden wordt in de jongere bundels die door de enigszins monoclinale structuur van het Kempens kolenbekken verdikken en verdiepen ten noorden van de mijnstreek. De inkolingsgradiënt vertoont wel regionale verschillen: er is een geleidelijke toename van zuid naar noord, naar het centrum van het afzettingbekken, en een brutale toename van west naar oost, tussen de westelijke (Beringen-Zolder) en oostelijke (Genk-Eisden) mijnen. Deze overgang valt samen met de "Breuk van Donderslag" waarlangs het steenkoolontgassingsproject Peer-Linde uitgevoerd werd. Dit heeft tot gevolg dat Westfaliaan C koollagen ten noorden van Waterschei dezelfde inkoling hebben bereikt als de toplagen van het Westfaliaan A ten noorden van Zolder.

2.E STEENKOOI, EEN HOOGWAARDIGE GRONDSTOF

Kwaliteitsverschillen tussen de koollagen zijn hoofdzakelijk gebaseerd op de inkolingsgraad, afhankelijk van de begravingdiepte van de sedimenten: hoe ouder en dieper bedolven, hoe sterker ingekoold. Latere structuur van het Steenkoolterrein heeft betrekkelijk weinig invloed op de inkolingsgraad. De minst ingekooldde vorm van steenkool is de hoogvluchtige vlamkool waarvan de jongste Kempense koollagen deel uitmaken. Het volgende stadium is de gasrijke vetkool, het basisproduct voor cokes. Door de laterale variaties en verticale toename in inkolingsgraad bestaan de beschikbare steenkoolreserves uit

ongeveer gelijke hoeveelheden vlamkool en vetkool. De Kempense mijnen waren vooral gericht op de exploitatie van de geëerde vetkool.

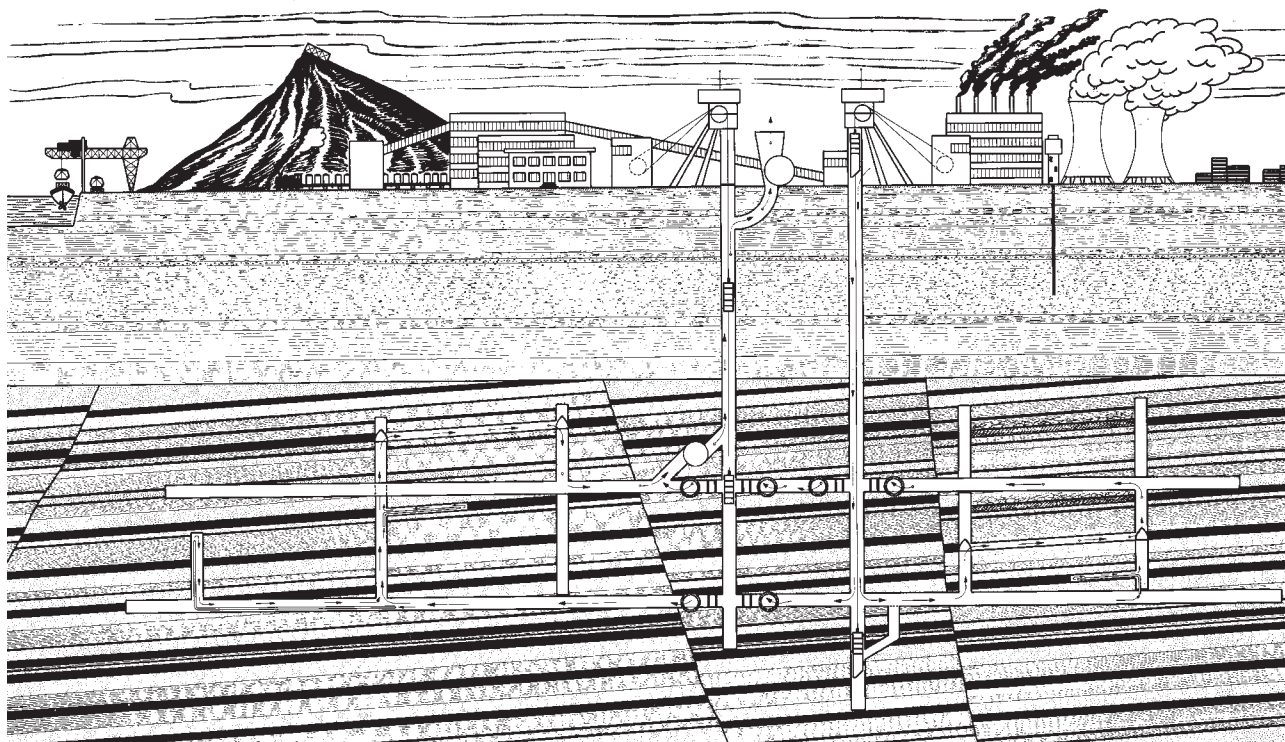
Andere eigenschappen van de Kempense steenkool zijn dan weer te danken aan hun afzettingssomstandigheden. De lage zwavelgehalten (< 1%) zijn kenmerkend voor koollagen die in alluviale vlakten tot stand gekomen zijn. Koollagen die door een zeldzame zee-afzetting bedekt zijn, vertonen steeds hogere zwavelgehalten. Het lage asgehalte (3%) dat vooral dichtere homogene en dus best ontginbare koollagen kenmerkt, hangt samen met de ophoging van de woudbodems waarin de accumulatie van organisch materiaal gebeurde tot boven de grondwaterafzet en buiten het bereik van aanslibbingen.

Ondergrondse steenkoolontginning vergt het lokaal droogzuigen van het Steenkoolterrein (Afb. 6.9). Het opgepompte mijnwater, een mengeling van oorspronkelijk formatiewater (met een zoutgehalte tot tweemaal dat van zee-



AFB. 6.10 BOVENGRONDSE INSTALLATIES VAN EEN MIJN

Zicht op de twee schachtbokken van de mijn van Eisden.



AFB. 6.11 SCHEMA STEENKOLMIJN TYPE EISDEN.

Een kempense mijnzetel bestaat steeds uit twee schachten, een luchtintrekkende en een luchtuittrekkende schacht, waarop krachtige ventilatoren zijn aangesloten, en minimum twee verdiepingen verbonden met steengangen (cf. bloedsomloop). De luchtomloop wordt bestuurd met luchtsluisen en ventilatoren. Mijnwerkers en materiaal gaan meestal via de luchtintrekkende schacht naar hun werkplaats terwijl de steenkool via de andere schacht opgehaald wordt. Vanuit de steengangen vertrekken dan tijdelijke galerijen in de koollaag, met elkaar verbonden door een pijler waar de steenkool ontgonnen wordt in langgerekte panelen. De meeste pijlers zijn 2 à 300 meter lang en schrijden dagelijks gedurende meerdere maanden of jaren tot 3 meter vooruit. Vermits meerdere koollagen onder elkaar voorkomen wordt op verschillende verdiepingen gewerkt, in de Kempen tot op een diepte van 1040 m. Ontginning vangt normaal aan met de onderste koollaag; geleidelijk wordt gans het gebied dat vanuit de schachten bereikbaar is ontcoold.

water), insijpelend water uit de watervoerende laag aan de basis van het Krijt en zoet sproeiwater, werd gekenmerkt door zijn zoutgehalte, gemiddeld 7 gram per liter. Het werd via de schlammbekken samen met het afvalwater uit de steenkoolwasserijen in de oppervlaktewateren geloosd tegen een debiet van ongeveer 20.000 m³/dag bij normale productie, en heeft ongetwijfeld een belastend effect gehad op de waterkwaliteit.

Methaangas (het "mijngas") komt vrij uit steenkool bij drukverlaging ten gevolge van de ondergrondse werken en kan aldus terecht komen in de luchtstroom van de mijn. Het methaangehalte van de lucht moet onder de drempel van 3% gehouden worden door luchtcirculatie en drainage om ontploffingsgevaar bij vermenging met zuurstof te voorkomen. Het mijngas werd vooral als een veiligheidsrisico beschouwd, maar captatie uit gasrijke koollagen leverde toch een economisch voordeel op door eigen gebruik voor verwarming of elektriciteitsopwekking in Waterschei. De hoeveelheid methaan die in de lucht geloosd werd, was niet gering: 20 tot 60 miljoen m³ per jaar en per mijn. De gecapteerde hoeveelheden waren geringer: 18 miljoen m³ per jaar. Ook na de sluiting van de mijnen zouden mogelijkheden voor gascaptatie kunnen bestaan: een peilbuis in de schacht van Waterschei produceerde gedurende 2 jaar werking 5,5 miljoen m³ methaan.

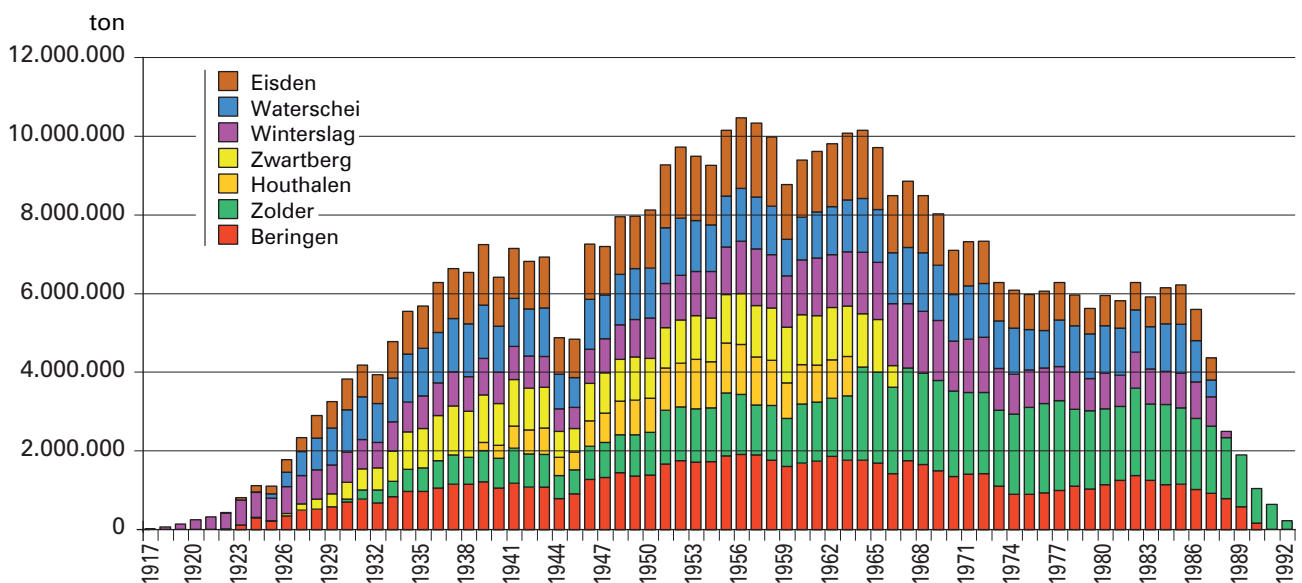
2.F HOOGTEPUNTEN EN NEERGANG VAN DE STEENKOOLONTGINNING

Na de ontdekking in 1901 volgde een 'rush' naar het zwarte goud. Vele maatschappijen voerden prospecties uit in de Kempen, en in 1906 werden de eerste mijnconcessies toegekend. 42 concurrerende concessieaanvragen leidden uiteindelijk tot 7 mijnzetels, in volgorde

van ingebruikneming: Winterslag, Beringen, Eisdén, Waterschei, Zwartberg, Zolder en Houthalen. De stichtende vennootschappen waren alle reeds actief in steenkoolmijnbouw en metallurgie in Wallonië of Lotharingen, vandaar ook het sterk Franstalige karakter van de mijnbouw in Limburg, wat pas gekeerd werd in 1971 na de fusie-operatie van de Kempense Steenkolenmijnen. De oprichting van nieuwe mijnen in een schaarsbevolkt agrarisch gebied en de aanleg van schachten met de toen revolutionaire vriesboormethode maakten dat de eerste steenkool pas in 1917 in Winterslag kon worden bovengehaald.

Schachten vormen de verbinding tussen de steenkoollagen in de diepte en de mijnzetels aan de oppervlakte (Afb. 6.10 en 6.11). Schachtafdieping door de losse watervoerende Tertiaire gesteenten na voorafgaande bevrozing van de schachtwanden was de eerste stap op weg naar de ontginning. Door het aanbrengen van tientallen vriesleidingen in een concentrische cirkel volgens de omtrek van de schacht worden de watervoerende lagen veranderd in een ijscylinder, voldoende dicht en weerstand biedend aan de omgevingsdruk om het manuele uitgraven en bekleden van de schacht mogelijk te maken. De bevrozing van het gesteente gebeurde door circulatie van onderkoelde pek in dubbelwandige vriesbuizen. Deze methode was revolutionair ten tijde van de aanleg van de Limburgse mijnen.

In 1939 startte de productie in de zevende en laatste mijn Houthalen (moeilijkheden met het productie-klaarmaken van de reserves leidden ertoe dat Houthalen vanaf 1964 fusioneerde met Zolder - beide mijnen behoorden tot de Generale-groep). Pas na de Tweede Wereldoorlog, tussen 1952 en 1965, werkten alle zeven mijnen op volle kracht met een gemiddelde jaarproductie van 10 miljoen ton (Afb. 6.12). Het aandeel van het Bekken van de Kempen in de totale Belgische steenkoolproductie bereikte



AFB. 6.12 STEENKOOLONTGINNING

De invloed van de grote depressie in het begin van de jaren dertig alsook van W.O. II is zeer duidelijk merkbaar in de afbeelding. De productie bereikte een piek tijdens en onmiddellijk na de tweede wereldoorlog. Vanaf 1970 nam de productie in zeer snel tempo af.

Mijn	Aanvang	Stopzetting	Productie (ton)
Beringen	1922	1990	79.364.289
Zolder	1930	1992	87.880.633
Houthalen	1939	1963	21.677.140
Zwartberg	1924	1966	39.902.221
Winterslag	1917	1988	66.592.073
Waterschei	1924	1987	72.453.796
Eisden	1922	1987	73.191.893
Totaal			441.062.045

**AFB. 6.13 TOTALE STEENKOOLOPRODUCTIE
PER MIJN**

in die periode 35% en zou door de versnelde sluiting van de oudere Waalse mijnen steeds verder toenemen. Al sloeg de kolencrisis, met de brutale sluiting van de modernste mijn Zwartberg in 1966, hard toe. Vanaf dat ogenblik begon het bergaf te gaan met de steenkoolnijverheid in Limburg. In 1967 werd beslist tot de oprichting van de fusievenootschap Kempense Steenkolenmijnen (KS) om de overige mijnen geruisloos te sluiten met zo weinig mogelijk sociale problemen. Oliecrisissen en een weifelend beleid handhaafden KS, waarvan de steenkoolproductie terugliep tot 6 miljoen ton per jaar. Na de tweede olieschok van 1979 groeide tijdelijk de hoop op betere tijden en werd de exploratie hervat (53 boringen en 1000 km seismiek maakten het mogelijk de steenkoolrijkdom ten noorden van de mijnstreek te bevestigen). Tussen 1987 en 1992 echter, kwam het tot een volledige sluiting van de steenkoolmijnen (Afb. 6.13). Nieuwe internationale ontwikkelingen laten verhoppen dat de ruime steenkoolreserves opnieuw gevaloriseerd zullen worden.

2.G DE TOEKOMST WORDT NU VOORBEREID

Sinds de sluiting van de mijnen blijft deze delfstof ondergronds. Het Limburgse steenkoolbekken beschikt nog over twee grote troeven: de resterende reserves aan steenkool en gas, en de ondergrondse ruimte die door de mijnwerkers werd gedolven.

2.G.1 Is er ruimte voor nieuwe mijnen?

Zolang het aandeel van de loonkosten in de totale kostprijs van de Kempense steenkool niet naar beneden gaat, zal toekomstige conventionele ontginning van steenkool moeilijk zijn. Blijft echter de aanwezige reserve - 4 miljard ton - gelegen in een gebied ten noorden van de ontginningszone van de mijnen en ten zuiden van de lijn Leopoldsburg - Meeuwen - Dilsen, aangetoond door de steenkoolexploratiecampagne van 1979 tot 1987. In het prospectiegebied ten noorden van de mijnstreek is de potentieel ontginbare hoeveelheid steenkool ongelijk verdeeld. Op basis van de beschikbare informatie kunnen

op redelijke wijze twee zones afgelijnd worden met voldoende rijke reserves om een nieuwe mijn te beginnen, op de maat van de gewezen K.S. mijnzetels (productiecapaciteit 2 miljoen ton/jaar). Deze zones zijn gelegen ten noorden van de mijnzetels Eisden en Beringen - Zolder. Verdere prospecties zijn evenwel noodzakelijk om een effectief mijnplan op te stellen, of de ontginbaarheid van andere zones aan te tonen. Toekomstige conventionele exploitaties van steenkool in het noorden van Limburg of in de provincie Antwerpen zijn onwaarschijnlijk, wegens de grotere diepte of de grotere spreiding van de koollagen.

2.G.2 Betekenis van het ondergrondse patrimonium

Terwijl het bovengrondse patrimonium van KS-Mijnen (gebouwen en gronden) enige aandacht krijgt als industrieel erfgoed en/of voor herbestemming in aanmerking komt, blijft het ondergrondse patrimonium in de schaduw. Dit ondergrondse patrimonium bestaat uit **ruimte** (in de weliswaar niet meer toegankelijke ondergrondse infrastructuur, bestaande uit niet opgevulde of gecompacteerd open volumes in steengangen, schachten, ontginningspijlers) en **energie-grondstoffen** (de nog beschikbare reserves aan steenkool en gas; geothermie). De gesloten mijnen kunnen niet heropend worden, maar sluiting betekent daarom niet het einde van het verhaal. De steenkoolreserves die in de mijnen zijn achtergebleven (geschat op 400 miljoen ton) worden in de praktijk als verloren beschouwd. Recuperatie van mijngas blijft wel een mogelijkheid. Maar bovenal is er de ondergrondse ruimte die in aanmerking kan komen voor berging van probleemafval waarvoor in het dichtbevolkte Vlaanderen aan de oppervlakte nauwelijks plaats is.

2.G.3 Het begrip ondergrondse ruimte

Uitgangspunt is de ondergrondse infrastructuur: steengangen, galerijen, (binnen)schachten, ontginningspanelen. Deze zijn niet meer toegankelijk door het dichten van de hoofdschachten, de opvulling met eerst mijngas en vervolgens mijnwater, en de geleidelijke vervorming en volumevermindering door de druk van het bovenliggende gesteente. Toch zal de compactie nooit de oorspronkelijke toestand kunnen herstellen. Algemeen wordt aangenomen dat een macroporositeit van 5% blijft bestaan in de afgebouwde pijlers met dakbreuk. Ook de steengangen zullen altijd kanalen blijven waarlangs beweging van gassen en vloeistoffen mogelijk is. De opwaartse hydrostatische druk die ontstaat na het onder water lopen van de infrastructuur zal ongetwijfeld bijdragen tot het instandhouden van open ruimten. Het is deze restruimte, en dan vooral het netwerk van galerijen (er zijn gemiddeld 200 km steengangen per mijn), die ter beschikking staat voor reinjectie of ondergrondse berging van vloeibare afvalstoffen, of die naburige toekomstige exploitaties kan beïnvloeden.

2.G.4 Het probleem van de concessies

Vrijwel alle aantrekkelijke steenkoolreserves zijn gelegen binnen bestaande mijnconcessies, niet alleen die van KS-Mijnen. Andere concessies zijn Les Liégeois (vroegere mijn van Zwartberg, nu eigendom van Cockerill-Sambre), Oostham-Kwaadmechelen (gedeeltelijk verpacht aan KS, waarvoor de ontbinding aangevraagd is), Neeroeteren-Rotem (de meest recente concessie, daterend van 1947, nooit in ontginning maar met de rijkste koollagen) en de Staatsconcessie (die alle privé-concessies omsluit en eigendom is van de federale overheid, een onachtzaamheid bij de overdracht van de bevoegdheden over natuurlijke grondstoffen aan de gewesten). De bestaande concessies bieden de mogelijkheid om snel met nieuwe ontginningen te starten. Helaas is eerder het tegendeel waar. Opheffing van de concessies is mogelijk door de eigenaars in gebreke te stellen.

2.H BESLUIT

Steenkool levert nog steeds een belangrijke bijdrage tot de Belgische, inzonderheid Vlaamse industrie. De Kempense steenkool is nog overvloedig aanwezig en is door zijn hoog calorisch vermogen, reactiviteit en milieueigenschappen kwalitatief bijzonder interessant. Het in gebruik nemen van een nieuwe mijn, of niet-conventionele ontginning van steenkool en gas, vergen initiële investeringsperiodes van 10 jaar. Dergelijke lange-termijnbeslissingen worden pas genomen wanneer een duidelijk perspectief op het belang van steenkool als energie en grondstof bestaat. Optimale energierendementen, nieuwe toepassingen en terugdringing van nadelige milieu-effecten zijn doelstellingen voor onderzoek en ontwikkeling die ook door de Europese Unie ondersteund worden. Door het delven van steenkool wordt daarenboven de ruimte geschapen om zeer problematische afvalproducten te elimineren. Daarom moet ook de kennis van de ondergrondse mijnbouw-infrastructuur gevrijwaard worden en de geologische databank over het Kempens kolenbekken verder ontwikkeld worden. Een positief energiebeleid legt aldus de grondslag voor nieuwe industriële ontplooiing.

2.I MIJNVERZAKKINGEN IN LIMBURG

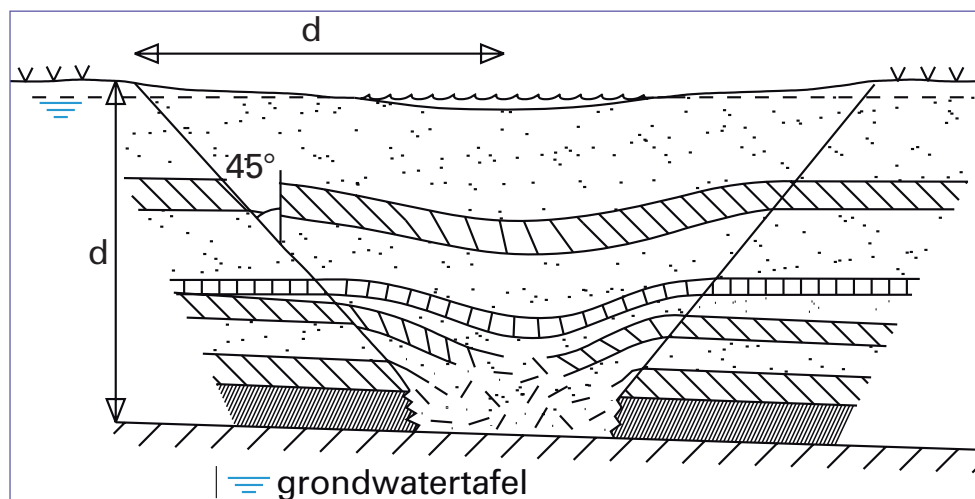
P. Vansteelandt

2.1.1 INLEIDING

Door de ontginning van ongeveer 680 miljoen kubieke meter steenkool in de Limburgse ondergrond zijn aan de oppervlakte uitgestrekte verzakkingsgebieden ontstaan. Deze verzakkingen veroorzaken een niet te onderschatten wijziging in de waterhuishouding van de watervoerende grind- en zandlagen in de ondergrond en van de waterlopen en het grondwaterpeil aan het oppervlak. Doordat aan de steenkoolontginning een eind gekomen is, zullen de effecten ervan wel met de tijd verminderen. De laatste bodembewegingen zullen nog enkele jaren voelbaar zijn.

2.1.2 ENKELE FUNDAMENTELE BEGRIPPEN

Wanneer men een lege ruimte in de ondergrond creëert door bijvoorbeeld de ontginning van een steenkoollaag, dan zullen de bovenliggende afzettingen deze ruimte trachten op te vullen. Hierdoor ontstaat er een terreinbeweging die zich tot op de bovengrond zal laten voelen. De in beweging komende oppervlakte op de bovengrond zal uitgestrekter zijn dan het ontgonnen deel van de steenkoollaag. De verzakte oppervlakte op de bovengrond wordt bepaald door de grenshoek die zelf afhankelijk is van de helling van de steenkoollaag, de samenstelling van de ondergrond, de diepte waarop de steenkool werd ontgonnen, en de aanwezigheid van storingen (Afb. 6.14). Het volume van de verzakte bovengrond zal wegens het zwellen van de gebroken verzakte afzet-



AFB. 6.14 SCHEMA VAN EEN VERZAKKING ALS GEVOLG VAN DE ONTGINNING VAN EEN STEENKOOLLAAG.

De afbeelding toont duidelijk aan dat de "verzakkingskegel" een groter gebied omvat dan de ondergronds ontgonnen zone. Als de verzakking groot is, kan centraal in het verzakkingsgebied een plas ontstaan doordat het maaiveld onder de watertafel komt te liggen.

tingen altijd kleiner zijn dan het volume van de ontgonnen ruimte in de ondergrond.

In de Kempen waar de steenkoollagen gekenmerkt worden door een kleine helling, neemt men een grenshoek van 45° aan. De straal van het cirkelvormige, verzakte gebied is hierdoor gelijk aan de diepte van de ontgonnen steenkoollaag. De maximum te verwachten verzakking is rechtevenredig met de opening van de ontgonnen steenkoollaag, -hoe dikker de ontgonnen laag, des te groter de verzakking-, en afhankelijk van twee coëfficiënten: $V_m = O \times C_1 \times C_2$. De eerste is afhankelijk van de wijze van dakcontrole. De ontstane ruimte na de ontginning wordt in bepaalde

gevallen met zand of puin opgevuld (hydraulisch, pneumatisch of manueel), soms laat men ook het dak, dit zijn de lagen die zich boven de steenkoollaag bevinden, gewoon instorten. Deze laatste techniek, die resulteert in een slechtere opvulling van de ontgonnen ruimte (coëfficiënt gelijk aan 0.85 tot 0.9 t.o.v. 0.3 voor de hydraulische vulling en 0.5 voor een pneumatische vulling), werd veelvuldig in de Kempen toegepast en is dus ook oorzaak van grotere verzakkingen. De tweede coëfficiënt is afhankelijk van de diepte van de ontginning: tot een diepte van 500 m neemt men een waarde 1 aan, bij grotere diepte vermindert deze coëfficiënt. Indien een steenkoollaag van 3 m dikte op 450 m diepte werd ontgonnen, dan bedraagt de maximaal te verwachten verzakking: $3 \text{ m} \times 0.85 \times 1 = 2.5 \text{ m}$.

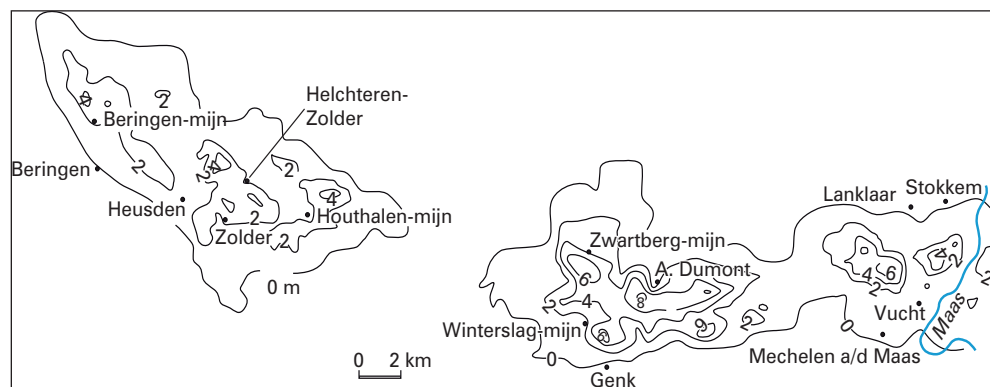
Tussen België en Nederland bestaat een bilateraal akkoord ter bescherming van de Maas, dat stelt dat binnen een strook van 500 m aan weerszijden van de Maas de opvulling pneumatisch diende te gebeuren. In dit geval zal de verzakking maximaal: $3 \text{ m} \times 0.5 \times 1 = 1.5 \text{ m}$ bedragen.

2.1.3 OMVANG VAN DE VERZAKKINGEN

Op basis van statistieken van de jaarlijkse netto productie steenkool per zetel is het mogelijk om de ontgonnen volumes in situ te schatten. Aangezien 1 m^3 steenkool ongeveer 1.3 ton weegt, en men mag stellen dat om 1 m^3 steenkool te verkrijgen men ongeveer het dubbele volume (steenkool + steen) dient weg te halen, en er ongeveer 441 miljoen ton is ontgonnen (Afb. 6.13), dan bedraagt het totale ontgonnen volume ongeveer 680 miljoen m^3 . Het verzakte volume aan de oppervlakte zal in ieder geval kleiner zijn dan dit bedrag, maar toch nog ongeveer 500 miljoen m^3 bedragen.

In samenwerking met de Kempense Steenkoolmijnen werden tussen 1981 en 1985, kaarten opgesteld met lijnen van gelijke verzakking (Afb. 6.15). De hoogtelijnen van de huidige stafkaarten van het Nationaal Geografisch Instituut

stemmen echter niet meer met de werkelijkheid overeen doordat zij gebaseerd zijn op de eerste algemene waterpassing van 1879 en gedeeltelijk op de tweede daterende van 1948-1953. Aanpassing van de topografische kaarten zal slechts gebeuren nadat de Kempen terug als stabiel beschouwd kunnen worden, m.a.w. als er geen mijnverzakkingen meer optreden.



AFB. 6.15 ISO-LIJNEN VAN VERZAKKINGEN IN DE MIJNSTREEK.

Alhoewel de verzakkingen in het ontginningsgebied meestal beperkt blijven tot minder dan 2 meter, kunnen ze tot meer dan 8 meter oplopen in het oostelijke mijngebied.

Uit de iso-verzakkingenlijnenkaart blijkt dat sommige gebieden tot meer dan 6 m verzakt zijn. Op vele plaatsen is de watertafel hierdoor tot boven het maaiveld gestegen waardoor grote gebieden met wateroverlast te kampen hebben. Ten einde deze gebieden van wateroverlast te vrijwaren, werden op tal van plaatsen allerlei kunstgrepen toegepast en werden op de diepste plaatsen pompstations geïnstalleerd. Om het overstromingsgevaar te beperken werden de dijken van de Maas en de Zuid-Willemsvaart verhoogd en verstevigd.

3 KOOLWATERSTOFFEN

J. Bouckaert en L. Wouters

3.A ALGEMENE BEGRIPPEN

Daankzij de energie van het zonlicht vormen plant-aardige organismen ingewikkelde chemische complexen. Zij worden dan weer als voedsel gebruikt door dieren en door lagere organismen zoals bacteriën. Na afsterven kan een deel van de organische stoffen onder gunstige omstandigheden bewaard blijven en in de aardkorst accumuleren.

Al naargelang de aard van het oorspronkelijke materiaal en de latere veranderingen daarin, ontstaan verschillende stoffen die men in twee hoofdgroepen kan verdelen.

Zij die gevormd zijn uit de resten van hogere planten: veen, bruinkool en steenkool die in de vorm van aparte lagen voorkomen. Zij zijn dus gebonden aan overwegend continentale afzettingen. Daarnaast komen stoffen voor die ontstaan zijn uit resten van plantaardig en dierlijk plank-

ton: de *koolwaterstoffen*. De vorming van steenkool is in de regel gebonden aan de plaats waar het plantaardige materiaal groeide of werd afgezet. Koolwaterstoffen daarentegen zijn beweeglijk en worden meestal teruggevonden op plaatsen ver van hun ontstaan.

Aangezien de eerste groep ruim aan bod is gekomen in het voorgaande hoofdstuk, gaan we nu iets dieper in op de vorming van de koolwaterstoffen.

Chemisch gesproken is een koolwaterstof een verbinding die enkel uit koolstof (C) en waterstof (H) bestaat. Aardolie en aardgas bestaan grotendeels uit koolwaterstoffen maar ook uit andere elementen als stikstof, zwavel en zuurstof.

Levende wezens bestaan uit grote en complexe moleculen die veel stikstof, zwavel, fosfor en zuurstof bevatten. Volumetrisch gezien zijn de belangrijkste verbindingen in levende organismen koolhydraten, lignine (samen met cellulose een belangrijke component van hout), lipiden (vetten, olie, was), en eiwitten. De eenvoudige moleculen die in aardolie worden aangetroffen zijn vaak de eindproducten van de afbraak van die biogene moleculen.

Samenvattend komt de koolstofcyclus erop neer dat CO₂ uit de atmosfeer wordt opgenomen onder andere via fotosynthese, ingebouwd in plantaardige organismen, die dan weer als voedsel dienen voor andere organismen. Een gedeelte van de koolstof wordt in dynamisch evenwicht gehouden

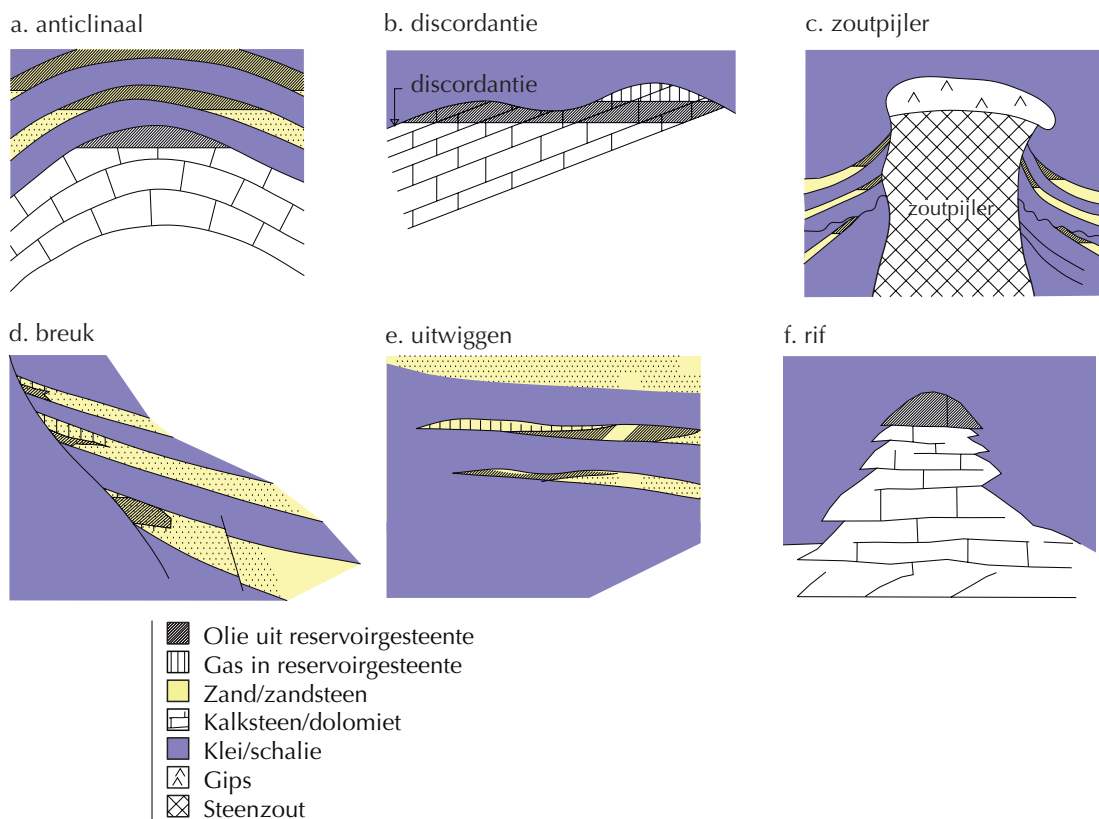
in de atmosfeer, de organismen en de oceaan. CO₂ wordt dan opnieuw afgegeven via respiratie, bacteriële ontbinding en oxidatie. Koolstof kan echter uit de cyclus ontsnappen: het tekort in de koolstofbalans land-oceaan-atmosfeer wordt verklaard door de vorming van kalksedimenten (overwegend CaCO₃) of de begraving van organisch materiaal in omstandigheden waar geen oxidatie plaats heeft. Op

deze laatste wijze kan het gestockeerd worden als olie, gas of steenkool. Men raamt dat minder dan 1% van het organisch materiaal jaarlijks op deze manier uit de cyclus valt. Het mariene dode phyto- en zoöplankton, vissen,... is duidelijk in grotere hoeveelheden beschikbaar voor bewaring in sedimenten dan de landplanten.

Organisch materiaal wordt zeer snel en al bij lage temperatuur omgezet in nieuwe organische verbindingen. Naast dit afbraakproces is er eveneens een constructief proces waarbij bacteriën een belangrijke rol spelen in de vorming van willekeurige organische elementen. Door hun willekeurige samenstelling zijn ze vrij bestand tegen degradatie. Voorbeelden hiervan zijn fulvische zuren, humus zuren en kerogeen. De zuren zijn overwegend afkomstig van lignine, carbohydraten en aminozuren. Zelf kunnen ze tot kerogenen worden omgezet.

De polymerisatie van het kerogeen voltrekt zich in enkele honderden tot duizenden jaren. Het wordt in de praktijk gedefinieerd als het in gewone organische solventen onoplosbaar fossiel organisch materiaal. Samen met het sediment waarin ze zijn bewaard, vormen ze het moedergesteente. De term "bitumen" wordt daarentegen voorbehouden aan die fracties die wel oplosbaar zijn in organische solventen. Asphalt is natuurlijk vast bitumen.

De evolutie van het kerogeen wordt bepaald door de temperatuur en de tijdsperiode, beide toenemend met



AFB. 6.16 DE VERSCHILLENDE SOORTEN GEOLOGISCHE VALLEN VOOR AARDOLIE EN GAS. Alhoewel de grootste hoeveelheden olie en gas gebonden zijn aan anticlinale structuren, zijn verschillende andere valconfiguraties gekend, zoals discordanties, zoutpijlars, afsluitende breuken, laaguitwigging en lithologische vallen zoals optredend in riffen omsloten door ondoorlatende lagen.

de diepte. Aangezien niet alle bindingen in het kerogeen even gemakkelijk worden afgebroken, zal met toenemende diepte ook de samenstelling van het kerogeen en de hierbij gevormde producten veranderen. Bij verder toenemende thermische diagenese worden steeds eenvoudiger moleculen gevormd, terwijl het vaste rest-kerogeen zich zal aanrijken in koolstof om uiteindelijk naar grafiet te evolueren.

Aldus zal aardolie gevormd worden op diepten tussen 1000 en 6000 m: er is een minimale temperatuur van 50° C nodig om aardolie te vormen, voor aardgas is dit ongeveer 170° C. Ruwe aardolie bestaat uit een mengsel van soms meer dan 200 verschillende soorten koolwaterstoffen: koolstof maakt tussen 83 en 87 van het gewichtprocent uit, waterstof tussen 11 en 14%. Waar steenkool opgebouwd is uit zeer grote moleculen bestaat aardolie grotendeels uit moleculen met niet meer dan 20 koolstofatomen: tot en met 4 zijn ze in standaard omstandigheden nog gasvormig (butaan = C₄H₁₀), tussen 5 en 15 koolstofatomen zijn ze vloeibaar, verbindingen met meer koolstofatomen zijn overwegend vaste stoffen.

Door bewegingen van het in de poriën aanwezige water (het formatiewater), gaan de koolwaterstoffen migreren. In een eerste fase verlaten ze het meestal fijnkorrelige moedergesteente (in zeeën en meren wordt in hoofdzaak slik afgezet, dat later verhardt tot schiefer) en verplaatsen zich door de poriën van poreuze gesteenten heen. Indien de koolwaterstoffen niet gevangen worden in een val, kunnen ze tot aan het oppervlak migreren waar ze in terreindepressies accumuleren, de zogenaamde sijpelaatsen. De lichtere fracties verdampen; wat overblijft zijn meren van asfalt en asfaltrijke olie. Als de koolwaterstoffen tegengehouden worden door een ondoorlatende laag (de "caprock") met een gunstige geometrie (de "val"), gaan ze accumuleren in het poreuze gesteente, het reservoirgesteente. Dit zijn meestal zandstenen gekenmerkt door een microporositeit (kleine poriën tussen de korrels), of kalkstenen met een macroporositeit (spleten en oplossingsholten). Er bestaan verschillende soorten vallen: koepels, breuken, discordanties, zoutpijlers, uitwiggende lagen en riffen (Afb. 6.16).

3.B ONDERZOEK IN BELGIË

Het onderzoek in België naar Paleozoïsche gesteenten als mogelijke moeder- en reservoirgesteenten voor koolwaterstoffen, werd aangemoedigd door de vaststelling dat zij naar samenstelling en geologische geschiedenis te vergelijken zijn met gelijkaardige gesteenten in Europa, maar eveneens in Noord-Amerika en in de voormalige USSR.

Inderdaad, wat Europa betreft zijn de zwarte schalies van Cambro-Ordoviciana-ouderdom uit Estland, Zweden en Schotland bekend als olie-genererend. Dit geldt eveneens voor de lacustriene schalies van het Onder-Devoon in Schotland en de Orcaden, de boghead-schalies van het Onder-Carboon in Schotland en Engeland, en schalies van

dezelfde ouderdom in de diepere ondergrond van Duitsland en de Kempen.

Dat er indices bestaan van olie-genererende gesteenten van Carboon-ouderdom in de Kempen lijdt geen twijfel. Tijdens de boorcampagnes naar en de ontginning van de Kempense steenkool werd meermaals gewag gemaakt van het voorkomen van vetten in de vorm van hatchetine en ozokeriet op glijvlakken of in de vorm van knollen (o.a. in Eisden), en van organische vloeistoffen in de boringen van Lanaken (1902) en van Leopoldsburg (1950).

Vanaf de ontginning van steenkool kent men de vorming van methaan dat als mijnegas verantwoordelijk is voor talrijke mijnrampen. Indien boven steenkoolbekkens gunstige structuren bestaan, kan het ontsnappende gas erin worden opgevangen. Het aardgas van Nederland en de zuidelijke Noordzee is van dergelijke herkomst.

De enige boring waarin men een spontane en kortstondige gasruptie uit het Steenkoolterrein heeft waargenomen, is die van Balen in 1903.

Concrete belangstelling voor het mogelijk voorkomen van koolwaterstoffen in het Bekken van de Kempen nam een aanvang in de jaren '60. De door de Belgische Geologische Dienst ondernomen seismische campagnes van 1953 tot 1956 hadden onder andere het bestaan van het Hoog van Heibaart bij Wuustwezel aan het licht gebracht. Het Nationaal Geografisch Instituut had door gravimetrisch onderzoek in 1962 het bestaan van het Hoog bevestigd. Een mogelijk reservoirgesteente voor olie- en/of aardgas wordt gevormd door verkarste en gespleten kalkstenen van het Onder-Carboon, afgedekt door schiefers van Boven-Carboon-ouderdom. Petrofina voerde, als operator voor concessiehouder SCREM (Société Campinoise de Recherches et d'Exploitations Minérales), in datzelfde jaar een boring uit, en de koepelvormige structuur van het Onder-Carboon-reservoir werd bevestigd. Aangezien er gas noch olie werd gevonden, verzaakte de SCREM in 1968 aan de concessie. Dit gegeven trok echter de aandacht van Distrigas: het reservoir kon gebruikt worden als een natuurlijke opslag voor ingevoerd aardgas (zie punt 6: Opslag van aardgas). Een andere toepassingsmogelijkheid van dit reservoir is de geothermie (zie punt 7: Geothermische energie).

Vanuit privé-hoek was het de Belgian Shell Company die in 1962 een aanvraag had ingediend om een vergunning te krijgen voor petroleumopsporing en exploitatie in een zone zich uitstrekkend tot beide Vlaanderen. Deze zone sloot aan op de concessie die de maatschappij al in Frans-Vlaanderen had. Zonder op de vergunning te wachten, voerde Shell "*stratigrafische peilingen*" uit in Houtem, Stuivekenskerke en Steenkerke om "*inlichtingen te verzamelen nopens de structuur en de geologische samenstelling van de gesteenten, inlichtingen die niet door aanwijzigingen aan de oppervlakte verkrijgbaar zijn.*" Het is duidelijk dat Shell belangstelling had voor de vulkanische gesteenten van Ordovicium-ouderdom. Het onderzoek van

Shell bleek niet de verwachte resultaten op te leveren en de concessie-aanvraag werd opgegeven.

In 1977 vertoonde Shell opnieuw belangstelling voor de Kempense ondergrond, aangespoord door haar boringen in Zeeland (Brouwershavensegat, Kortgene,...) waar het Onder-Carboon en het Devoon was verkend.

Ondertussen was de BGD in 1979 gestart met een nieuwe exploratie naar steenkool, geothermische mogelijkheden en reservoirs in de Carboon-formaties ten noorden en noordoosten van het Massief van Brabant. Even belangrijk als de ontdekking van nieuwe rijke kolenvelden is het voorkomen in een beperkt gebied in het noordoosten van een tot 300 m dik pakket zandstenen. Deze wit-grijze, veldspaatrijke zandstenen zijn van Westfaliaan D-ouderdom en werden de Neeroeteren Zandsteen genoemd. Zij werden voor de eerste maal aangeboord in 1945 (boring KB113). De grofkorrelige lagen worden gekenmerkt door een gemiddelde porositeit van 18% en een permeabiliteit van 1.10^{-5} m/s (86 centimeter per dag): de formatie is aldus een potentieel reservoir voor koolwaterstoffen. Daarenboven mag de Neeroeteren Zandsteen beschouwd worden als de zuidelijke uitloper van de iets oudere gasproducerende Tubbergen Zandsteen (Boven-Westfaliaan C) in het oosten van Nederland. In de Roerdal Slenk werden het voorkomen, de diepte en dikte en de reservoirkenmerken van de Neeroeteren Zandsteen echter nog niet aangetoond. De kleirijke sedimenten die in het midden van de zandsteen voorkomen of de kalkschiefers van het Perm zouden er als afsluitende lagen kunnen fungeren.

Het al vermelde Onder-Carboon-reservoir werd eveneens door de BGD via een boring verkend in Merksplas-Beerse in 1983. Het in het water opgeloste gas bestond uit 76.4 volumepercent koolzuur, 11.6% stikstof en 11.5% methaan. Op basis van de isotopensamenstelling bleek dat het methaan van dezelfde aard was als het aardgas in Noord-Duitsland, van Carboon-ouderdom. Het echte belang van de aanwezigheid van het methaan ligt hierin dat de mogelijkheid voor een gasvoorkomen in deze oude gesteenten en structuren van Vlaanderen nu echt werd bewezen, terwijl het vroeger louter een hypothese was.

Door deze vaststelling werd het risico voor de olie- en gasmaatschappijen in het Kempens exploratiegebied verlaagd. De reacties van deze maatschappijen op deze gasaanduiding bewezen dat de belangstelling voor het gebied echt levendig was en groter dan ooit tevoren bij voldoende hoge olieprijsen. Sinds 1977 hebben acht maatschappijen een aanvraag ingediend voor een uitsluitende vergunning om koolwaterstoffen in de Kempen op te sporen en te ontginnen. Er werd over geen enkele van deze aanvragen een beslissing genomen.

Moedergesteenten die koolwaterstoffen hebben kunnen genereren zijn dus aanwezig in de Vlaamse ondergrond en in het aangrenzende nationale Continentaal Plat. In 1984 diende de NV Sidarfin (Gent) een concessie-aanvraag in

voor de verkenning naar koolwaterstoffen op het Continentaal Plat. Er werd geen gevolg aan gegeven.

Op grond van de huidige kennis kan de aanwezigheid van koolwaterstoffen niet met zekerheid uitgesloten worden. Prospectie door de privé-sector zou dus vergund moeten worden. Al was het maar dat de Belgische ondernemingen dit als leerschool zouden aanvoeren voor hun prospectiebeleid elders in de wereld. Er zijn trouwens nog steeds buitenlandse ondernemingen geïnteresseerd in onze ontsluitingen.

4 STEENKOOLLAAG METHAANGAS WINNING (SMW)

P. Wenselaers

4.A WAT IS STEENKOOLLAAG METHAANGAS WINNING

Vanuit de klassieke mijnbouw, het ondergronds ontginnen van steenkool, is het hinderlijke en gevaarlijke "mijngas" of methaangas (CH_4) genoegzaam bekend. Tijdens het ontginnen van steenkool komen er grote hoeveelheden methaangas vrij, die met de grootste omzichtigheid uit de ontginningszone verwijderd dienen te worden via een weldoordachte ondergrondse luchtcirculatie in combinatie met draineringsboringen.

Vroeger werd dit hinderlijk gas gewoonweg als afvalproduct in de lucht geblazen. Mettertijd is het belang van het mijngas stelselmatig toegenomen. De technologische vooruitgang op het gebied van gasbehandeling en -transport heeft stapsgewijze geleid tot een betere valorisatie van de nu toch onmiskenbare economische waarde van de lichtste koolwaterstof "methaan". Het laatste decennium is daar eveneens het ecologische aspect bijgekomen van "schone" fossiele brandstof.

Rond 1950 is men op sommige Kempense mijnzetsels gestart met het opvangen van het mijngas om het te gebruiken als brandstof voor stoomketels, in de plaats van steenkolen. Met de jaren heeft men de gascaptatietechnieken geoptimaliseerd, waardoor er dus meer methaan gerecupereerd kon worden. Methaangas kan ook gewonnen worden uit gesloten steenkoolmijnen. Als voorbeeld hiervan is er de mijngascaptatie uit een mijnsite in Fontaine l'Évêque (bij Charleroi), die tot voor kort nog actief was, ruim 25 jaar na de sluiting van de mijn in 1968. Men mag stellen dat methaancaptatie tijdens steenkoolontginning als de voorloper kan worden beschouwd van wat nu onder steenkoollaag methaangas winning (SMW) verstaan wordt.

In wezen komt SMW neer op het commerciële winnen van methaangas uit onaangeroerde koollagen, al dan niet in combinatie met gascaptatie bij mijnbouw. Na de gepaste behandeling(en) komt dit gas via de gasdistributiebedrijven ter beschikking van de verbruikers.

Internationaal gezien wordt SMW de laatste jaren beschouwd als de voornaamste niet-conventionele gas-

winningstechniek. Hierbij baseert men zich dan in eerste instantie op de succesvolle winningen in de USA (in 1993 leverden ongeveer 6.500 productieputten in totaal rond de 15 miljard m³ gas) en eveneens op de omvangrijke wereldwijd bewezen kolenreserves.

Na 1985 is er in de USA een duidelijke toename van de research inspanningen op het gebied van SMW waar te nemen. De multidisciplinaire onderzoeksaspecten gaan van geologische verkenning (regionale geologie, seismisch onderzoek, interpretatie van exploratie boringen), boortechnische aspecten, boorgatmetingen, onderzoek op kolenmonsters (steenkoolresearch, petrografie), reservoir modellering (computer simulaties), stimulatie technieken en hydrologische aspecten tot milieu impact, concessiewetgeving, bedrijfseconomische karakteristieken en hun onderlinge beïnvloeding vormen samen een complex geheel van factoren.

Steenkool kan, geologisch beschouwd als gasreservoir, 3 tot 7 keer meer gas bevatten dan de klassieke aardgasreservoirgesteenten. Het methaangas werd er gevormd tijdens de verschillende fasen van het langdurige inkolingsproces. In de loop van de geologische geschiedenis is vaak een groot gedeelte van dat gas uit de steenkool ontsnapt. Een gedeelte bleef in de steenkool achter, waar het merendeels in microporiën opgesloten zit.

Het probleem is nu dat steenkool dit gas niet gemakkelijk vrijgeeft. Slechts een gedeelte van het effectief aanwezige gas is winbaar. Zelfs als men er zou in slagen om maar een fractie van het in de koallagen aanwezige gas te winnen, dan nog spreekt men wereldwijd gezien over een voorraad van duizenden miljarden kubieke meter methaangas.

Gezien deze context en het feit dat SMW nog een vrij jonge bedrijfskundige discipline is, mag men stellen dat er nog heel wat research en exploratie-inspanningen nodig zullen zijn om SMW ook in minder gunstige omstandigheden economisch haalbaar te maken. De internationalisering die de laatste jaren duidelijk op gang gekomen is, zal zonder meer bijdragen tot de verruiming en de verdere ontwikkeling van deze specifieke gaswinningstechnologie.

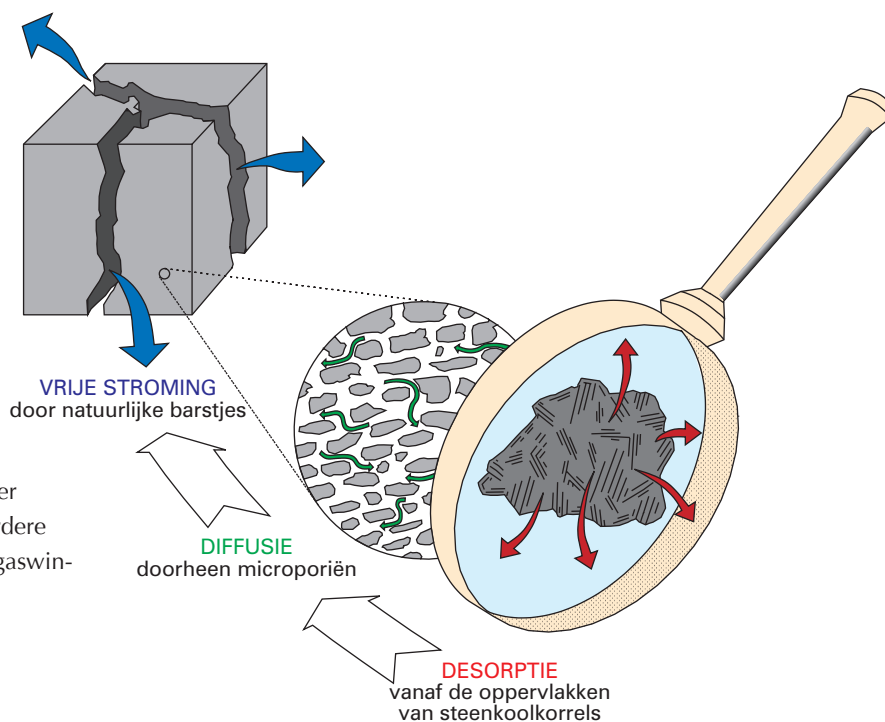
4.B PRODUCTIEMETHODE

Naast het zogenaamde “vrij” gas, dat zich in de macroscheuren en de voor steenkool typische haarscheuren bevindt, is het methaangas grotendeels opgeslagen in de microporiën van de steenkoolstructuur. Om het methaangas uit die interne structuur door desorptie te laten vrijkomen, dient er in het kolengesteente een belang-

rijk drukverschil gerealiseerd te worden tussen de koolmatrix en het geheel van micro- en macroscheuren. Het gas migreert daarbij door diffusie vanuit de poriën naar de microscheuren en stroomt verder via de macroscheuren en geïnduceerde fracturaties naar de productieput (Afb. 6.17).

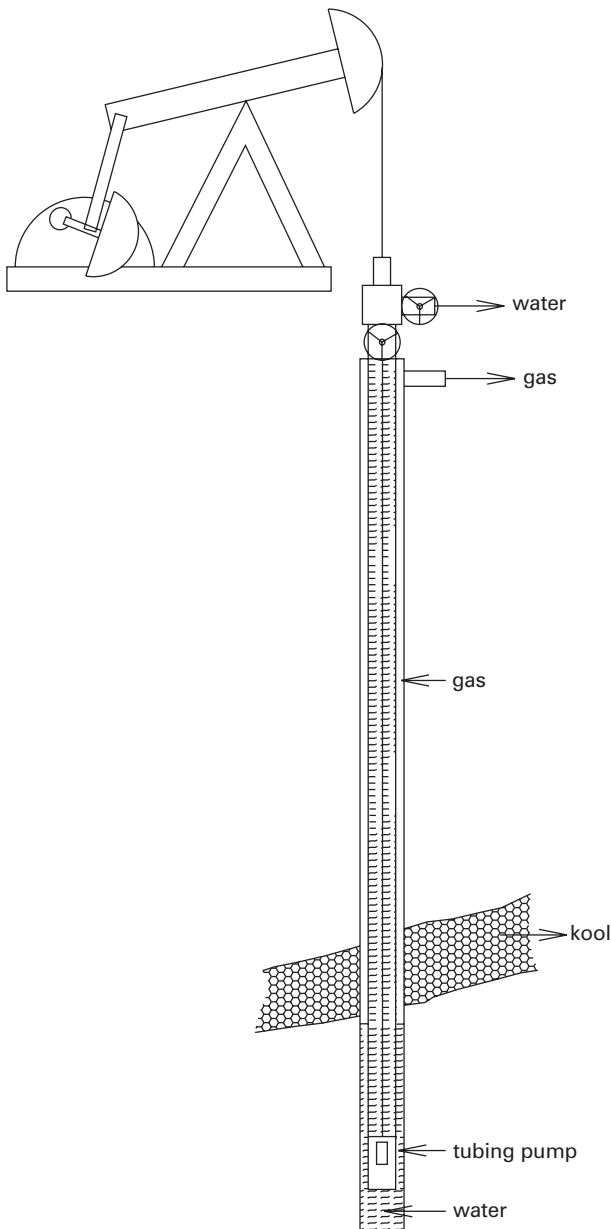
Om de noodzakelijke drukverlaging te creëren, wordt het formatiewater uit het kolengesteente weggepompt met behulp van een diepe ondergrondpomp, die onderaan in de productieput wordt geplaatst. Via een metalen pijpleiding wordt het water naar de bovengrond geperst. Naast de typische oliewinningspomp (ook ja-knikker genoemd) kunnen ook andere types, zoals de Moineau-wormpomp, gebruikt worden (Afb. 6.18).

Het continu wegpompen van het water doet het waterpeil in de put dalen en zorgt voor een voortschrijdende hydrostatische drukverlaging in het kolengesteente. Hoe verder van de put die drukverlaging zich in het kolenterrein kan doorzetten, hoe gunstiger het is voor het volume methaangas, dat in de tijd geproduceerd zou kunnen worden. Omdat steenkool meestal een te geringe doorlatendheid bezit om dit proces op natuurlijke wijze te laten verlopen, tracht men de productiviteit te verhogen door het gasdesorptieproces te stimuleren door middel van geïnduceerde fracturaties. De bedoeling hiervan is om op artificiële wijze lange verticale barsten in het gesteente te realiseren vanuit de productieput. Ze dienen als communicatiekanalen tussen de put en de verder gelegen delen van het kolenreservoir. Er zijn diverse fracturatietechnieken



AFB. 6.17 HOE ONTSNAPT GAS UIT STEENKOOL?

Door diffusie migreert het gas vanuit de poriën van de steenkool via microscheuren en verder via macroscheuren in de steenkoollaag, naar de productieput.



AFB. 6.18 SMW-PROJECT PEER.
Een tubing pump zorgt voor een drukverlaging zodat het aanwezige methaangas uit de steenkool laag kan ontsnappen en aan het aardoppervlak kan gerecupereerd worden.

in gebruik en al naargelang de omstandigheden kan een bepaalde techniek bij voorkeur worden toegepast.

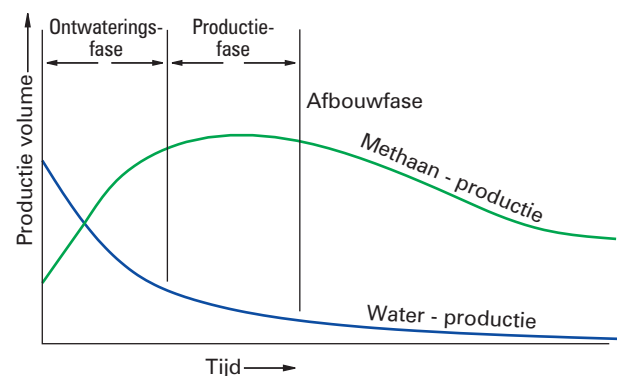
In de beginfase van het productieproces wordt er vrijwel uitsluitend formatiewater naar de oppervlakte gepompt. Naarmate het water uit de koollagen wordt verwijderd en daar dus de hydrostatische drukverlaging zich voortzet, begint er geleidelijk aan een ontgassing op gang te komen. Dit gas stijgt naar de bovengrond via de zgn. annulus (de open ruimte tussen de putverbuizing en de tubingstring). Eerst krijgt men een toenemende gasproductie, die zich gedurende enige tijd enigszins stabiliseert om nadien geleidelijk aan weer af te nemen tot uitputting van het reservoir (Afb. 6.19). Op deze wijze kan een commerciële produc-

tieput 10 tot 20 jaar lang een behoorlijke hoeveelheid gas (gemiddeld 5000 m³/dag of meer) leveren.

4.C SMW-MOGELIJKHEDEN IN HET KEMPENS KOLENBEEKEN

De ondergrond van Limburg bevat nog minstens een reserve van 4 miljard ton exploitatieerbare steenkool. Dit werd aangetoond tijdens een intensieve prospectiecampaignede jaren tachtig, door de Kempense Steenkolenmijnen en de Belgische Geologische Dienst uitgevoerd. Als potentieel exploitatiebaar wordt beschouwd iedere laag van meer dan 90 cm dikte met een netto/bruto koolverhouding van minimaal 50% en gelegen op een diepte van maximaal 1200 m. De totale hoeveelheid aanwezige steenkool (de geologische reserve) kan echter op het dubbele worden geraamd. Deze reserves bevinden zich in een gebied van om en bij de 550 km², gelegen in een strook ten noorden van de mijnstreek.

Aansluitend aan dit intensief geïnspecteerd gebied is er meer noordelijk van de staatsconcessies nog een gebied van ongeveer 400 km², waar de aanwezigheid van steenkool werd aangetoond, maar dat minder goed bekend is en waar er geen intrinsieke steenkoolreserves werden berekend. In totaal, inclusief het mijnontginningsgebied, is er in Limburg een gebied van plusminus 1300 km², waar zich in de ondergrond koolafzettingen bevinden. De geologische hoeveelheid steenkool die zich in dit gebied bevindt is vermoedelijk meer dan 15 miljard ton. Daar nu voor SMW ook veeleer de dikkere koollagen het interessantst zijn, is er waarschijnlijk maar een ontgassingspotentieel van ongeveer 8 miljard ton. In de praktijk zal men daarbij rekening dienen te houden met heel wat bovengrondse restricties, zoals woonkernen, militaire domeinen en milieu-



AFB. 6.19 SMW PRODUCTIE CURVE.

De curve toont aan dat aanvankelijk vooral water geproduceerd wordt. Wanneer voldoende drukontlasting optreedt, verhoogt de methaanproductie totdat ze een plateau niveau bereikt. Na verloop van tijd begint ook de methaanproductie af te nemen. Het ogenblik waarop met de economische ontginning gestopt moet worden, is afhankelijk van de productiekosten en de wereldprijs van het methaan.

technische voorschriften die het ondergrondse potentieel zullen beperken. Het voor SMW in aanmerking te nemen strategische steenkoolpotentieel is sterk afhankelijk van de omvang van deze restricties, die aan produktiemaatschappijen zullen worden opgelegd.

Een andere bepalende factor is de aanwezigheid van methaangas in de steenkool. Hoewel op basis van de beschikbare informatie uit de periode van de mijnexploitatie het Kempens kolenbekken toch als voldoende gasrijk beschouwd kan worden, ontbreekt het nog aan precieze gegevens. Om hierover meer uitsluitsel te krijgen zijn er meerdere exploratietesten in het gebied noodzakelijk. Wat in de praktijk duidelijk naar voren komt is dat de gasinhoud in koollagen sterk van laag tot laag, en lokaal kan verschillen. Dit kan variëren van 3 tot 15 m³ gas/ton steenkool.

Het is bekend dat steenkool slechts een gedeelte van het aanwezige gas vrijgeeft. Die vrijgelaten hoeveelheid wordt sterk beïnvloed door de doorlatendheid van de kolen en de verzadigingsgraad van het gas in de koollagen. Deze informatie is ook slechts via meerdere exploratietests op een betrouwbare manier te achterhalen.

Gezien het voorgaande is het zonder praktische resultaten van een aantal exploratietests, zeer moeilijk om betrouwbare prognoses te doen over produktiemogelijkheden voor methaangas. Op basis van zeer ruwe benaderingen zou men het winbaar gaspotentieel zonder de invloed van allerlei restricties in het Kempens kolenbekken op ongeveer 50 miljard m³ kunnen ramen.

Een verder te vermelden mogelijkheid zou kunnen zijn dan men in de toekomst ook methaangas zou winnen uit de mijngebieden eventueel in combinatie met SMW. Ook dit vergt nader onderzoek, voordat men tot realistische evaluaties kan komen.

4.D REALISATIE VAN EEN SMW-TESTPROJECT IN PEER: EEN INITIATIEF VAN HET VLAAMSE GEWEST

Het idee om in het Limburgse kolenbekken een SMW-test te realiseren is geleidelijk aan gegroeid. De interesse voor SMW werd opgewekt toen in 1990 de Amerikaanse maatschappij UTP (Union Texas Petroleum) vrij concreet geologische informatie opvroeg over het Kempens kolenbekken en tevens bij de Vlaamse Administratie informeerde naar de mogelijkheden tot concessieverwerving voor het winnen van gas uit steenkoollagen.

Mede daardoor heeft de Belgische Geologische Dienst (BGD) er in 1990 bij de Vlaamse overheid op aangedrongen om een onderzoeksboring te verrichten naar het aardgaspotentieel in Limburg. In samenspraak met de afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (ANRE) werd er geopteerd voor een demonstratieproject om via de realisatie van een praktische test toch een inzicht te verkrijgen in een aantal tot nog toe onbekende parameters. Dit zou

kunnen bijdragen tot een meer realistische inschatting van de SMW-mogelijkheden in het Kempens kolenbekken. Het zou nog tot einde mei 1992 duren, voor het licht op groen werd gezet voor de uitvoering van de betreffende diepboring. Het betrof hier immers een eerste test in zijn soort. Wel beseffend dat één test zeer leerzaam kon zijn, maar dat het zeker als statistische basis onvoldoende informatie zou opleveren om de mogelijkheden van het Bekken van de Kempen in zijn totaliteit te kunnen inschatten. Het welslagen van dit project zou mogelijk een stimulans kunnen zijn om een nieuwe industriële sector in Limburg tot ontwikkeling te brengen.

De diepboring zorgde voor de basisinformatie (kolenkernen voor monsternamen en onderzoek, ligging en dikte van de koollagen), die nodig was om de verdere projectfasen voor te bereiden. In eerste instantie betrof dit het zogenaamde "putafwerking en stimulatieprogramma" (= het klaarmaken van de testput voor de produktietest) en direct daarop aansluitend de uitvoering van de test zelf. Een groot aantal aspecten daarvan waren vrij specifiek. Daardoor was er een reële behoefte aan een ruimere internationale samenwerking. Met de Rijks Geologische Dienst (RGD) uit Nederland kwam een samenwerkingsovereenkomst tot stand.

In samenspraak met Amerikaanse specialisten werd er een "afwerkings"-programma uitgewerkt, waarin zowel technische innovaties als varianten qua aanpak werden verwerkt. Op de KS, die eveneens in het project participeerde, kon gerekend worden voor een gedeelte van de testuitrusting en voor het uitvoeren van de operationele taken gedurende het testverloop. De hierboven omschreven voorbereiding kon half 1993 worden afgerond. De aanvang van de ultieme fase met de uitvoering van de putafwerking werd gepland op 6 september 1993.

Het verdere testverloop is eigenlijk in drie periodes in te delen, overeenkomstig de tijds spannen dat de continuïteit van het pompen gehandhaafd kon worden.

Bij de aanvang van het testprogramma werd er gesteld dat één jaar testen voldoende moest zijn om de nodige informatie te verzamelen, teneinde een zinvolle evaluatie te doen. Een aantal technische problemen niet te na gesproken slaagde het projectteam erin om de test één jaar lang continu 24 u. op 24 u. voort te zetten. Tijdens deze periode (1/10/1993 - 26/09/1994) kon er geen betekenisvolle ontgassing worden gerealiseerd. Er waren aanwijzingen dat er wel een duidelijke drukverlaging in het kolenreservoir werd gecreëerd en dat er op kleine schaal (enkele m³ CH₄/u) ontgassing plaatsvond. Een betekenisvolle gasproductie was er echter niet. Er bleef voortdurend formatiewater in de put stromen, waardoor het weg te pompen debiet vrijwel constant bleef, terwijl dit normalerwijze met de tijd dient af te nemen. Meer dan waarschijnlijk had dit te maken met de geologie van de ondergrond in de naaste omgeving van de testput. De uitgestrekte tectonische (door breuken beïnvloede) zone in het kolengesteente nabij de Donderslag

breuk waarin de testput uitkomt, zorgde ervoor dat er formatiewater van steeds verder weg werd aangevoerd. Hierdoor is er een ruimer gedeelte van het steenkoolterrein ontwaterd, waardoor de noodzakelijke drukverlaging om een duidelijk ontgassingspatroon te verkrijgen vooralsnog niet werd bereikt.

4.E SMW-PROSPECTIVITEIT NA DE UITVOERING VAN DE SMW-TEST IN PEER

Ondanks de tegenvallende ontgassingsresultaten is de SMW-test in Peer engineeringsgewijze gezien goed verlopen, en heeft de praktische uitvoering van de test in ieder geval een belangrijke hoeveelheid technologische en praktische informatie opgeleverd die zeer nuttig kan zijn bij eventuele verdere exploratieprojecten.

Het resultaat van deze test onderstreept eens te meer dat een geïsoleerde test niet voldoet als statistische basis om een kolenbekken te evalueren aangaande de winningsmogelijkheden voor methaangas. Wel is het een belangrijke bron aan informatie om de volgende testen nog effectiever voor te bereiden. Zo bevestigt de test in Peer dat de Limburgse kolen over het algemeen een lage permeabiliteit hebben, maar dat daarnaast een redelijke tot gunstige gasinhoud verwacht kan worden. Het komt er hierbij onder meer op aan om zorgvuldig de meest interessante plaatsen (betere permeabiliteiten, minimale onderverzadiging van het gas in de steenkool) op te sporen.

Men mag daarom verwachten dat als verdere exploraties in de toekomst zouden leiden tot productie-eenheden, die eerder kleinschalig zullen zijn en gespreid zullen liggen over het Kempens kolenbekken. Waarschijnlijk zullen verdere exploratietesten of meer uitgebreide proefprojecten initiatieven zijn die genomen worden door privé-maatschappijen al dan niet met medewerking van de overheid. Dit zal echter slechts kunnen gebeuren in het kader van een duidelijke concessiewetgeving.

Het voorkomen van methaangas in het Limburgse steenkoolbekken is niet echt te beschouwen als een strategische voorraad voor ons land. Momenteel voert België jaarlijks ruim 10 miljard m³ aardgas in. Verwacht wordt dat dit verbruik in de toekomst nog zal toenemen. In het beste geval en onder voorbehoud van gunstige resultaten bij verdere exploraties, zou uit de steenkool met de tijd maximaal ongeveer 1 tot 1,5 miljard m³ per jaar methaangas gewonnen kunnen worden. Zeker geen verwaarloosbare hoeveelheid, weliswaar minder doorslaggevend voor de nationale bevoorrading, maar plaatselijk gezien in een geïntegreerde context, gericht op de bevoorrading van nabijgelegen grote (industriële) afnemers, is deze hoeveelheid wel degelijk van wezenlijk belang.

5 DIEP GAS

J. Van Orsmael

5.A ALGEMENE BEGRIPPEN

Hoewel de meeste theorieën over het ontstaan van olie- en gasvelden uitgaan van een biologische oorsprong van deze koolwaterstoffen, werd in de vroegere Sovjetunie een theorie ontwikkeld die deze biologische oorsprong voor sommige olie- en gasvelden aanvecht. Het betreft hier de theorie van het diepe abiogene gas, ook genoemd de theorie van de mantelontgassing. Wegens de koude oorlog bleef deze theorie lange tijd onbekend in het Westen en pas sinds de val van het IJzeren Gordijn bereikte ons meer informatie.

De theorie steunt op thermodynamische en cosmochemische overwegingen. Een eerste belangrijk observatiepunt betreft de samenstelling van de atmosfeer van de planeten van het zonnestelsel. In de zogenaamde binnenplaneten (Mercurius, Venus, Aarde en Mars) komt koolstof in de atmosfeer voor in de vorm van koolstofmonoxide (CO) en koolstofdioxide (CO₂). In de buitenplaneten (Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus) daarentegen komt atmosferische koolstof voor in de vorm van methaan (CH₄), het gas dat ons beter bekend is als aardgas. Aangezien de atmosfeer van planeten gevormd wordt door ontgassing van de planeet zelf, rijst de vraag waarom dit verschil en vooral of er op de Aarde ook methaanontgassing plaatsvindt? Door de aanwezigheid van vrije zuurstof in de aardse atmosfeer ten gevolge van fotosynthese door planten, zou dit methaan immers in een kleine tijdspanne omgezet worden in koolstofdioxide of -monoxide en water.

In dit verband is het belangrijk om een juist inzicht in de samenstelling van de Aarde te verkrijgen. Uit geofysische observaties is gebleken dat de aarde uit 3 elkaar omvattende delen bestaat (kern, mantel en korst). Van deze 3 delen is enkel de korst toegankelijk voor direct onderzoek door middel van boringen, en onze kennis van de samenstelling en eigenschappen van kern en mantel zijn voornamelijk gebaseerd op de studie van meteorieten. De meteorieten ontstonden gelijktijdig met ons zonnestelsel en stellen ons dus in staat de samenstelling van zowel kern als mantel te reconstrueren. Belangrijk hierbij is dat er 2 volledig verschillende families van meteorieten bestaan.

De eerste groep omvat de zogenaamde ijzermeteorieten. Ze werden duidelijk op zeer hoge temperatuur gevormd en bezitten een zeer hoge dichtheid die overeenkomt met de geofysische waarnemingen over de aardkern. Belangrijk is wel dat deze ijzermeteorieten slechts een zeer kleine hoeveelheid gasvormige elementen bevatten, met als besluit dat de aardse atmosfeer niet afgeleid kan worden uit de kern.

Een tweede hoofdgroep bestaat uit de steenmeteorieten. Deze meteorieten vormden zich bij een lagere temperatuur en bevatten relatief hoge concentraties aan gas-

vormige bestanddelen en water die tijdens een verhitting van het materiaal uitgestoten kunnen worden. Een belangrijke subgroep van deze meteorietenfamilie wordt gevormd door de koolstofhoudende steenmeteorieten die tot 5% ongeoxideerde koolstof kunnen bevatten. Deze koolstof komt voor in de vorm van koolwaterstoffen. Bij een verhoging van druk en temperatuur, ten gevolge van een diepere begraving, zal dit materiaal naast stikstof en water ook methaan uitstoten.

5.B ABIOGEEN GAS OP AARDE EN IN VLAANDEREN

Uit het voorgaande blijkt dat de aardse atmosfeer voornamelijk moet ontstaan zijn door ontgassing van de mantel.

Kan dit fenomeen van mantelontgassing effectief methaan naar het aardoppervlak laten ontsnappen?

De meest spectaculaire vorm van bijkomende creatie van atmosfeer kunnen we momenteel bestuderen bij vulkaanuitbarstingen. Tijdens een uitbarsting worden nl. grote hoeveelheden water en koolstof aan de atmosfeer toegevoegd. Wel is het duidelijk dat de koolstof voornamelijk in de vorm van koolstofdioxide vrijkomt. Dit is niet verwonderlijk doordat een magmakamer een oxiderende omgeving is. Dit impliceert dat eventueel binnendringend methaangas zal reageren met de voorradige zuurstof om aldus koolstofdioxide en water te vormen. Om methaanontgassing te registreren moeten we ons dus op niet-vulkanisch actieve gebieden concentreren.

Zo belanden we bij de zogenaamde zandvulkanen. In tegenstelling tot echte vulkanen worden deze zandvulkanen niet gevormd door een eruptie van lava, maar door de opwelling van een modderbrij. Deze modderbrij wordt gevormd doordat een opwellend gas zich mengt met een waterhoudend niet geconsolideerd fijnkorrelig gesteente. Belangrijk hierbij is dat een uitbarsting van een zandvulkaan frequent gepaard gaat met de uitstoot van brandbaar gas (meestal methaan, hoewel ook andere koolwaterstoffen aanwezig kunnen zijn). Ook is in sommige oude schildgebieden het voorkomen van methaan in breukzones gerapporteerd. Dit methaangas kan enkel uit de mantel afkomstig zijn.

Nu we de gebieden waar mogelijk methaanontgassing plaats kan vinden beter gedefinieerd hebben, rest ons nog het antwoord op de vraag hoe we zulk abiogeen gas kunnen herkennen.

Het grote verschil tussen biogeen en abiogeen gas ligt in zijn ontstaansomgeving. Biogeen gas is namelijk afgeleid uit sedimentaire gesteentes die arm zijn aan radioactief materiaal, en meestal is het migratiepad naar de uiteindelijke economische concentratieplaats relatief kort. Abiogeen gas daarentegen ontstaat in een omgeving met een hogere radioactiviteit en moet ook over een grotere

afstand migreren alvorens het aardoppervlak of een mogelijk economische concentratieplaats te bereiken. In zulk een radioactieve omgeving wordt door radioactief verval van uranium en thorium het edelgas helium gevormd. In normale omstandigheden blijft dit edelgas in het gesteente ingesloten. Indien evenwel een ander gas zoals methaan door dit gesteente migreert zal het helium in dit migrerende gas opgenomen worden. Door hun kleinere atoomradius zullen helium en stikstof tijdens de verdere migratie nog preferentieel aangerijkt worden. We verwachten dus een gas dat naast methaan ook helium en een belangrijke hoeveelheid stikstof zal bevatten.

Zijn er economisch winbare gasvelden bekend met zulke hoge helium- en stikstofgehaltenes?

Hoewel de meeste aardgasvelden als voornaamste bestanddeel methaan bevatten, zijn er ook aardgasvelden bekend die voldoen aan de criteria om mogelijk tot de klasse der abiogene gasvelden gerekend te worden.

Zo kent men het Panhandle gasveld in de USA dat naast methaan tot 50% stikstof en 2% helium bevat. Dichter bij ons zijn er de gasvelden in het Sudetische voorland van Polen, die naast methaan gemiddeld 40% stikstof en tot 2% helium bevatten. Deze laatste gasvelden zijn gesitueerd in een geologische omgeving die een sterke overeenkomst vertoont met die in Vlaanderen.

Wat is nu de relevantie van al het voorgaande voor Vlaanderen?

Onder impuls van het Vlaamse Gewest werd een onderzoek uitgevoerd naar aardgasanomalieën in de ondergrond boven het Massief van Brabant, dat een oud sokkelgebied is. Uit deze studie bleek dat boven breukzones in dit massief aardgasanomalieën in de bodem aangetroffen werden en dat deze bovendien ook gepaard gingen met verhoogde heliumconcentraties. Beide observaties wijzen erop dat het bovenvermelde mechanisme van mantelontgassing momenteel werkzaam zou kunnen zijn in Vlaanderen. Dit impliceert dat grote gebieden van Vlaanderen, rond het Massief van Brabant, een potentieel voor aardgas zouden kunnen bezitten. Deze theorie moet evenwel nog verder onderzocht worden voordat meer definitieve en zeer dure exploratieactiviteiten overwogen kunnen worden.

6 OPSLAG VAN AARDGAS

R. Van Elst en L. Wouters

6.A INLEIDING

Het aardgasverbruik is gedurende het jaar onderhevig aan gevoelige schommelingen die grotendeels beïnvloed worden door de omgevingstemperatuur, en dit vanwege het belang van het gasverbruik voor verwarmingsdoeleinden. In tegenstelling tot andere energiebronnen kan aardgas, dat verdeeld wordt door een netwerk van pijpleidingen, evenwel niet worden opgeslagen door de

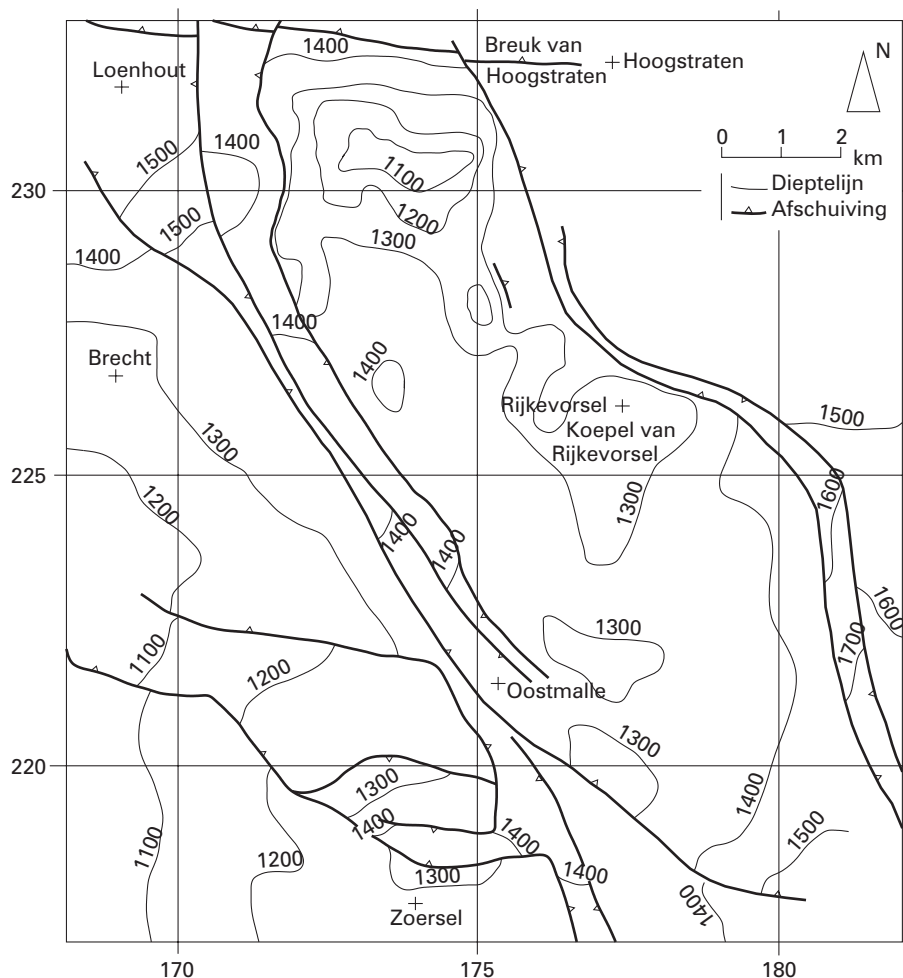
verbruikers zelf. Door het wisselvallige karakter van het aardgasverbruik enerzijds en het min of meer constante verloop van de aardgasbevoorrading uit Noorwegen en Algerije anderzijds, is Distrigas verplicht om over opslagcapaciteit te beschikken.

In het algemeen worden, - naast (dure) bovengrondse opslag van vloeibaar aardgas (LNG) in cryogene tanks -, vier types van ondergrondse gasopslag gebruikt: in uitgeputte olie- of gasvelden, in uitgeloopte holtes in zoutlagen, in verlaten koolmijnen (in België te Anderlues) en in watervoerende lagen. Het is dit laatste type van opslagruimte dat Distrigas sinds 1985 met succes in Loenhout (Wuustwezel) uitbaat. Het principe van de ondergrondse opslag in watervoerende lagen bestaat erin een kunstmatige aardgasbel te scheppen door het water dat zich in de poriën van het reservoir bevindt weg te duwen, en de aldus vrijgekomen poriënruimte met gas te vullen. De exploitatie van het reservoir verloopt in afwisselende cycli van injecteren en onttrekken: de opslagruimte wordt gevuld in de zomer, wanneer er een overschot aan aardgas is, tijdens de winter wordt de opslag leeggemaakt om het tekort aan aardgas op te vangen. Door hun aard zelf lijken de ondergrondse opslagplaatsen in watervoerende lagen zeer op natuurlijke olie- of gasbronnen.

6.B DE GEOLOGISCHE ASPECTEN VAN DE GASOPSLAG VAN LOENHOUT

Het reservoir ligt in de verkarste en watervoerende kalkstenen van het Viseaan (Onder-Carboon). De topografie van het Viseaan is in afbeelding 6.20 weergegeven. Deze reliëfkaart is het resultaat van tientallen jaren exploratie door middel van gravimetrische opnames, groot- en kleinschalig seismisch onderzoek, boringen, geofysische boorgatmetingen en verticale seismische profielen.

Geologisch wordt het gebied gekarakteriseerd door het voorkomen van koepelvormige structuren in de Viseaan-kalkstenen. De grootste is ongetwijfeld de Koepel van Heibaart. De bovenste meters van de kalkstenen zijn gespleten en verkarst. Aldus zijn ze nu watervoerend en heel doorlatend.



AFB. 6.20 DIEPTEKAART VAN DE TOP VAN HET VISEAAN IN DE OMGEVING VAN LOENHOUT

Uit de afbeelding blijkt dat de structuur in Loenhout zeker tot het niveau van 1300 meter gesloten is. De belangrijkste breuken in het gebied werden eveneens aangeduid.

Hoe zijn dit uitgesproken reliëf en de verkarsting van de Viseaan-kalkstenen nu ontstaan?

De Viseaan-kalkstenen in het gebied zijn afgezet in de overgangszone tussen het kustbereik en de open zee, dus in ondiepe mariene omstandigheden. De pas afgezette kalklagen werden opgeheven waardoor ze boven de zeespiegel kwamen te liggen. Door de rekrachten die bij deze opheffing gepaard gingen, ontstonden op grote schaal richelvormige depressies of slenken, op kleine schaal vormden er zich spleten in de kalksteen.

Het gebied werd dus gecompartmenteerd door diepe noordnoordwest-zuidzuidoost en westnoordwest-oostzuidoost georiënteerde slenken, soms meer dan 200 m diep ten opzichte van de hoger gelegen blokken. Ze zijn begrensd door steile breuken en moeten in het toenmalige landschap eveneens een drainagefunctie gehad hebben waardoor ze nog verder werden uitgediept door oplossing en uitschuring.

De kalkstenen waren nu ook blootgesteld aan weer en wind: ze ondergingen een chemische verwerking. Door oplossing van de kalk werd het bestaande netwerk van rek-

spleten verwijd en ontstonden eveneens grotere karst -of oplossingsholten. Het voorkomen van gelijkaardige reservoirs op verschillende diepten in de kalksteenmassa wijst erop dat de opheffing met spleetvorming gevolgd door oplossing zich meerdere malen heeft voorgedaan tijdens de afzetting van de kalkstenen. De laatste opheffing en de daaropvolgende verwerking aan het einde van het Viseaan is de meest effectieve geweest, waardoor er een paar tientallen meter dik, continu spleetreservoir ontstond.

Na een periode van enkele miljoenen jaren overspoelde de zee het verkarste landschap en werden kleirijke sedimenten afgezet waarvan een deel de spleten en holten opvulde. Deze Namuriaan-schifers zorgen voor een ideale ondoorlatende laag.

En zo werden alle drie de voorwaarden vervuld om gasopslag mogelijk te maken. De aanwezigheid van een poreus en doorlatend gesteente dat het geïnjecteerde gas kan opvangen, is een eerste vereiste. De porositeit van het reservoirgesteente zal bepalen hoeveel aardgas men per volume-eenheid kan opslaan; de doorlatendheid is een maat voor het vermogen waarmee het gas via de poriën door het gesteente heen kan bewegen. Ten tweede dient het reservoir afgesloten te zijn door een voldoende dikke en ondoordringbare deklaag. Als laatste voorwaarde moet de deklaag een structurele val vormen voor het aardgas. In Loenhout is het een koepel waarin het gas gevangen blijft. Andere vormen van vallen zijn eveneens mogelijk zoals wig- en lensvormige reservoirs en hellende reservoirs afgesneden door een afsluitende laag of door een ondoorlatende breuk.

6.C DE EXPLOITATIE VAN DE GASOPSLAG VAN LOENHOUT

6.C.1 ALGEMENE INFORMATIE

De top van de Koepel van Heibaart bevindt zich op een diepte van 1080 m onder zeeniveau. Een maximale ontginning van de structuur is mogelijk (binnen de huidige kennis van de ondergrond) tot een diepte van 1295 m onder zeeniveau. Het totale opslagvolume bedraagt dan ongeveer 1150 miljoen Nm³ (volume bij een druk van 1 atm. en bij een temperatuur van 0°C). Het is onvermijdelijk dat na een normale destockageperiode een zekere hoeveelheid gas in het reservoir achterblijft. Een deel blijft gevangen in een deel van de poriën van het gesteente, een ander deel wordt bewust in het reservoir gehouden om een voldoende druk te behouden en om het “verdrinken” van de putten tegen te gaan. Het gas dat aldus in het reservoir achterblijft, wordt “kussengas” genoemd en bedraagt ongeveer de helft van het totale opgeslagen volume. Het deel dat wel gedestockeerd kan worden, omschrijft men als “nuttig” gas of nuttig volume.

De uitrusting van de gasopslag bestaat enerzijds uit de boringen of putten die de verbinding vormen tussen het ondergrondse reservoir en de bovengrond, en anderzijds

uit de bovengrondse installaties voor de behandeling van het gedestockeerde of te injecteren aardgas.

6.C.2 DE PUTTEN

De exploitatieputten zijn door middel van pijpleidingen met het gasbehandelingsstation verbonden. Deze putten kunnen zowel voor injectie als voor destockage gebruikt worden. Een ander type van putten zijn de controleputten. De grensvlakcontroleputten zijn in de gasopslag geboord en maken het mogelijk het niveau van het grensvlak gas-water te meten of te berekenen. De omtrekscontroleputten worden eveneens tot in het reservoir geboord, maar in de periferie van de opslag. Samen met de grensvlakcontroleputten vormen ze een controlesysteem dat het mogelijk maakt om de laterale sluiting van de gasbel te verifiëren en te garanderen. Als laatste zijn er nog controleputten die geboord worden in de bovenliggende lagen. Deze putten vormen een controleapparaat dat het mogelijk maakt de verticale sluiting van de gasbel (ondoordringbaarheid van de deklaag) te allen tijde na te gaan.

Na de uitbreidingswerkzaamheden zullen er voor de opslag te Loenhout 9 exploitatieputten in gebruik zijn, verspreid over 4 exploitatieplatformen. Daarbij komen er nog 9 grensvlakcontroleputten, 5 omtrekscontroleputten en 9 controleputten in bovenliggende lagen (5 in het Krijt, 4 in het Eoceen). Alle putten die tot in het reservoir geboord zijn, zijn voorzien van een ondergrondse veiligheidsafsluiter die automatisch de bovengrond isoleert van de gasopslag in geval van anomalieën.

6.C.3 DE BOVENGRONDSE INSTALLATIES

Bij de bovengrondse installaties kan een onderscheid worden gemaakt tussen de installaties die aangewend worden voor injectie van het gas, en de installaties die aangewend worden gedurende de destockageperiode.

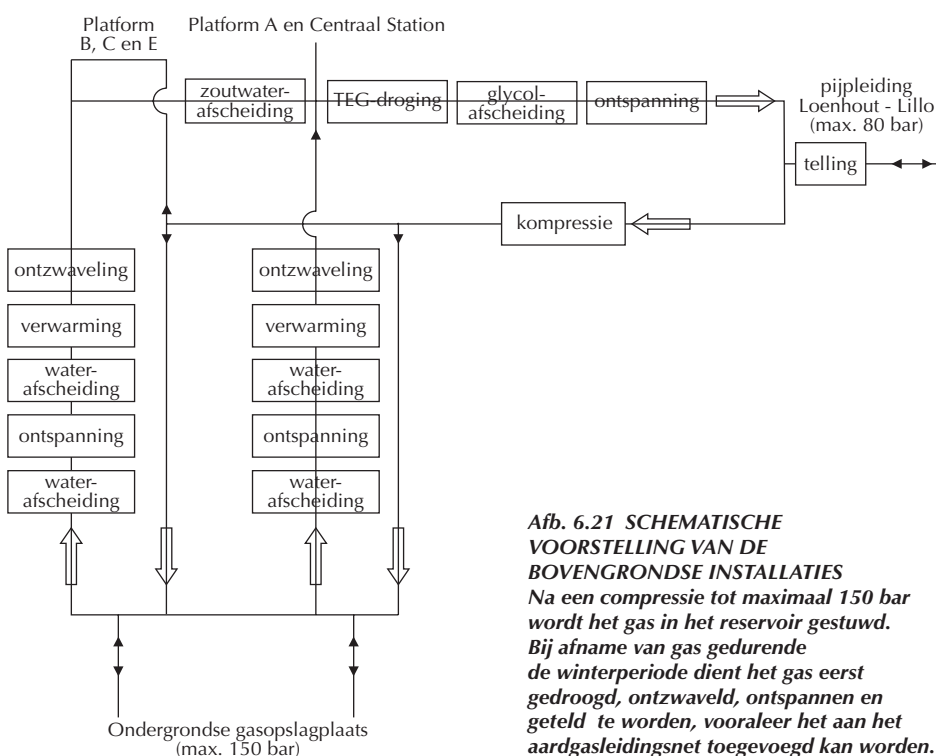
Via de leiding Lillo-Loenhout wordt hoogcalorisch aardgas aangevoerd met een druk van 60 tot 80 bar. Voordat het gas wordt gecompriëerd, wordt het eerst gefilterd en geteld (Afb. 6.21). De compressie zelf gebeurt door middel van zuigercompressoren. Na een koeling te hebben ondergaan wordt het gas dan geïnjecteerd in het reservoir via één of meer exploitatieputten.

Bij de destockage is het drukverschil tussen de opslag, - de maximale opslagdruk bedraagt 150 bar -, en het leidingnetwerk (maximaal 80 bar) normaal voldoende om een gasdebiet uit het reservoir te onderhouden. Het debiet hangt af van de doorlatendheid van en de druk in het reservoir, de hoeveelheid water die wordt meegesleurd met de gasstroom, de dimensies van de leidingen en putten en de positie van de regelafsluiters.

Het gas stroomt uit de putten met een temperatuur van ongeveer 40°C, is verzadigd met water en bevat sporen van waterstofsulfide. De aanwezigheid van waterstofsulfide in het gas is een veel voorkomend verschijnsel in gasopslagen

in watervoerende lagen en ook in vele natuurlijke olie- en/of gasbronnen, en ontstaat door het contact van het gas met in het reservoir voorkomende zwavelhoudende mineralen.

Opdat het gas kan voldoen aan de leidingspecificaties, dient het te worden ontdaan van het aanwezige water en de onzuiverheden (zwavel en stofdeeltjes). Bij het verlaten van de productieputten vindt een eerste waterafscheiding plaats in een cycloonafscheider. Deze afscheider verwijdert de kleine hoeveelheden vrij water en eventueel aanwezige vaste deeltjes die in de gasstroom kunnen voorkomen. Dan wordt het gas opgevangen per exploitatieplatform, ontspannen tot 110 bar en naar een tweede afscheider geleid die het aanwezige vrije water verwijdert dat door de drukval is ontstaan. De volgende behandeling is de ontzwaveling. De eerste stap van deze ontzwaveling bestaat uit een opwarming van het gas tot ongeveer 55°C om de relatieve vochtigheid van het gas te verlagen tot 80%. Dit is noodzakelijk om de goede werking van de tweede stap te garanderen. In deze tweede stap wordt het gas over een actiefkoolfilter geleid die de aanwezige zeer kleine hoeveelheden zwavel uit de gasstroom adsorbeert. Het ontzwavelde gas van de verschillende exploitatieplatformen wordt dan geleid naar het centraal station om verder te worden gedroogd. Hiertoe wordt het gas gekoeld tot 38°C door middel van luchtkoelers. Het vrije water dat hierdoor wordt gevormd, wordt afgescheiden in de separatorsectie van de droogtorens. Vervolgens wordt het gas chemisch gedroogd door het in de droogtoren te laten stromen door een tegenstroom van tri-ethyleenglycol. Het gedroogde gas wordt ontspannen tot netdruk, geteld en vervolgens geïnjecteerd in het leidingnetwerk.



Afb. 6.21 SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN DE BOVENGRONDSE INSTALLATIES
Na een compressie tot maximaal 150 bar wordt het gas in het reservoir gestuwd. Bij afname van gas gedurende de winterperiode dient het gas eerst gedroogd, ontzwaveld, ontspannen en geteld te worden, vooraleer het aan het aardgasleidingsnet toegevoegd kan worden.

6.D OMGEVING

In tegenstelling tot bovengrondse opslag tanks veroorzaakt ondergrondse gasopslag, zoals die in Loenhout wordt toegepast, weinig of geen hinder voor de omgeving.

De bovengrondse installaties werden opgericht in een agrarisch gebied zonder veel woningen. Bovendien streeft men ernaar de visuele hinder zo veel mogelijk te beperken door de installaties in het landschap te integreren door middel van beplantingen rondom de platformen.

7 GEOTHERMISCHE ENERGIE

N. Vandenberghe

7.A INLEIDING

Geothermische energiewinning houdt in dat men de warmte die in de aarde opgesloten ligt als bron van energie ontgint. Die warmte in de aarde is ten dele te danken aan de nog steeds zeer hete kern van de aarde die haar warmte afvoert naar de koelere buitenkant. Deze grote hitte binnenin de aarde, zo een goede 4000°C, is nog een restant van het vormingsproces van de aarde, waarbij ze in het begin van haar ontstaan volledig opsmolt. Het is trouwens ook door deze warmte dat de gesteenten diep in de aarde een trage kruip kunnen ontwikkelen waardoor uiteindelijk de tektonische platen aangedreven worden en de hele dynamiek van de aarde onderhouden wordt. Een ander belangrijk deel van de aardwarmte in de continenten is afkomstig van de desintegratie van radioactieve elementen die aanwezig zijn in het korstgesteente.

Het ontginnen van deze warmte kan gebeuren wanneer in de poriën van die warme gesteenten ook een fluïdum aanwezig is, gas, of zoals

meestal het geval is, water, dat via boorgaten onder invloed van de eigen reservoirdruk en geholpen door pompen, naar de oppervlakte kan worden gebracht. Op verschillende manieren kan de energie er dan aan de oppervlakte uit geëxtraheerd worden. Het idee om de warmte uit hete droge gesteenten te halen, via een kunstmatig veroorzaakt splotennet waarin een vloeistof wordt ingepompt, wordt op een aantal plaatsen ook daadwerkelijk uitgetoet, maar is wel nog in een onderzoeksstadium.

In alle projecten van geothermische energiewinning is er een economische grens aan de

maximale diepte van de exploitatie die met name opgelegd wordt door de boorkosten.

7.B DE SOORTEN GEOTHERMISCHE ENERGIEWINNING

Een alledaagse toepassing zoals het gebruik van een warmtepomp in een woning is in feite al een vorm van het gebruiken van de aardwarmte. De gewonnen warmte wordt immers gehaald uit een kleine afkoeling van het grondwater dat zich dicht tegen de oppervlakte bevindt.

Er bestaat ook een diepere variant van deze warmtepomp voor huisverwarming die de energie uit iets diepere grondwaterlagen haalt waardoor het ingangswater al een lichtjes hogere temperatuur heeft.

Nog altijd relatief lage temperaturen kunnen toch al een belangrijke bijdrage leveren in lokale projecten zoals bijvoorbeeld de verwarming van zwembadwater of het rechtstreeks gebruik van het grondwater daarvoor, al dan niet met therapeutische eigenschappen. Ook voor het stimuleren van de groei van biomassa wordt soms warm grondwater aangewend.

Doubletsystemen worden gebruikt wanneer relatief grote debieten opgepompt kunnen worden uit watervoerende lagen met temperaturen die hoger zijn dan ongeveer 60°C. Het woord doublet verwijst naar het gebruik van twee boorgaten. Via het ene wordt het warme water naar boven gepompt, het wordt aan de oppervlakte in een warmtewisselaar afgekoeld door een werkfluidum van niet corrosief water dat dan verder de warmte verdeelt in de te verwarmen ruimtes. Deze zijn meestal woningblokken, andere grote gebouwen of serres in de glastuinbouw. Via de tweede boring wordt het afgekoelde water opnieuw in het oorspronkelijke reservoir gepompt. Deze reinjectie, net trouwens als de warmtewisselaar, is nodig vanwege het meestal hoge zoutgehalte van warmere en dus diepere grondwaterlagen. Door het water weer in het reservoir te injecteren zal die reservoirdruk trouwens op peil gehouden worden en meteen dus ook de opgepompte debieten. De gekozen afstand tussen het oppomppunt en het reinjectiepunt in het reservoir zal de leefduur van een doubletsysteem in grote mate bepalen.

Om elektriciteit te kunnen produceren met geothermische fluida moet normaliter een temperatuur van 150°C overschreden zijn. Het is evenwel ook mogelijk om met lagere temperaturen turbines aan te drijven voor de productie van elektriciteit, maar dan via een speciaal werkfluidum dat een verdampingstemperatuur heeft die lager ligt dan die van water. Een dergelijk binair systeem is maar economisch verantwoord als er geen bestaand elektriciteitsnet in de omgeving bestaat.

In gebieden met een recent tot subrecent vulkanisme is het mogelijk om op aanboorbare dieptes fluida te vinden met hogere temperaturen dan 150°C. Ofwel is in de onder-

grond zelf al stoom aanwezig ofwel is, zoals in de meeste gevallen, heet water aanwezig dat vloeibaar gebleven is door de hogere druk in de ondergrond. Stoom wordt dan gegenereerd door de drukverlaging bij het bovengronds komen van het water.

Deze vorm van hoogwaardige geothermische energiewinning is een hernieuwbare energiebron, omdat de warmtetoevoer in deze vulkanische gebieden aanzienlijk is. Bij de exploitatie van laagwaardige geothermische energie uit diepe watervoerende lagen in een sedimentair bekken voor verwarming van gebouwen of serres kan deze energiewinning niet meer als hernieuwbaar bestempeld worden, omdat de warmte-uitstroom uit de aarde onvoldoende snel gebeurt om de onttrekking van warmte te compenseren.

Geothermische energiewinning vanuit een dergelijk hoge temperatuur fluida heeft ook een aantal andere industriële toepassingen waaronder vooral droogprocessen.

7.C DE TOEPASSING VAN GEOTHERMISCHE ENERGIEWINNING IN ONS LAND

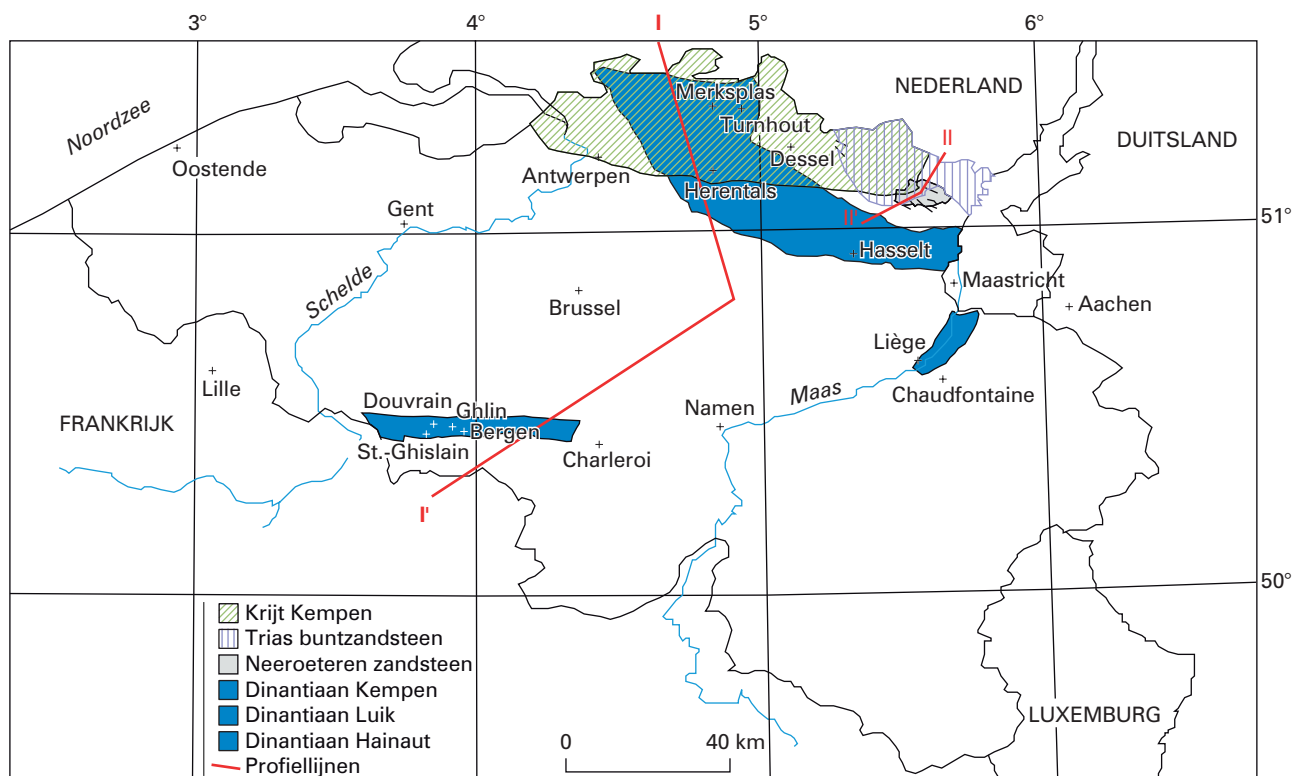
Gezien de geologische ligging van ons land is de winning van hoogwaardige geothermische energie met rechtstreekse elektriciteitsproductie niet mogelijk.

Voor laagwaardiger toepassingen komen wel een aantal watervoerende lagen in aanmerking.

Watervoerende lagen met temperaturen boven de 25°C en tot ongeveer 40°C bevinden zich in Krijtlagen onder de Kempen in Noord-België (Afb 6.22). Bundsandsteen watervoerende zandstenen bevinden zich in het noordoosten van Vlaanderen en hebben temperaturen van een veertig graden tot meer dan honderd graden. In hetzelfde gebied, maar veel minder verspreid, komen de poreuze Neeroeteren zandstenen voor die lokaal de top van het steenkoolterrein uitmaken. Het water in deze zandstenen heeft een temperatuur van om en bij de 35°C.

De kalkstenen van het Dinantiaan hebben een bijzonder belang voor de geothermische energiewinning vanwege van de reservoirvorming erin, ofwel door verkarsting aan de top zoals het geval is in Noord-België of door oplosingen intern in de kalkstenenmassa zoals in Henegouwen. Op aanboorbare dieptes kan de temperatuur van het Dinantiaanreservoir tot 100°C bedragen.

Concrete toepassingen zijn er in Herentals waar tijdens de zomermaanden water uit het krijt als zwembadwater gebruikt wordt (0.1 Terra Joule/jaar, 1 terra is gelijk aan duizend miljard). Dit gebeurt eveneens en al sinds een dertigtal jaar in Turnhout waar het water uit het krijt het hele jaar door voor het zwembad gebruikt wordt (2.34 Terra Joule/jaar). terwijl een vijftiental jaar geleden het krijtwater voor de kweek van pekelkreeftjes getest werd, en goed bevonden qua temperatuur en zoutgehalte, is de enige biocultuur met water uit het krijt momenteel een viskweek in Dessel (10.06 Terra Joule/jaar).



AFB. 6.22 KAART GEOTHERMIE IN BELGIE

De kaart toont de ligging van de verschillende formaties aan die in aanmerking komen voor geothermische energie. In Vlaanderen zijn al deze formaties in het Bekken van de Kempen gesitueerd. De profielen zijn terug te vinden in afbeelding 6.23 a en b.

Uiteraard roept dit laatste de vergelijking op met het gebruik van koelwater uit nucleaire centrales of afkomstig van andere industriële processen. De kritische opmerking ten opzichte van laagwaardige geothermische energie dat er al zoveel ongebruikt warm industrieel water van goede samenstelling bestaat, wijst echter precies op de enorme kosten om warm water geïsoleerd te transporteren. Het is juist daarom dat laagwaardige geothermische energie, net zoals warm industrieel afvalwater trouwens, maar gebruikt kan worden in de onmiddellijke omgeving vanwaar het gewonnen wordt.

Een speciale vermelding verdient ook nog het inmiddels ter ziele gegane Radio Instituut de Baudour. Het instituut tapte het Dinantiaan water aan dat door spleten in het bovenliggende Namuriaan schiefermassief drong, en zo een schuine mijnschacht vulde die vroeger gegraven werd in een poging om de zwakke dekterreinen te vermijden die in het Bekken van Mons boven het steenkoolterrein liggen. De poging moest trouwens opgegeven worden precies vanwege de waterdoorbraken. Het water in de tunnel heeft een temperatuur van ongeveer 50°C en werd ook wel gebruikt voor de verwarming van het gebouw, maar gezien de finaliteit van het instituut uiteraard ook voor therapeutische doeleinden. Het water was licht radioactief door contact met de basis van de uraniumrijke Namuriaan schiefers.

Vroeger werd in Gent en in Oostende ook grondwater gebruikt voor therapeutische doeleinden. Dat water was

afkomstig uit de gespleten top van de Caledonische sokkel en was een 20°C warm.

In Henegouwen wordt artesisch water van 73°C uit het Dinantiaan gebruikt voor de verwarming van scholen, zwembaden, sportfaciliteiten en ook woningen (totaal 79.5 Terra Joule/jaar). Het water heeft na deze eerste doorgang nog steeds een temperatuur van 50°C. Daarna wordt het nog eens tien graden verder afgekoeld door serreverwarming en ten slotte wordt het verder tot 30°C afgekoeld na de verwarming van afvalslib in Wasmuel voor de productie van biogas. In het nabijgelegen Douvrain wordt dat water ten laatste gebruikt voor de air conditioning van een ziekenhuis (9,59 Terra Joule/jaar).

Het speciale aan het water van het Dinantiaan in Henegouwen is het lage zoutgehalte ondanks de diepte van het reservoir, ongeveer een 2 gram per liter. Daardoor, en ook vanwege de hoge reservoirdruk, kan men die exploitaties in Henegouwen laten verlopen met slechts één enkele put in plaats van met het klassieke doubletsysteem. Op die manier konden geologische verkenningsboringen direct voor geothermie gebruikt worden.

Na een mislukte poging in Meer is ook in het noorden van het land een demonstratieproject ontwikkeld in Merksplas-Beerse. De specifieke moeilijkheden met het reservoir in de top van het Dinantiaan zijn gebonden aan de relatief geringe debieten die opgepompt kunnen worden, de lage reservoirdruk en de hoge saliniteit, waarbij gereduceerd ijzer nog een speciaal probleem stelt. In Merksplas-Beerse

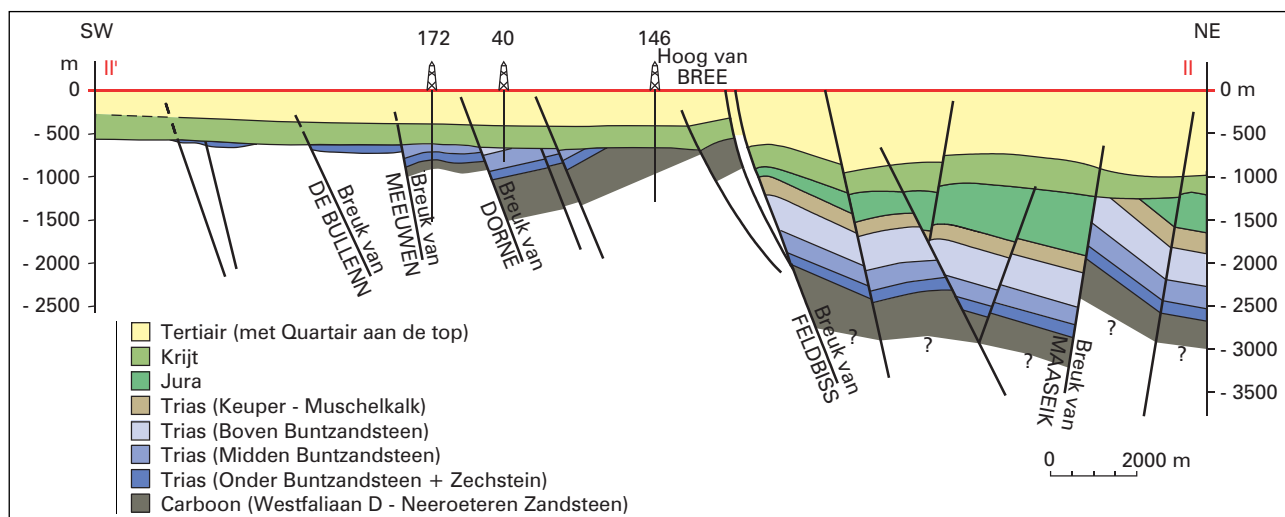
kwam daar nog de moeilijkheid bij dat belangrijke hoeveelheden gas in het water opgelost waren die door de drukverlaging bij het oppompen aan de oppervlakte vrijkwamen. De volumetrische water/gas verhouding schommelt rond de 1 tot 1,6. De samenstelling van het gas is ongeveer 88% koolstofdioxide, 6% stikstof en 6% methaan. Om kosten te besparen werd geopteerd voor een reinjectie in het ondiepere krijt in plaats van terug in de Dinantiaan kalkstenen. Deze tweede boring werd ook uitgevoerd. De plannen echter om met deze energie de strafinrichting in Merksplas en een ter plaatse te bouwen kweekserre te verwarmen werden definitief opgeborgen wanneer de sterk verlaagde olieprijs sinds midden van de jaren tachtig de economische rendabiliteit van het ontworpen demonstratieproject doorkruisten.

Eigenlijk om gelijkaardige redenen is een speciaal voor geothermische energiewinning geboorde put in Ghlin in Henegouwen nooit in gebruik genomen, en zijn de plannen om een nieuw ziekenhuis in Luik met geothermie te verwarmen nooit uitgevoerd.

Uiteraard zal geothermische energiewinning maar aan belang winnen wanneer de prijs ervan concurrentieel is met de prijs van de klassieke energiebronnen en met de prijs van ook andere alternatieve energiebronnen in de toekomst. Zonder grote internationale politieke ongevallen lijkt deze voorwaarde momenteel nog een eind verwijderd te zijn, nu de energieprijzen in een stabiele periode verkeren.

Technische ontwikkelingen kunnen in ondertussen helpen om de kosten van geothermie te drukken maar ook enkele geologisch gebonden risico's zullen beter beheerst moeten worden wil men in de toekomst de geothermische energie in ons land daadwerkelijk kunnen winnen.

Zo blijft voor het Dinantiaan, zeker in de Kempen, de voorspelbaarheid van de haalbare debieten een zeer onzekere zaak. Geofysisch en geologisch onderzoek is hier noodzakelijk. Dit is evenzeer zo voor de Trias-zandstenen waarin in feite vrijwel geen reservoirtesten werden uitgevoerd die het mogelijk maken de doorlatendheden en de porositeiten over het hele voorkomensgebied te kennen



AFB. 6.23 A PROFIEL GEOTHERMIE IN BELGIE
De ligging van de profielen is weergegeven in afbeelding 6.22.

7.D DE TOEKOMST

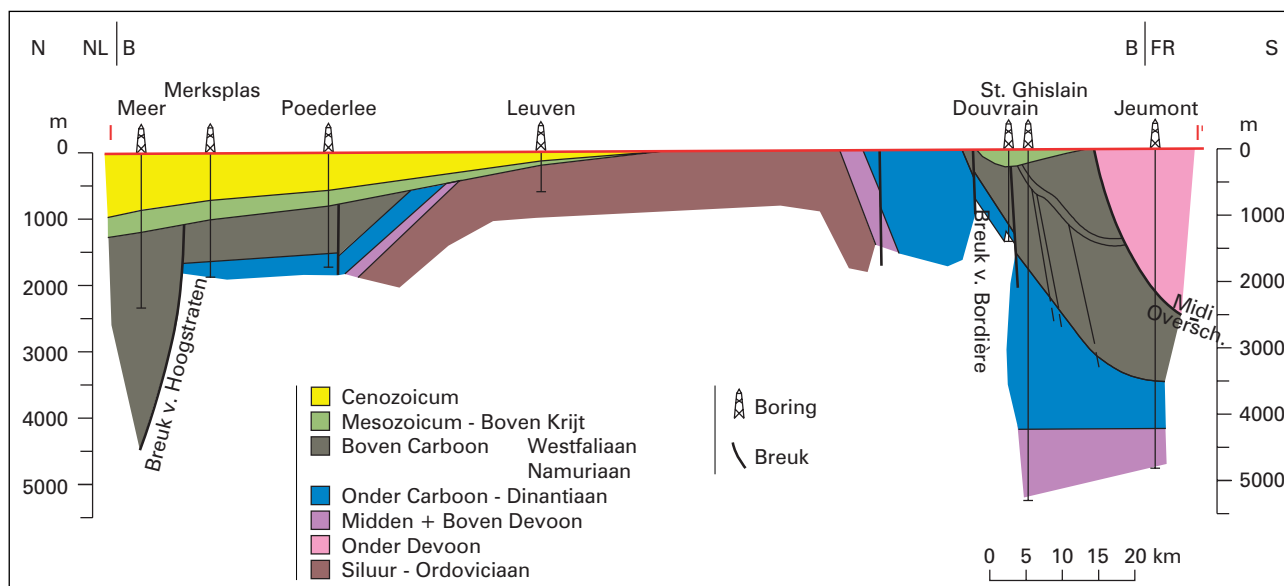
De ontginbare geothermische energie in de verschillende reservoirs kan berekend worden. Met als maximale ontginbare diepte 2500 m (vanwege de stijgende boorkosten), een minimale temperatuur van 25°C en een winningscoëfficiënt van 0.33 worden de volgende cijfers verkregen (één GJ is gelijk aan één miljard joule):

Dinantiaan in Henegouwen:	2.90 miljard GJ
Dinantiaan in Luik:	1.85 miljard GJ
Dinantiaan in de Kempen:	4.45 miljard GJ
Trias-zandstenen in Limburg:	6.08 miljard GJ
Krijt in de Kempen:	1.77 miljard GJ
Neeroeteren Zandsteen in Limburg:	0.123 miljard GJ

(Afb. 6.23 a en b). Het is moeilijk om in dergelijke omstandigheden investeerders warm te maken voor deze energiewinning. Het is trouwens opmerkelijk dat vrijwel alle investeringen die in de geothermie werden gedaan in ons land publieke investeringen waren, vaak ondersteund door geld van de Europese Unie.

Aan de andere kant is het attractieve van de geothermische energie, dat de belangrijkste investering in de energie, de boorkosten en de installatiebouw vanaf het begin gemaakt moet worden, en dat zodoende de prijs van de energie goed vastligt voor de levensduur van het systeem (grootte orde in de buurt van minstens 30 jaar). Dit was zeker een aantrekkingspunt van geothermie in de periode van de steeds stijgende energieprijzen.

De toekomst van het concept van de hete droge gesteenten, door sommigen de nieuwe energie agenda voor de volgende eeuw genoemd, is momenteel nog onze-



AFB. 6.23 B PROFIEL GEOTHERMIE IN BELGIE

De ligging van de profielen is weergegeven in afbeelding 6.22.

ker maar de resultaten die tot nog toe behaald werden in de projecten te Cornwall en Soultz met steun van de Europese Unie zijn van die aard dat men in ons land best deze ontwikkelingen zou volgen, zodanig dat men tijdig zou kunnen beslissen om met eigen ontwikkelingen in dat domein te beginnen en te onderzoeken welke gebieden in ons land voor deze energiewinning in aanmerking zouden kunnen komen.

7.E CONCLUSIES

De conclusie van alle pogingen en ervaringen die sinds het midden van de jaren zeventig in verband met de ontwikkeling van geothermie werden uitgevoerd is zeer duidelijk dat deze energievorm maar enige betekenis kan krijgen in ons land als hij opgenomen wordt in een concreet energiebeleid van de overheid. De kennis waarop geothermiewinning in ons land steunde was in grote mate een afgeleide van de algemene onderzoekspanningen die de Belgische Geologische Dienst jarenlang leverde naar de structuur van de ondergrond in ons land. Om de risico's bij een concrete geothermie-investering te verminderen is meer nodig. Wellicht is in Vlaanderen de meest directe werkwijze de organisatie van een demonstratieproject in de Dinantiaan-kalkstenen en één in de Trias-zandstenen. Een dergelijk demonstratieproject hoeft geen uitgesproken economische rendabiliteit te hebben, maar het moet vooral de technische voorwaarden leren kennen waaronder een exploitatie kan gebeuren. Indien men deze kennis niet heeft op het ogenblik dat geothermie in de toekomst economisch zou kunnen worden aangewend dan zal men te laat zijn! Ook moet ervoor gezorgd worden dat de verantwoordelijkheden en de financiële middelen niet meer zodanig versnipperd worden dat de realisatie van het demonstratieproject erdoor geremd wordt.

8 BERGING VAN RADIOACTIEF AFVAL

B. Neerdael en N. Vandenbergh

8.A BEHEER VAN HET RADIOACTIEF AFVAL

In 1980 richtte de overheid NIRAS (Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splijtstoffen) op. Deze openbare instelling is wettelijk verantwoordelijk voor het beheer - en bijgevolg ook voor de berging - van het radio-actief afval in ons land. Om deze taak te kunnen uitvoeren, initieert NIRAS het noodzakelijke onderzoeks- en ontwikkelingswerk, dat voor een groot gedeelte wordt uitgevoerd op het SCK'CEN (Studiecentrum voor Kernenergie) en de universiteiten.

Het SCK'CEN, een instelling van openbaar nut, verricht wetenschappelijk onderzoek in het kader van kernenergie, in het bijzonder betreffende "de veilige conditionering en opslag van radioactief afval.

8.B RADIOACTIEF AFVAL: TYPES EN VOLUMES

Uitgaande van een geïnstalleerd nucleair vermogen van 5,5 GWe en een levensduur van 40 jaar voor de Belgische kerncentrales, wordt het geproduceerde afval geschat op 150.000 m³ voor het laagactieve gedeelte, 25.000 m³ voor het middelactieve gedeelte, en 5000 m³ voor het hoogactieve afval. Het afval dat bij de ontmanteling van de centrales wordt voortgebracht moet hier nog worden bijgeteld.

Het laagactieve afval bevat kleine hoeveelheden kort- tot middellang levende radio-isotopen (halveringstijd kleiner dan 30 jaar). Het is afkomstig van de dagelijkse exploitatie van de centrales, de productie en het gebruik van radio-isotopen voor medisch of industrieel gebruik, en van

onderzoekslaboratoria. Voor dit afval is er de zogenaamde ondiepe berging bij de oppervlakte.

Voor de twee andere types van is er een berging op grote diepte:

- afval met alfastralers (in beton- of bitumenmatrix); dit afval bevat belangrijke hoeveelheden radio-isotopen met een middellange halveringstijd (langer dan 30 jaar), en is afkomstig van bepaalde handelingen tijdens de splijstofcyclus, voornamelijk tijdens de opwerking van splijstof en de vervaardiging van splijstofelementen;
- het verglaasde en warmte-afgevend afval; hierin zitten kort- of middellang levende radio-isotopen in hoge concentraties, en langlevende isotopen (voornamelijk alfastralers). Dit afval is vooral afkomstig van de opwerking van splijstof; de hitteproductie is te wijten aan splijtingsproducten.

Al het afval wordt voor opslag en berging geconditioneerd en verpakt. Deze bewerkingen omvatten in eerste instantie een volumereductie en in de tweede plaats een omzetting in een vorm die zo onoplosbaar en chemisch inert mogelijk is. Hiertoe gebruikt men technieken van samenpersen, verbranden en calcineren. BELGO PROCESS behandelt dit lage radioactieve afval in haar CILVA-installatie. De verkregen residu's worden verder ingekapseld in een matrix van bitumen, beton of glas. De opwerking van de splijstofbundel gebeurt in La Hague in Frankrijk door COGEMA.

8.C BERGING VAN LAAGACTIEF AFVAL

Momenteel is er reeds een 8000 m³ laag radioactief afval te stockeren. Het afval wordt, voor het geborgen wordt, eerst tot een zo klein mogelijk volume gereduceerd, gestabiliseerd en ingekapseld. Tot 1982 werd dit lage radioactieve afval in de Atlantische Oceaan gedumpt. De redenering die aan deze handelwijze ten grondslag lag, was dat indien er na verloop van tijd nog actieve radionucliden zouden weglekken uit de verpakkingen, ze toch onmiddellijk verdund zouden worden tot ongevaarlijke concentraties. Na het internationale moratorium op deze zeeberging, en later ook het verbod erop, is men logischerwijze aangewezen op landberging.

Het principe dat ten grondslag ligt aan de verantwoorde berging van laag radioactief afval op land is in wezen niet verschillend van die voor de berging van hoog radioactief afval op land. De bergingscondities moeten immers zodanig uitgevoerd worden dat, als het afval eenmaal geborgen is en de radionucliden weglekken uit hun originele verpakking, dan toch nog geen gevaar kan bestaan dat deze radionucliden de biosfeer opnieuw bereiken in hoeveelheden die schadelijk zijn voor de mens.

Een groot verschil in het bergingsconcept tussen laag en hoog radioactief afval vloeit evenwel voort uit de overweging dat bij hoog radioactief afval termijnen in het spel

zijn van op zijn minst meerdere tienduizenden jaren, terwijl voor het lage radioactieve afval het actieve toezicht beperkt is tot hooguit enkele honderden jaren. Daardoor moet men in het eerste geval ervan uitgaan dat de artificiële barrières over die lange tijdsduur verbroken zullen worden, en dat de geologische barrière zelf daardoor van essentieel belang wordt. In het tweede geval zal over die relatief korte tijdspanne de betrouwbaarheid van de artificiële barrières veel hoger zijn en moet de geologische barrière nu als een aanvullende veiligheid gezien worden.

Terwijl voor het hoogactieve afval een diepe geologische berging noodzakelijk is, kunnen voor de opslag van laagradioactief afval minder stringente voorwaarden aan de geologie van de site opgelegd worden.

Het is natuurlijk altijd mogelijk om de diepe ondergrondse berging ook aan te wenden voor de berging van laagradioactief afval. In dit geval echter overdrijft men zeker ten opzichte van de werkelijk nodige veiligheidscondities, wat maar verantwoord lijkt als de kosten van deze uitvoering niet noemenswaardig hoger zouden liggen dan die van andere aanvaardbare uitvoeringen.

Naast deze diepe geologische berging bestaan twee andere vormen van landberging, namelijk de oppervlakteberging en de berging in verlaten mijnen.

De optie van de verlaten mijnen werd in België bestudeerd maar niet in aanmerking genomen vanwege de ongunstige hydrologische omstandigheden die radionucliden na verloop van tijd toch opnieuw aan de oppervlakte zouden brengen.

Daardoor is de oppervlakteberging momenteel nog de enige actief bestudeerde optie geworden in ons land.

Aangezien de stralingsactiviteit in het geborgen afval met de tijd afneemt, is het ook logisch dat er verschillende benaderingen van de veiligheidsvoorwaarden elkaar zullen opvolgen in de tijd. Na de constructiefase en het aanbrennen van de te bergen afvalverpakkingen volgt een periode waarin een actief toezicht gehouden wordt op de blijvende goede werking van de bergingsite. Deze periode van toezicht wordt op een paar honderd jaar geraamd, een duur die gebaseerd is op de samenstelling van de afvalverpakkingen.

Na deze fase is het gevaar zodanig gedaald dat het afval ook bij het vrijkomen geen echt risico meer vormt voor de omgeving. De site kan dan in feite snel opnieuw voor andere doeleinden gebruikt worden. In deze zogenaamde banalisatiefase kan de interactie tussen het geborgen afval en het leefmilieu nu verder ongehinderd evolueren. Ook voor deze zogenaamde natuurlijke of normale evolutie is het zaak de effecten voor het leefmilieu te berekenen, zeker voor de eerste duizenden jaren, om zo op een becijferde wijze aan te tonen dat de risico's voor de omgeving beneden de aanvaarde norm zullen blijven.

De rol van de geologische bescherming is bij laag radioactief afval een aanvullende bescherming voor het geval de kunstmatige barrières om een of andere reden

toch radionucliden zouden doorlaten. Aangezien de natuurlijke verspreiding van radionucliden uit de bergingsinstallatie plaatsvindt door water, moet de site zo gekozen worden dat enerzijds de kans op het binnendringen van water in de site te allen tijde zo minimaal mogelijk is, en anderzijds moet de site ook zo gekozen zijn dat als er toch vrijkomende radionucliden zijn de verspreiding ervan in de natuur volgens bekende waterafvoerbanen en onder controle plaatsvindt.

Vanwege de eerste voorwaarde zullen een aantal gebieden uitgesloten worden, bijvoorbeeld die welke in alluviale vlakten liggen waar een te grote kans op overstromingen bestaat, of ook laaggelegen gebieden aan de kust of langs de estuaria waar toekomstige hogere zeespiegelstanden samen met mogelijke subsidentie van het gebied, en rekening houdend met uitzonderlijke getijden, een minimale topografische hoogte zullen opleggen aan mogelijk gunstige bergingsites.

De geologische bescherming tegen willekeurig weglekkende polluenten moet geleverd worden door een voldoende ondoorlatende ondergrond waarboven een waterbeweging plaatsvindt die het pollutent naar een bekende en gelokaliseerde bestemming brengt.

De voorwaarde van een ondoorlatende laag in de ondergrond is natuurlijk opgelegd om te verhinderen dat polluenten in de ondergrond zouden weglekken. In ons land betekent deze voorwaarde onmiddellijk dat slechts twee geologische typegebieden in aanmerking komen. Eerst zijn er die gebieden met een klei-ondergrond, waarbij in een eerste benadering toch een minimale dikte van een paar tientallen meter van zware klei vereist is, en daarnaast zijn er de schiefer-gebieden. Bij schiefer-gebieden is het bekend dat de splijtingen en andere discontinuïteitsvlakken in de bovenste meters bij de oppervlakte door de drukontlasting en de verwerking zijn open gekomen - en daardoor mogelijk watervoerend zijn - maar dat daaronder de schiefers snel ondoorlatend worden. Gezien de tektonische geschiedenis van schiefer-gebieden zou het evenwel onverantwoord zijn ervan uit te gaan dat er geen belangrijke spleten door het schiefermassief lopen; bovendien is de associatie van mogelijk nog watervoerende zandstenen binnenin de schieferpakketten een factor waar terdege rekening mee moet gehouden worden. Vanwege beide redenen is aan de in aanmerking komende schiefergebieden nog de bijkomende voorwaarde op te leggen dat watervoerende lagen onder het ondoorlatende schieferpakket zodanig onder spanning moeten staan dat, indien er al een waterbeweging in het massief zou zijn, deze naar boven toe gericht zou zijn waardoor een weglekkende radionuclide zeker niet naar de ondergrond zou kunnen wegsijpelen.

Bovendien wordt in ons land gezocht naar sites waar bovenop deze ondoorlatende lagen, maar uiteraard onder de bergingsconstructie, nog een permanente wateruitstroming plaatsvindt in een doorlatende laag. Dit kan bijvoorbeeld een zandlaag zijn op een klei of de verweerde en

gespleten top van een schiefermassa. Deze wateruitstroming is als het ware het bewijs dat weglekkende polluenten niet de ondergrond zullen intrekken, maar lateraal afgevoerd zullen worden. Wanneer de uitstromingspunten, - bronnen dus -, van deze watervoerende toplagen bekend zijn en beperkt in aantal, kan men spreken van een goed controleerbare bergingsite. Ook de technische uitvoering van de bergingsite kan helpen om een diffuse en ongecontroleerde stroming voor verspreiding van radionucliden te verhinderen.

Naast deze belangrijke hydrogeologische selectiecriteria moeten potentiële sites ook nog voldoen aan voorwaarden van tektonische en seismische stabiliteit. In ons land kan daaraan voldaan worden als men de bergingsite bouwt waar de maximale seismiciteit in het verleden VI of lager is geweest op de MSK-intensiteitschaal, wat zware schade aan de constructies moet voorkomen. Uiteraard moet de constructie op een mechanisch voldoende stabiel terrein gebouwd worden en het liefst niet daar waar ook interessante delfstoffen aanwezig zijn.

In een eerste oefening op basis van de beschikbare, en dus toch wel beperkte gegevens gezien het gestelde doel, komen in ons land een kleine honderd mogelijke sites in aanmerking, zowel op klei-ondergrond als op schieferondergrond.

8.D BERGING VAN HOOGACTIEF AFVAL

8.D.1 INLEIDING

Een veilige berging voor het radio-actief afval is een noodzakelijke voorwaarde voor een volwasse nucleaire industrie. In het bijzonder denken we hier aan de berging van langlevend afval, zoals het verglaasde afval en de directe berging van gebruikte splijtstof. Berging in diepe geologische lagen is vandaag de meestbelovende optie. Een goed begrip van de fenomenen en processen in en rond een diepe geologische bergingsplaats, en van een mogelijke overdracht van radioactieve bestanddelen naar de biosfeer is een eerste vereiste wanneer we de doeltreffendheid van het multi-barrière concept en van de veiligheid van de berging in het algemeen willen nagaan.

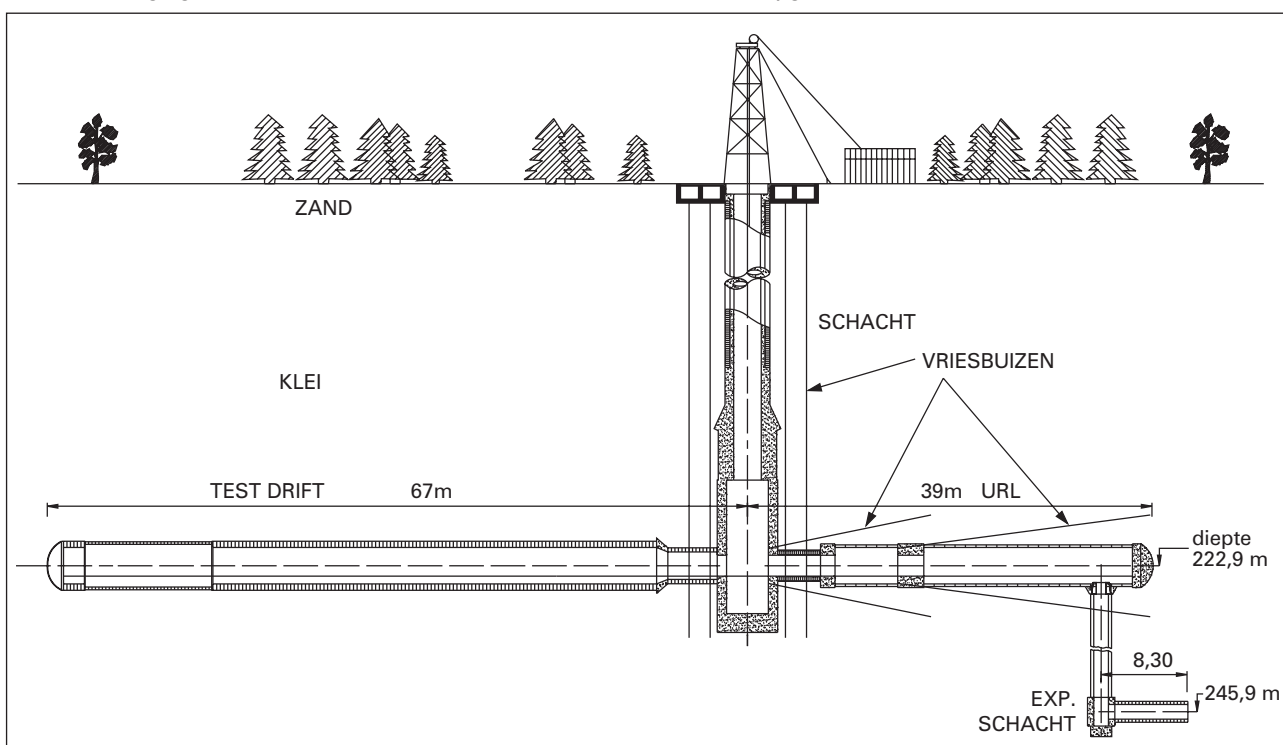
Wegens de geologische structuur in ons land is de berging in diepe kleilagen de eerste keuze voor de berging van langlevend radio-actief afval. Het huidige referentiescenario bepaalt dat de exploitatie van de bergingsite begint in 2035 en loopt tot in 2070/2080 (sluitingsfase). Dit impliceert een tijdelijke opslag van het verglaasde afval aan de oppervlakte gedurende een 50-tal jaren, wat het mogelijk maakt de warmte-afgifte van het afval beduidend te verminderen.

8.D.2 HISTORISCH OVERZICHT VAN HET HADES-PROGRAMMA

De sterke positie betreffende de mogelijkheden van een kleiformatie werd door het SCK·CEN uitgebouwd gedurende de eerste decade van zijn onderzoeksprogramma en gedurende de laatste tien jaar versterkt door verschillende partners die actief hebben deelgenomen in dit programma.

De Belgische Geologische Dienst gaf aan dat onder de terreinen van het SCK·CEN gunstige kleilagen aanwezig waren, meer bepaald de Boom Klei. Het eerste doel was na te gaan of de karakteristieken en de eigenschappen van deze kleiformatie in aanmerking konden komen voor een eventuele berging van radioactief afval.

vanuit verschillende hoeken (geochemisch, geomechanisch, hydrologisch en geofysisch). De site werd in een bredere geohydrologische context geplaatst en regionaal uitgebreid tot een observatienetwerk dat een oppervlakte van 2000 km² rond Mol bestrijkt. Door de toenemende hoeveelheid informatie werd de Boom Klei geleidelijk de referentie. Het Belgische verantwoordelijke beheersorgaan voor het radioactieve afval NIRAS werd opgericht in 1981 en definieerde het nationale afvalbehandelingsprogramma. Naarmate de tijd vorderde werden meer en meer SCK·CEN-onderzoeksprogramma's in het programma van NIRAS opgenomen.



AFB. 6.24 SCHEMA VAN DE INFRASTRUCTUUR VAN HET HADES-PROGRAMMA

De afbeelding toont een doorsnede door de HADES infrastructuur. De schacht, het ondergrondse onderzoekslaboratorium, de "test drift" en de exploratieschacht werden aangeduid met hun respectievelijke dieptes.

De eerste boringen werden op de SCK·CEN-site uitgevoerd vanaf 1975 waarbij de lithologische, chemische, mineralogische, ionuitwisselende en geomechanische eigenschappen van de Boom Klei en de eromheen liggende lagen werden bestudeerd. Geohydrologische studies werden ondernomen, een preliminair ontwerp en een methodologie van probabilistische risicobenadering werden uitgevoerd. De volgende stap was de technische haalbaarheid aan te tonen van de bouw van een bergingsruimte in zulk plastisch materiaal en de mogelijkheden op het gebied van de veiligheidsbenadering te versterken. In 1980 werd gestart met de bouw van een ondergronds onderzoekslaboratorium (URL) in de Boom Klei. Zowel de klei als de omgevende lagen werden intensief bestudeerd

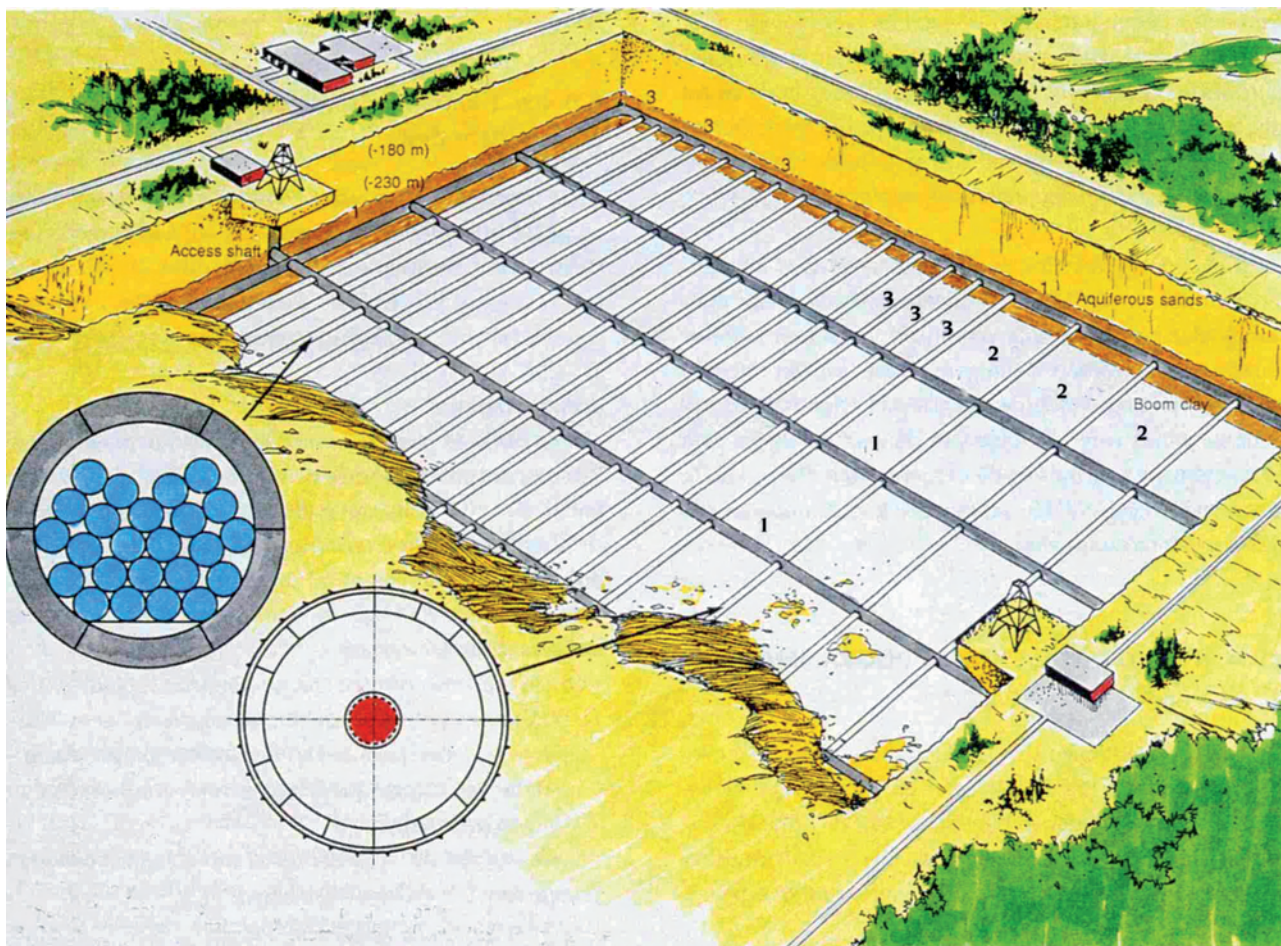
Het URL is operationeel sinds 1985 en meerdere experimentele opstellingen zijn geplaatst in de klei voor corrosie, hydraulica, migratie en geomechanica. Het URL HADES werd uitgebreid met de uitgraving van de "test drift" voor demonstratiedoeleinden zoals aangeduid op afbeelding 6.24. Tegelijkertijd bood de bouw van deze "test drift" de mogelijkheid om grotere geïntegreerde testopstellingen te plaatsen die zeer dicht de uiteindelijke condities van een finale berging benaderen. Validatieoefeningen voor het modelleren van de verschillende processen werden gelanceerd, en uitgebreide performantiestudies werden uitgevoerd in het kader van de EU.

8.D.3 BERGINGSCONCEPT

Sinds 1978 zijn verschillende concepten overwogen voor de berging van hoogactief en langlevend afval in de Boomse kleilaag onder de nucleaire site van Mol-Dessel. Het concept dat NIRAS momenteel bekijkt, wordt weergegeven in afbeelding 6.25, en is gebaseerd op een onderscheid tussen het warmte-afgevend, hoogactieve afval en het langlevende middelactieve afval. Benaderende afmetingen (diameter) voor de verschillende onderdelen zijn 6 m voor de schachten, 4 m voor de hoofdgalerijen, 3,5 m voor de galerijen voor het middelactieve afval, en 2 m voor de galerijen met het hoogactieve afval. De bergingsgalerijen zijn tot 800 m lang, de afstand tussen de schachten is zo'n 400 m. De galerijwanden bestaan voornamelijk uit beton en moeten de mechanische stabiliteit verzekeren tijdens de operationele fase van de berging.

Overeenstemmend met de bergingsconcepten die we zo dadelijk zullen uitleggen, hebben we voor beide afvaltypes even lange bergingsgalerijen nodig. Het langlevende middelactieve afval (geen warmte-afgifte) zal in aparte galerijen worden geborgen. De gehele galerijdoorsnede wordt met deze afvalvormen gevuld en de overblijvende holten worden gevuld, mogelijk met beton. Betreffende dit concept is tot nu toe weinig onderzoek verricht.

Het concept voor het hoogactieve afval is al uitvoeriger bestudeerd. Het huidige concept bestaat uit een centraal geplaatste stalen buis waarin de vaten met het verglaasde afval worden geborgen. Deze buizen moeten intact blijven gedurende de tijd dat een temperatuursgradiënt aanwezig is ten gevolge van de warmte-afgifte. Om de ruimte tussen de buis en de betonnen galerijwand op te vullen overweegt



AFB. 6.25 SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN EEN CONCEPT VOOR BERGING VAN RADIOACTIEF AFVAL IN DE BOOMSE KLEI

De opslagruimte is via 2 schachten toegankelijk. Op een diepte van ongeveer 230 m bevinden zich de ruimtes waarin het hoogradioactieve en langlevende middelactieve afval opgeslagen kunnen worden in de Boom Klei die een natuurlijke migratiebarrière vormt.

1: hoofdgalerij

2: secundaire galerij voor de berging van warmtegenererend afval

3: secundaire galerij voor de berging van gebitumineerd en gebetoneerd afval

NIRAS momenteel geprecompacteerde blokken van calciumbentoniet.

8.D.4 HUIDIG ONDERZOEKSPROGRAMMA OP HET SCK

Het voorkomen van de Boom Klei onder de nucleaire site van Mol-Dessel en de gunstige eigenschappen van klei hebben bijgedragen tot de ontwikkeling van dit programma, dat zowel basisonderzoek, demonstratie, concept-ontwikkeling en performantie-studies omvat.

8.D.4.a Onderzoek

De veiligheid van de berging van radioactief afval wordt bepaald door het gedrag op lange termijn van de verschillende delen die als kunstmatige of natuurlijke barrière fungeren. Onderzoek naar de fundamentele processen die mogelijk zullen plaatsvinden in de bergings-site is daarom onontbeerlijk ter aanvulling van technische demonstratieproeven. Sommige delen van dit onderzoek worden uitgevoerd in laboratoria bovengronds, andere in het ondergrondse laboratorium.

doelstellingen

Dit onderzoek moet ons een beter inzicht geven in de processen die het vrijkomen van radio-nucliden en de daaropvolgende migratie door de verschillende barrières tot in de biosfeer bepalen. Het moet ons ook in staat stellen deze processen te modelleren en te valideren.

onderzoeksonderwerpen

- karakterisatie van afvalvormen, -matrices en -verpakkingen, compatibiliteit in de klei;
- kwaliteitscontrole van afvalvormen en -verpakkingen;
- geomechanisch en geochemisch gedrag van de kunstmatige barrières en de gastformatie;
- gasproductie en -transport;
- migratie van radionucliden.

8.D.4.b Demonstratietesten in reële omstandigheden

De HADES onderzoeksfaciliteit is vandaag de enige in een kleilaag. Deze faciliteit biedt interessante kansen voor deelname van buitenlandse instellingen en maakt van het SCK/CEN de wetenschappelijke voortrekker voor de berging van radio-actief afval in kleilagen.

doelstellingen

Onderzoek naar en demonstratie van de haalbaarheid van de concepten voor de berging van verglaasd, hoogactief afval, ander langlevend afval en gebruikte splijtstof.

Leveren van betrouwbare gegevens, onder andere omtrent de performantie van de barrière-componenten.

onderzoeksonderwerpen

- testen en demonstreren van bergingsconcepten;
- opvullen en afsluiten van bergingsplaatsen;

- gedrag op lange termijn van de barrièrecomponenten;
- analyse van grondwaterstromingen en grootschalige migratie-experimenten;
- controle van de reconsolidatie van de verstoorde klei-zone rondom de bergingsplaats.

8.D.4.c Veiligheidsaspecten van afvalberging

De middelen nodig voor een preliminaire evaluatie van de veiligheid van de berging van radioactief afval in de Boom Klei worden nu ontwikkeld. Performance assesment is immers een gefaseerd proces, waarbij de aangewende modellen en gegevens aangepast moeten worden als resultaten van het onderzoeksprogramma beschikbaar zijn. Sommige basisaspecten van de studies met betrekking tot de performantie op lange termijn van een bergingsconcept (en de bijbehorende onderdelen) zijn nog steeds het voorwerp van discussie. De tijdsduur waarover veiligheidsstudies uitsluitel moeten geven, zouden op internationaal niveau moeten worden bepaald. De laatste jaren wordt ook aandacht geschonken aan de directe berging van gebruikte splijtstof als alternatief tegenover opwerking, zowel in België als daarbuiten.

doelstellingen

Ontwikkelen van een aanvaardbare benadering en methodologie voor het evalueren van de veiligheid op lange termijn van berging in klei. Hierbij dient men zowel met radiologische als met niet-radiologische (chemisch-toxische) gevolgen rekening te houden.

onderzoeksonderwerpen

- evaluatie van de berging van opgewerkt afval;
- eerste evaluatie van de directe berging van gebruikte splijtstof;
- evaluatie van de niet-radiologische gevolgen;
- ontwikkeling van benaderingen voor het in rekening brengen van klimaatveranderingen en menselijke indringing;
- bijdrage op internationaal niveau tot een publieke aanvaarding van bergingssystemen voor radioactief afval.

8.D.5 TOEKOMSTIG PROGRAMMA

Het PRACLAY-project beoogt de thermische simulatie van het hoge radioactieve afval gecombineerd met de mijnbouwtechnische aspecten, het gebruik van opvulmateriaal en het gedrag van de klei in een axiaal concept met een galerijdiameter van 2 meter loodrecht op de hoofdgaleries. In een eerste fase zal informatie worden ingewonnen door de bouw van een bovengrondse maquette. De uiteindelijke bouw van de 25 m lange tunnel kan pas plaatsvinden na de constructie van een tweede schacht. Het groen licht hiervoor is gegeven en in 1998 verwacht men de inbouw van Praclay.

Met de opgebouwde expertise en de unieke infrastructuur (URF, bovengrondse laboratoria) dient het SCK·CEN zijn activiteiten verder uit te breiden tot een bredere set van radioactieve afvalstudies - gebruikte splijtstof inbegrepen -, waarvoor nieuwe alternatieven (concept, verpakking,...) onderzocht moeten worden en waarvoor aanvaardbare criteria voor de berging opgesteld dienen te worden. Deze kennis zal ook gevaloriseerd worden in kleitypes waarvoor momenteel in andere landen gekozen wordt.

ROMEINSE EN LATERE VEENWINNING IN RAVERSIJDE (OOSTENDE)

M. Pieters

Sinds april 1992 voert het Instituut voor het Archeologisch Patrimonium van de Vlaamse Gemeenschap in nauwe samenwerking met het provinciebestuur van West-Vlaanderen, archeologisch onderzoek uit naar het verlaten middeleeuwse vissersdorp 'Walraversijde'. Tot nu toe is hier van al meer dan een halve hectare in detail onderzocht.

Behalve informatie over het middeleeuwse dorp, verschaffen de opgravingen echter ook gegevens over vroegere veenwinning. Dat bij dit onderzoek sporen van veenwinning uit de Middeleeuwen zouden worden aangesneden, lag in de lijn der verwachtingen. Minder verwacht was wel dat bij de opgravingen op verschillende plaatsen langs de Nieuwpoortsesteenweg sporen van Romeinse veenwinning werden aangetroffen.

De Romeinse veenwinningssputten kunnen herkend worden vanaf de onderkant van de Duinkerke II-afzettingen. Ze zijn in doorsnede rechtwandig en reiken tot enkele cm boven

de onderkant van het veen. In de opvulling ervan kunnen systematisch twee in oorsprong duidelijk verschillende vullingen worden onderscheiden. Een onderste heterogeen pakket vertegenwoordigt het door de mens dichtgeworpen gedeelte. Hierin zijn de individuele, ingeworpen sedimentklompen duidelijk zichtbaar. Een bovenliggend gestratificeerd pakket is naderhand door water

afgezet in deze kuilen. De veenwinningssputten lagen dus gedeeltelijk open op het ogenblik dat de mariene invloed op het gebied toenam.

Op twee plaatsen is een beeld in grondplan verkregen van een gedeelte van het veenwinninggebied dat op zijn minst enkele hectaren groot is geweest. Op de eerste plaats bevonden zich drie ovale kuilen van verschillende meter diameter naast mekaar. Dit patroon wijst op een weinig georganiseerde ontginning. Op de andere plaats werden 2 parallelle bankjes die haaks op een derde bankje stonden opgemeten. Dit patroon verwijst dan weer naar een meer systematische ontginning. De beperkte oppervlakte die werd onderzocht,

ongeveer 50 vierkante meter, laat echter geen verregaande conclusies toe over het exploitatiesysteem.

In de opvulling van de ontginningskuilen werd slechts een kleine hoeveelheid archeologisch materiaal aangetroffen. Het ontginningsgebied was dus waarschijnlijk een eindje van de toenmalige bewoning verwijderd. De weinige vondsten, een scherfje in kustaardewerk met kamstrepen en enkele afvalproducten van zoutbereiding, zijn te situeren in de Romeinse periode.

Zoals hierboven reeds gesteld, worden deze veenwinningssputten afgedekt door Duinkerke II-klei. In deze klei zijn verschillende niveautjes aanwezig met tweekleppigen (*Scrobicularia plana*, platte slijkgapers) in levenspositie. Deze werden door een koolstof-14 analyse gedateerd op het einde van de 7de eeuw na Christus. Beide elementen, de aanwezigheid van een kleine hoeveelheid Romeinse vondsten en de C14-datering van de tweekleppigen, maken het mogelijk deze

veenontginning in de Romeinse tijd te plaatsen.

Dat veen in de Romeinse tijd al werd ontgonnen, laat een tekst van Plinius de Oudere, hoewel niet specifiek handelend over de Vlaamse kustvlakte, reeds vermoeden. Met de informatie uit Raversijde zijn hiervan echter voor het eerst in Vlaanderen ook tastbare sporen aanwijsbaar.



De Romeinse veenwinningssputten in doorsnede. Een getuigebanketje tussen twee veenwinningssputten toont aan tot welk niveau veen aanwezig was.

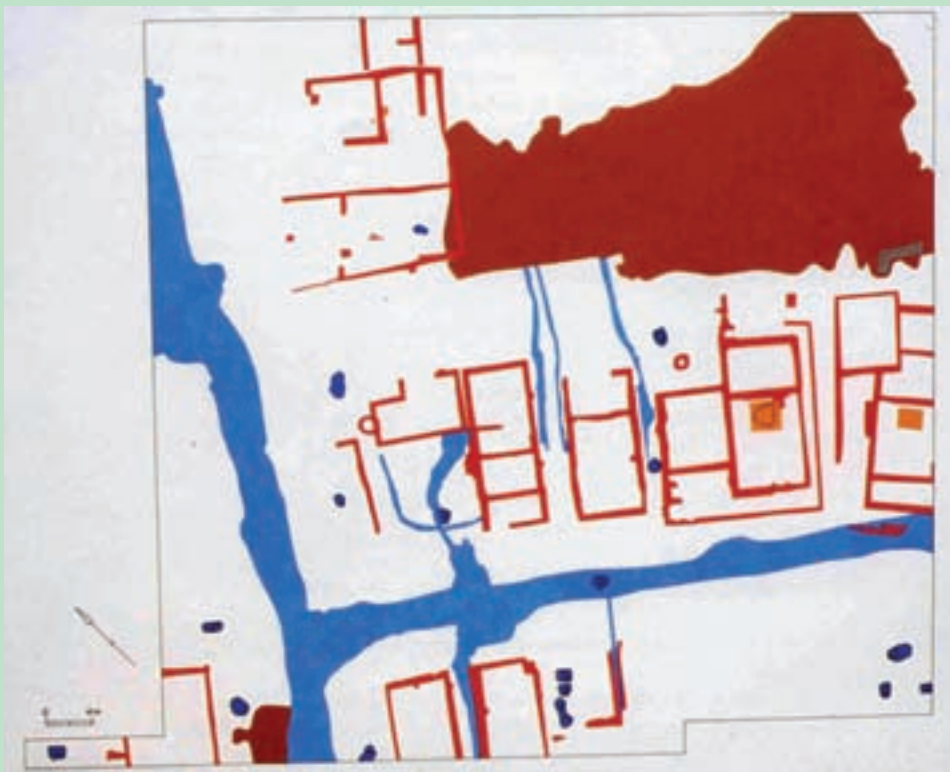
Na een droogproces werd het veen als brandstof benut zowel voor huishoudelijke als ambachtelijke toepassingen. In de kustvlakte werd het veen o.a. benut als brandstof bij het zieden van zout. Geschreven bronnen uit de Romeinse tijd laten bovendien vermoeden dat uit de zilte veenas ook zout werd geëxtraheerd.

De opgravingen te Raversijde verschaffen wat veenontginning betreft echter vooral informatie over deze activiteit in de 15de-16de eeuw. In de periferie van de middeleeuwse dorpskern worden immers regelmatig veenwinningssputten aangesneden. Het lijkt alsof de onmiddellijke omgeving van het woonareaal grondig werd uitgeveend voor het een louter

agrarische bestemming kreeg. De veenwinningsputten uit de 15de-16de eeuw zijn door twee kenmerken te onderscheiden van de Romeinse. Enerzijds zijn ze archeologisch leesbaar vanaf het huidige oppervlak en anderzijds zijn ze volledig d.w.z. tot boven toe gevuld door mensenhanden. Ze reiken evenals hun Romeinse tegenhangers tot enkele cm boven de basis van het veen.

Eén zone met ontginningen uit de late Middeleeuwen/vroege Postmiddeleeuwen is te Raversijde nog goed herkenbaar in het huidige landschap. De zone is immers laaggelegen en merklijk natter dan de omringende terreinen. De vroegere exploitatie drukt dus nog altijd zijn stempel op het huidige grondgebruik.

Daarnaast werden ook veenwinningsputten aangetroffen in de 15de-eeuwse bewoningskern zelf. De lokalisatie van deze is echter niet willekeurig. Een grote ontginningskuil met een oppervlakte van meer dan 500 vierkante meter bevindt zich netjes tussen de gebouwen in. Deze zijn als het ware aan de rand ervan neergezet. Na de exploitatie van het veen is de depressie nagelaten door de ontginning als stortplaats herbruikt. Ook nu nog krijgen talrijke ontginningsplaatsen naderhand een bestemming als stortzone.



De gebouwen van de 15de-eeuwse sector stonden keurig rond een veenwinningsput die na de ontginning van het veen als stortzone werd gebruikt

Uit het archeologisch onderzoek is ook af te leiden dat de te ontginnen veenlaag aan een aantal vereisten moest voldoen wat dikte en diepte betreft. Een veenlaag van 60 cm dikte bij 3 m diepte werd te Raversijde ongemoeid gelaten, terwijl een veenlaag met een dikte van 1 m die zich bevond op 2 m diepte haast tot de laatste vierkante meter werd ontgonnen.

Ook in de Middeleeuwen werd veen benut als brandstof en evenals in de Romeinse periode zowel voor huishoudelijke als ambachtelijke toepassingen. In een sinds de Middeleeuwen houtarme regio als Vlaanderen mag het belang van veen als brandstof zeker niet onderschat worden. De exploitatie ervan geschiedde vanaf de 2de helft van de 12de eeuw op grote schaal. De Vlaamse graaf begint immers rond dit tijdstip concessies te verlenen voor de exploitatie van veen. Aanvankelijk worden deze vooral verleend aan enkele grote abdijen.

Het winnen van zout uit de as van zouthoudend veen is voor de Middeleeuwen met geschreven bronnen aantoonbaar. Na het verbranden van het veen werd de as met zee-water gespoeld en boven turfvuurtjes uitgekookt. Dit systeem werd al vanaf de 13de eeuw voor handelsdoeleinden aangewend. In de late Middeleeuwen is Biervliet een belangrijk centrum waar op een dergelijke wijze zout werd gewonnen.

Vermoedelijk werd ook in Vlaanderen op deze wijze aan zoutwinning gedaan. Er zijn in elk geval voor de 16de eeuw enkele zoutketen bekend te Oostende.

Verdere lectuur:

Allemeersch, L., 1994 - Peat in the Belgian eastern coastal plain, in *Wetlands in Flanders*, ed. F.Gullentops, Aardk. Mededel., 6, p.1-54.

Asselberghs, E., 1921 - Comment se pose la gestion des gisements de Pétrole en Belgique, *Ann. de Mines de Belgique*, T. 22, p. 579-599.

Bonne, A.A., 1991 - De Geologische Berging van Radioactief Afval, In: "De aarde als fundament" (ed.: Vandenberghe N. en P. Laga), ACCO, Leuven.

Dreesen, R., Bouckaert, J., Dusar, M. en Vandenberghe, N., 1987 - Subsurface structural analysis of the Late-Dinantian carbonate shelf at the northern flank of the Brabant Massif, *Toelichtende Verhandelingen voor de Geologische en Mijnkaarten van België*, nr. 21.

Dusar, M. en Wouters, L., 1991 - Een stapsgewijze geologische exploratie voor ondergrondse gasstockering, In: "De aarde als fundament" (ed.: Vandenberghe N. en P. Laga), ACCO, Leuven.

Leenders, K.A.H.W., 1989 - Verdwenen venen, *Gemeentekrediet*, Historische uitgaven, 78, 351 pp.

Legrand, R., 1950 - Les possibilités pétrolifères du sous-sol belge, *Ann. Mines Belg.*, T. 49, p. 1-9.

Minten, L., Raskin L., Soete A., Van Doorslaer B. en Verhees F., 1992 - Een eeuw steenkool in Limburg, Lannoo, Tielt, 280 pp.

Safir Syntheseverslag, - 1989, Niras/Ondraf.

Thoen, H.,(ed.) 1987 - De Romeinen langs de Vlaamse kust, Brussel.

Van Nieuwenhuyze, D., 1993 - Bronnen voor de geschiedenis van de landbouw van de Nederlanden, 2, 485pp, Ministerie van Landbouw, Brussel.

Vansteelandt, P., 1981 - De waterhuishouding in het mijnverzakkingsgebied van de zetel Eisdén, *Belgisch Comité voor Ingenieursgeologie*, Colloquium te Gent, 7-9 oktober '81.

Vandenberghe, N. en Bouckaert J., 1980 - Geologische aspecten van de mogelijkheid tot de aanwending van geothermische energie in Noord-België, *Prof. Papers B.G.D.*, nr. 168.

ERTSEN



Ertsen, die als basisgrondstof dienen voor de extractie van metalen, zijn in hoofdzaak geassocieerd met intrusies en vulkanisme. Uitzondering hierbij zijn ijzerertsen en aluminiumertsen, die meestal producten van verwerking zijn. De ondiepe ondergrond in Vlaanderen bestaat uit vrij recente sedimentaire gesteenten, zodat metaalertsen zeldzaam zijn. Wel leveren deze gesteenten industriële mineralen, grondstoffen die als dusdanig aangewend worden.

Als aanzet van dit hoofdstuk wordt het potentieel aan metaalertsen van het Massief van Brabant besproken. Daarnaast wordt ook ijzererts uitvoerig behandeld. Als industriële mineralen vermelden wij grondstoffen uit het krijt en zouten. Daarnaast wordt het specifieke geval van industriezand behandeld. De andere veel voorkomende industriële mineralen zoals kleien, natuurlijke bouwstenen, zanden... werden al in eerdere afzonderlijke hoofdstukken behandeld. Ten slotte wordt hier ook op het belang van secundaire grondstoffen gewezen.

ed. W. Viaene

1 METALLISCHE MINERALEN IN HET MASSIEF VAN BRABANT

L. Broothaers

In het hoofdstuk geologie van Vlaanderen werd al uiteengezet hoe het Massief van Brabant is ontstaan. Er werd eveneens bondig beschreven hoe vulkanische gesteenten zich hierbij een weg naar het oppervlak baanden.

Vulkanische gesteenten kunnen zich op meerdere manieren door de continentale korst verplaatsen. Voor de hand liggend is het indringen van deze gesmolten massa, ook magma genoemd, in allerlei bestaande spleten en barsten. Tijdens de plooifase ontstaan in het zich vormende gebergte immers vaak breuken, meestal volgens een aantal bevooroordeelde richtingen. Het is pas naar het einde van deze fase toe, wanneer de zijdelingse druk geleidelijk afneemt, dat deze breuken makkelijker opengeprangd kunnen worden. Een vloeistof onder zeer hoge druk is dan in staat de zwakke plekken van het massief binnen te dringen.

Een magma kan zich echter ook een weg naar boven "smelten". Bij voldoende hoge temperaturen kan de zoldering, evenals de wanden, van de met magma gevulde kamer aan het smelten gaan. Deze wordt dan door het magma geassimileerd. Terwijl het magma zich door de korst vreet, evolueert de samenstelling ervan dus voortdurend. Een samenstelling die progressief sterker van de samenstelling van de oceanische korst afwijkt, en die van de meer algemeen bekende granieten benadert. In vakjargon worden dit "zure" gesteenten genoemd.

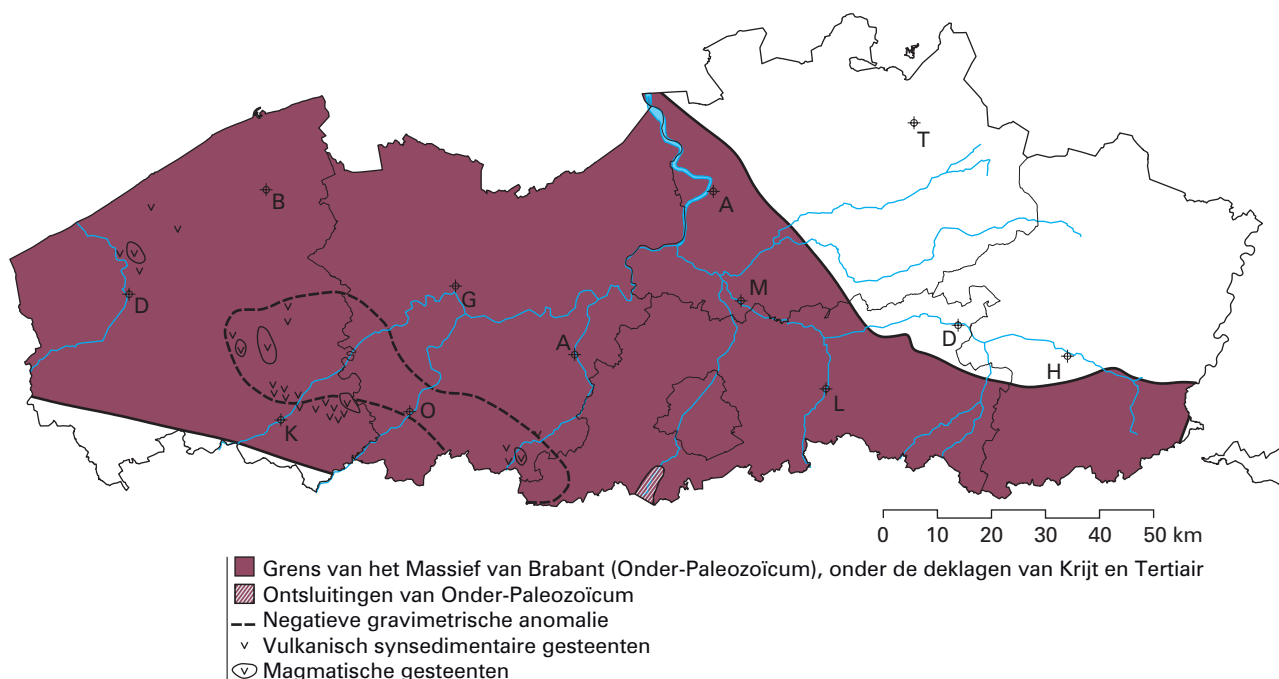
In werkelijkheid is het opstijgen van die magmaharden een combinatie van beide processen.

Het kan voorkomen dat de continentale korst op sommige plaatsen zware metalen bevat in zeer lage concentraties, slechts enkele delen per miljoen (1 p.p.m. = 1/10.000 van 1%): ijzer, koper, lood, zink, zilver, goud, enzomeer. Deze worden dan eveneens door het magma geassimileerd. Bepaalde specifieke fysische en chemische omstandigheden kunnen er eventueel toe leiden dat die zware metalen binnen de magmahard aangerijkt worden.

Een magmahard is tevens een ontzaglijke warmtebron. Daardoor ontstaan convectiestromingen in het grondwater van de omringende continentale korst. Wanneer dit grondwater op enkele kilometers diepte, en dus onder zeer hoge druk, tot enkele honderden graden Celsius opgewarmd raakt, wordt het bijna even corrosief als een zuur. Op deze wijze is het dan in staat zware metalen in oplossing te brengen en mee te voeren. Of het kan door de top van een afkoelende magmahard stromen en aldaar de metallische elementen eveneens in oplossing wegvoeren.

Of het nu een magma of een waterige oplossing betreft, dergelijke fluida komen uiteindelijk op plaatsen terecht met veel lagere drukken en temperaturen. Door uitkristallisering worden dan concentraties van metallische mineralen gevormd.

In talrijke mijnbouwgebieden elders in de wereld zijn de ertslichamen met zure vulkanische gesteenten geassocieerd. Wereldwijde ervaring leert dus dat deze bepaalde groep van gesteenten potentieel een indicator voor economisch waardevolle mineralen is. Het onderzoek naar de aard van de vulkanische gesteenten in het Massief van Brabant heeft al aangetoond dat het hier eveneens "zure" gesteenten betreft (Afb. 7.1). Een aantal waarnemingen in dit massief suggereren bovendien dat processen zoals hier-



AFB. 7.1 VOORKOMEN VAN VULKANISCHE EN MAGMATISCHE GESTEENTEN IN HET MASSIEF VAN BRABANT

boven beschreven zich ook hier hebben voorgedaan. Het anomale karakter van de waarnemingen verantwoordt zonder twijfel het opzetten van een aantal prospectie-activiteiten.

In meerdere boorkernen werden al vaak minuscule korrels van sulfidische mineralen waargenomen. Meestal gaat het om pyriet (ijzersulfide), maar ook sulfiden van lood, koper en zink zijn aanwezig.

Op bepaalde plaatsen werden meer opmerkelijke mineraalconcentraties waargenomen. In enkele boringen dicht bij Geraardsbergen werden op bepaalde dieptes sulfiden genoteerd. In sommige monsters vertegenwoordigden deze 1% tot 20% van de massa. De sulfiden komen op twee verschillende wijzen voor. Enerzijds in de vorm van disseminaties, dit zijn geïsoleerde korrels, willekeurig door het gesteente verspreid. Anderzijds als opvullingen van kriskras door elkaar lopende barsten, met een breedte van 1 mm tot 1 cm. Chemische analyses geven de volgende resultaten:

koper:	tot 4.6%
lood:	tot 2.7%
zink:	tot 14.6%
goud:	tot 0.6 gram/ton
zilver:	tot 110 gram/ton

De volgende metallische mineralen werden herkend: Pyriet (FeS_2), Chalcopyriet (CuFeS_2), Sfaleriet (ZnS), Galeniet (PbS), Pyrrhotiet (Fe_{1-x}S), Tetrahedriet ($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$), Arsenopyriet (FeAsS), Bismuthiet (Bi_2S_3), Molybdeniet (MoS_2).

Het mineraal Pyriet zelf bleek tot 1200 p.p.m. goud en 1600 p.p.m. zilver te bevatten. Het mineraal Galeniet bevatte tot 1600 p.p.m. zilver.

In het zuidoostelijk deel van West-Vlaanderen heeft chemisch onderzoek van het grondwater nog bijkomende anomalieën aan het licht gebracht. Op sommige plaatsen bleek het grondwater afwijkend hoge gehalten aan metalen te vertonen. Niet alleen koper, lood en zink maar ook goud, tin, wolfram, molybdeen en nikkel komen er voor in concentraties die 5 tot 50 maal hoger liggen dan algemeen verwacht.

Hoewel de kans op een economische ertsafzetting klein is, loont het de moeite het potentieel aan metaalhoudende mineralisaties in detail te onderzoeken. Verscheidene studies hieromtrent worden op dit ogenblik al uitgevoerd. Een heuse multidisciplinaire prospectiecampagne werd hiervoor op touw gezet. Het onderzoek vindt plaats enerzijds door studie van grondwater en boorkernen, aangevuld met boorgatmetingen. Anderzijds worden er geofysische metingen uitgevoerd. Hierbij worden hoofdzakelijk gravimetrische en magnetische technieken aangewend.

Vanwege de kostprijs worden geofysische metingen slechts toegepast op lokalisaties die aan de hand van het chemisch onderzoek van het grondwater als anomalieën geselecteerd werden.

2 GRONDSTOFFEN UIT HET KRIJT

L. Broothaers en F. Gullentops

2.A KRIJT

Dicht tegen het oppervlak komt Krijt in Vlaanderen slechts voor in het zuidoostelijk deel van Limburg en in de Voerstreek (Afb. 7.2). In een smalle strook langs de taalgrens, ten zuiden van Tongeren, dagzoomt het of bevindt het zich op minder dan 10 meter diepte. In de Voerstreek is het Krijt overal aan het oppervlak waar te nemen. Er bestaat wel enige taalverwarring rond deze delfstof. In de Limburgse volksmond spreekt men van mergel, terwijl mergel in wetenschappelijk taalgebruik een sterk kalkhoudende klei of leem is.

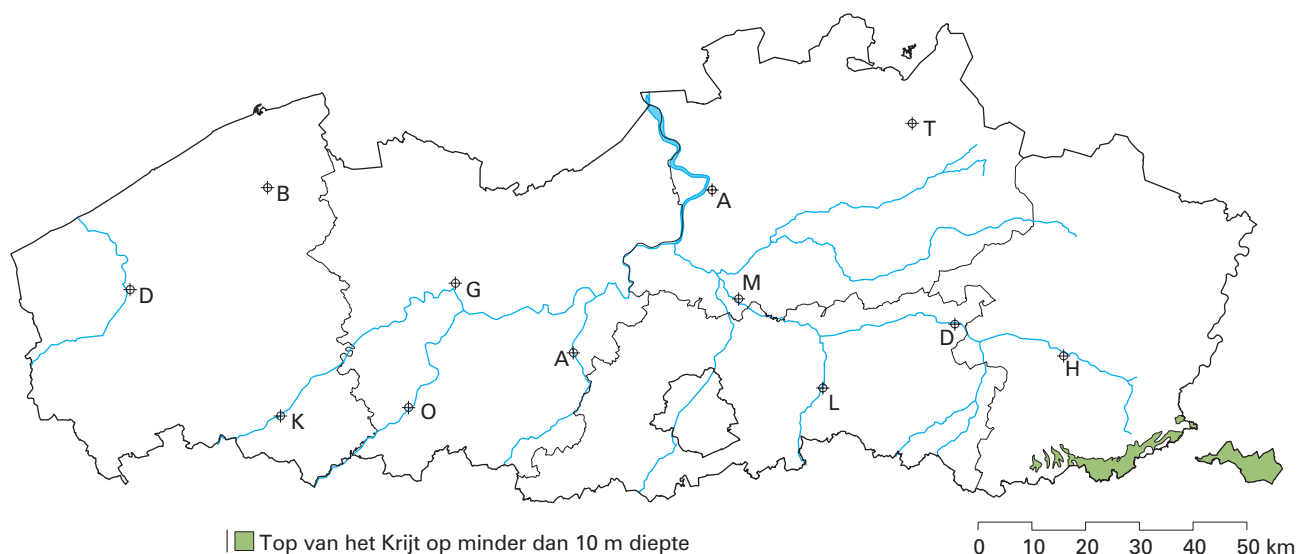
De kalksteen van deze streek werd reeds voor de Romeinse periode als grondstof aangewend. De Kelten uit die regio, de Eburonen, maakten het land vruchtbaar door fijn vermalen kalksteen als meststof op het land te strooien. Kalk fungeert in bodems als verbeteraar doordat het de zuurtegraad corrigeert. Bodems die door de afbraakproducten van vroegere bosbegroeiing zeer humusrijk waren, vertoonden vaak een te zuur karakter. Ook in deze tijd, met de beruchte zure regen, biedt kalk een oplossing om verzuring van landbouwgronden tegen te gaan.

Een andere toepassing in de landbouw is het toevoegen van kalk aan veevoer om in de kalkbehoefte van de dieren te voorzien.

Krijt is bijna zuiver CaCO_3 en is, in tegenstelling tot de vaste en taaie kalksteen, zeer zacht en gemakkelijk te verbrijzelen. Het fijne typische krijt werd in staafjes gezaagd en is gedurende eeuwen als schrijfkrijt gebruikt. Het kraste wel eens op een grovere korrel, een brokje van een grotere schelp. Tegenwoordig worden de ronde staafjes schrijfkrijt "krijt" in gips gegoten, eventueel gekleurd, en is de kwaliteit egaal.

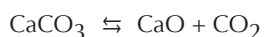
Fijn krijtpoeder werd vroeger gebruikt om witsel te maken en om met lijnolie stopverf te kneden. Het is nog steeds de basis van pasta's om zonder krassen zilverwerk te poetsen. Calciet, het mineraal waaruit het is opgebouwd, is namelijk relatief zacht.

Doordat calciumcarbonaat door verhitting ontbonden kan worden en vervolgens middels chemische reacties met water en lucht opnieuw tot dezelfde substantie omgezet, biedt kalksteen al sinds de klassieke oudheid wijdverbreide toepassingen in de bouwsector. Sinds het ontwikkelen van deze techniek konden bouwstenen immers aan mekaar worden gemetseld. Het waren de Romeinen die deze techniek in onze contreien invoerden.

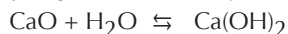


AFB. 7.2 LIGGING VAN DAGZOMEND KRIJLT IN VLAANDEREN

Kalksteen wordt in kalkovens gebrand. Bij een temperatuur van 900 °C ontbindt calciumcarbonaat volgens de reactie:

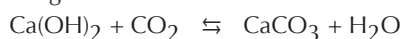


Het calciumoxyde wordt gebrande of ongebluste kalk genoemd. Door toevoeging van water wordt deze “geblust”. In een chemische reactie wordt dan calciumhydroxyde gevormd, met vrijkomen van warmte:



Men dient net voldoende water toe om de reactie volledig te laten verlopen. De gebluste kalk kan dan vermalen worden en als poederkalk worden verkocht.

Voegt men extra water toe, dan krijgt men een kalkbrij. Bij nog verdere verdunning verkrijgt men kalkmelk. Een mengsel van kalkbrij en zand vormt kalkmortel. Door inwerking van koolstofdioxide uit de lucht wordt deze dan hard volgens de reactie:



Het vrijgekomen water laat men dan verdampen tijdens het “uitzweeten” van de muren.

Met de kalkmelk werden muren gewit, waarbij er een dun laagje calciumcarbonaat op het oppervlak werd afgezet.

Het merendeel van de kalk was uit het Luikse en Zuidoost-Limburg of uit het Doornikse afkomstig. Waar mogelijk werden echter wel lokale grondstoffen gebruikt. Schelpen van het huidige strand of fossiele schelpen zoals in het Antwerpse kwamen daarvoor ook in aanmerking. De septaria uit de Boom Klei werden verzameld om te branden tot “Romeinse cement”. Ook de afval bij het kappen van bouwstenen uit de banken kalkzandsteen van het Lediaan en het Brusseliaan konden tot zandige kalk gebrand worden.

2.B CEMENT

Op dit ogenblik is er in het Vlaamse Gewest geen enkele cementindustrie gevestigd. Aangezien cement de belangrijkste industriële toepassing van kalksteen is, is ze in dit kader toch het vermelden waard.

In 1843 werd in Engeland een cement geproduceerd door het sinteren van een kunstmatig mengsel van kalksteen en klei. Omdat de daardoor verkregen kunststenen sterk op de kalksteen van het schiereiland Portland aan de Kanaalkust leken, werd het product Portlandcement genoemd. Tegenwoordig maakt men Portlandcement uit een fijngemalen mengsel van zowat 75% CaCO_3 en 25% klei. Dit laatste bevat oxydes van silicium, aluminium en ijzer. Het mengsel wordt verhit op een temperatuur van 1500°C. Daarbij ontstaat een beginfase van het smeltproces: het sinteren. Alle CO_2 ontwijkt en complexe calciumsilicaten en -aluminaten worden gevormd. Het ovenproduct bestaat uit kleine glasachtige bolletjes, klinker genoemd. Door fijnmalen verkrijgt men dan het poeder dat als cement op de markt gebracht wordt. Wanneer cement met water gemengd wordt, ontstaat een waterige gel waaruit stabiele gehydrateerde aluminaten en silicaten kunnen uitkristalliseren.

Sterkte, verhardingstijd en kleur van de cement worden bepaald door de samenstelling en verschillen volgens doel en aanwending. Om aan de specificaties van een klant te voldoen vertrekt de cementproducent van het zuivere krijt of andere kalksteen, en voegt hieraan de nodige hoeveelheden klei toe. Een belangrijke cementindustrie heeft zich aldus ontwikkeld tussen Luik en Maastricht.

2.C VUURSTEEN

In de witte krijtlagen van het **Maastrichtiaan** vallen evenwijdige lagen donkere knollen op. Het zijn vuurstenen of silexconcreties (Afb. 7.3). Ze bestaan uit zuiver chalcedoon, $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Ze ontstonden in het kalkslib op de zeebodem, maar dan na het sedimentatieproces. Tussen de kalkskeletjes bevonden er zich immers ook restanten van diatomeeën, radiolariën en sponzen. Diatomeeën zijn eencellige plantaardige organismen, de andere zijn dierlijk. Ze bevatten alle kiezelige skeletjes en/of naalden. Het poriënwater in het vers begraven kalksediment krijgt door de aanwezigheid van uiterst kleine hoeveelheden opgelost $\text{Ca}(\text{OH})_2$ een licht basische pH. Daardoor worden de kiezelskeletjes in oplossing gebracht. Op een iets grotere diepte, in lagen waar de fysico-chemische omstandigheden weer iets anders zijn, kan de opgeloste kiezel weer uitkristalliseren en vormt zich aldus een chalcedoonrijk niveau. Dit fenomeen deed zich met een regelmatige cyclischeiteit voor.

Dit silex is zeer homogeen zodat men er stukken met schelpvormige breukvlakken en vlijmscherpe randen kan afslaan. De prehistorische mens leerde deze eigenschap nuttig aan te wenden om er zijn gereedschappen mee te vervaardigen: vuistbijlen, messen, bijlen, schrapers, pijlpunten, enz. Silex werd aldus de voornaamste delfstof tijdens het **Steentijdperk**, voor onze streken vanaf ongeveer 300.000 jaar geleden. Aanvankelijk gebruikte men daarvoor silexkeien die men in sommige streken aan het oppervlak kon vinden. Beter en talrijker nog waren de gerolde exemplaren die men in de bedding van sommige rivieren kon verzamelen. Toen de mens zich tijdens het **Neolithicum** (5000 - 2000 v.Chr.) van jager-verzamelaar naar land-



AFB. 7.3 SILEX
Op de noordelijke helling van het Jekerdal dagzoomt het Krijt waarin vuursteen- of silexbanken voorkomen.

bouwer omschakelde, nam de behoefte aan vuurstenen werktuigen nog toe. Van toen af werd vuursteen ook in ondergrondse mijnen ontgonnen.

De prehistorische mens had eveneens de mogelijkheid ontdekt om vuur te maken door met een vuursteen op een stuk pyriet, FeS_2 , te slaan en de ontstane vonk op te vangen. Tijdens de ijzertijd, voor onze streken vanaf ongeveer 500 voor Christus, ontstond hiervoor een betere techniek: het met een stuk vuurstaal, koolstofhoudend ijzer, slaan op een vuursteen. De later hieruit geëvolueerde tondeldozen bleven tot in de 19e eeuw in gebruik. Vanaf de 16e eeuw werd in vuurwapens de haan uitgerust met een brokje vuursteen dat een genster sloeg in de buskruitpan. Tijdens de Romeinse periode werden silexknollen ook als bouwsteen gebruikt. Dit is goed zichtbaar in de Romeinse omwalling van Tongeren, in een aantal kerken, en vooral in talrijke hoevegebouwen tot in de Voerstreek.

Omdat het scheikundig zeer zuiver is, werd vuursteen, flint in het Engels, ook gebruikt als grondstof voor het edelste glas, kristal of "flint glass".

De grootste en rondste silexkeien hebben ook een bijzondere handelswaarde als maalstenen in kogelmolens. Voor de bekleding van de molenwanden worden in Eben-Emael nog silextegels gekapt en wereldwijd uitgevoerd. Slechts in dergelijke molens kan zuiver kwarts tot zuiver SiO_2 -poeder gemalen worden.

2.D FOSFAAT

In 1869 werd in Leuven, op de Volksplaats, de eerste diepe boring uitgevoerd op zoek naar water. Tussen 108 en 110 m diepte werden harde, licht grijze nodulen bovengehaald, met bruin-zwarte breuk, waarvan de analyse 62% calciumfosfaat aantoonde. De analyst merkte op dat dergelijke coprolieten in Engeland op grote schaal werden ontgonnen ten voordele van de landbouw. Hij wist blijkbaar niet dat vanaf 1866 dergelijke coprolieten in het bekken van Bergen ook al in ontginning waren. Coprolieten zijn versteende uitwerpselen van dieren. Daar nam de exploitatie van fosfaathoudende krijtlagen een grote vlucht. Ook in Haspengouw, bezuiden de Jeker, werd, tussen Waremme en Lantin, vanaf 1890 ontgonnen in ondergrondse galerijen, die nu trouwens nog een rol spelen in de watervoor-

ziening van Luik. Al is het zeker dat deze lagen zich voortzetten ten noorden van de taalgrens, toch mag men stellen dat hun diepere ligging de ontginning ervan uitsluit.

Grondstofgebruik in de Steentijd

Marc De Bie

Het gebruik van gesteenten is zo oud als de mens zelf. Voor archeologen is de fabricatie van (stenen) werktuigen immers precies het criterium om het wezen 'mens' te onderscheiden van de andere primaten. Ook die eerste mensen moesten daarvoor de geschikte materialen vinden. Om scherpe snijranden te verkrijgen, moest men kunnen beschikken over een hard gesteente met een fijne homogene structuur, dat schelpvormig splijt wanneer er een stuk wordt afgeslagen, eigenschappen die we vandaag bijvoorbeeld in glas terugvinden. Vuursteen (silex) voldoet aan deze kwaliteiten, komt bij ons vrij veel voor, en werd dan ook voortdurend gebruikt.

Vuursteenknollen worden gevormd in zeesedimenten. De prehistorische mens vond deze knollen later in de krijtlagen, maar ook in beddingen en terrassen van rivieren die deze lagen doorsneden en het silex mee transporteerden.

Een vuursteenknol kan op diverse manieren worden bewerkt. Men kan er afslagen afhaken tot men in de kern van de knol de gewenste vorm (bv. een vuistbijl) overhoudt. Deze kerntechniek werd vooral aangewend in het Oud-Paleolithicum (ca. 2.500.000 tot 250.000 jaar geleden). In Vlaanderen vinden we hiervan maar weinig sporen terug.

Men kan ook de afslagen zelf als eindproduct beschouwen. De scherpe randen hiervan zijn immers zeer bruikbaar. In het Midden-Paleolithicum (ca. 250.000 tot 35.000 jaar geleden) werd de vuursteenknol specifiek voorbereid om uiteindelijk met één enkele slag een voorwerp te verkrijgen met de gewenste vorm. Deze afslagtechniek verbruikte echter veel grondstof.

Tijdens het Jong-Paleolithicum (ca. 35.000 tot 10.000 jaar geleden) werd het rendement verhoogd door de ontwikkeling van de klingtechniek. Na een beperkte voorbereiding van de knol werden langwerpige smalle afslagen (klingen) in serie geproduceerd. Hierdoor werden talrijke scherpe randen gecreëerd.

Na het koudste deel van de laatste ijstijd, zowat 15.000 jaar geleden, trokken kleine groepen jagers tot in onze streken op zoek naar goede grondstof. In de Jekervallei in Kanne vonden zij op de valleiflanken vuursteen van uitstekende kwaliteit. Deze vuursteen werd ter plaatse verwerkt. De klingen werden grotendeels meegenomen.

Pas vanaf de grondige klimaatsverbeteringen, omstreeks 12.000 jaar geleden, worden onze streken opnieuw permanent bevolkt. Door de uitbreiding van de vegetatie werden de plaatsen waar goede vuursteen aan de oppervlakte voorkomt, echter meer en meer aan het prehistorisch oog onttrokken. De silex die wordt gebruikt is dan ook van mindere kwaliteit. De stenen producten worden duidelijk kleiner. Ook de afwerking wordt minder verzorgd. De jagers en verzamelaars die langs de Maasvallei in Rekem hun tenten opsloegen, gebruikten hoofdzakelijk de vuursteen uit de lokale rivierbedding. Daar vonden ze eveneens grote zandstenen en kwartsieten voor het omringen van de haarden of het verzwaren van de tentbekleding. Kwartskeien werden verhit en gebruikt om water op te warmen. Enkele grondstoffen werden evenwel van elders aangevoerd: rode oker en ook ijzerzandsteen, die werd gebruikt om pijlschachten glad te maken.

Tijdens het Mesolithicum (9000-5000 v.Chr.) is het klimaat definitief verbeterd en vertoeft de mens in een almaar dichter begroeid boslandschap. Om de karakteristieke micro-klingen en microlieten (bewapeningselementen) uit deze periode te maken, worden steeds kleinere vuursteenkeitjes gebruikt, vaak zwerfkeien van mindere kwaliteit. De steenkappers doen nu ook een beroep op andere gesteenten met een fijnkorrelige structuur, die zich net als vuursteen makkelijk laten bewerken: ftaniet uit Ottignies, glimmerzandsteen, en vooral het Wommersomkwartsiet uit de streek rond Tienen. Dat laatste gesteente is zeer karakteristiek, goed herkenbaar, en afkomstig van een welbepaalde locatie: de Steenberg in Wommersom. Waar het tijdens het eerste deel van het Mesolithicum nog een vrij beperkte verspreiding kent, tot 20 km van de vindplaats, wordt dit Wommersomkwartsiet daarna veelvuldig gebruikt tot op 80-90 km van Wommersom, en in beperktere mate ook nog op grotere afstand van de ontsluiting. Uit het verwerkingsafval op die Laat-Mesolithische sites blijkt dat het ook in ruwe of licht voorbereide brokken werd getransporteerd, dus niet enkel in de vorm van eindproducten. In de nederzetting werd het door de jagers vooral gebruikt om trapezia te vervaardigen, elementen die werden geschacht in pijlen en harpoenen.

Ook in de dorpen van de eerste landbouwers in Vlaanderen, in Wange en Overhespen, werd nog in beperkte mate **Wommersomkwartsiet** verwerkt, wellicht

omdat deze nederzettingen op nauwelijks enkele kilometers afstand van de Steenberg werden opgetrokken. Naast Wommersomkwartsiet werd in dit Oud-Neolithicum (ca. 5.500-4.600 v.Chr.) vuursteen gebruikt, onder meer om klingen te maken die in sikkels werden gemonteerd. De dissels zijn meestal in 'exotische' gesteenten: vooral amfiboliet, maar ook basalt, porfier, kwartsiet, micarische zandsteen en ftaniet. Dat laatste gesteente werd in Wange en Overhespen in ruwe vorm aangevoerd vanuit Ottignies en lokaal bewerkt en gepolijst. Zandsteen ten slotte werd gebruikt voor het maken van maal- en slijpstenen.

Bij het ontstaan van de keramiekproductie in het Neolithicum ging de mens ook op zoek naar klei. Aangezien de eerste landbouwers zich uitsluitend op de kleirijke leemgronden vestigden, vonden zij lokaal geschikt sediment om als pasta te gebruiken. Het maken van potten was dan meestal ook een plaatselijke activiteit.

Tijdens het Midden-Neolithicum (ca. 4600-3800 v. Chr.)

neemt de behoefte aan goede vuursteen toe, onder meer door de introductie van geslepen bijlen in silex, naast de bijlen in hardsteen. Deze vuursteen-honger leidt tot systematische exploitatie van de ondergrondse krijtlagen. Ook in Vlaanderen gaat de prehistorische mens uitgebreid gebruik maken van vuursteen die in mijnbouw werd ontgonnen. Die mijnen zelf liggen evenwel net buiten Vlaanderen: in Noord-Frankrijk, Henegouwen (o.a. Spiennes), Haspengouw, Duitsland (Lousberg) en juist over de grens in Nederlands Limburg (o.a. Rijckholt-Sint-Geertruid).

Naast deze ondergrondse ontginning met schachten tot 30 meter diepte en een systeem van onderaardse gangen, vindt op vuursteenrijke locaties ook dagbouw plaats. Daar wordt de vuursteen gewonnen in kuilen of open groeven. Dat was wellicht het geval in de streek rond

Voeren, waar zogenaamd **Rullenvuursteen** voorkomt (in de Franstalige literatuur "vuursteen van Aube" genoemd). In de ateliers of afvalhopen van de vuursteenbewerking, vinden we hoofdzakelijk de ruwe schorsafslagen, gewone afslagen, restkernen, en mislukte halffabrikaten terug. De goede halffabrikaten, vooral klingen en ongeslepen bijlen, werden vaak over lange afstanden getransporteerd, onder meer naar het vuursteenarme Rijnland.



Aangezien vuursteen, net als glas, schelpvormig breekt, kan men er makkelijk scherpe scherven afslaan. Door de vuurstenen artefacten -de eindproducten, maar ook het afval- op de juiste manier weer aan elkaar te kleven, kan het feitelijk verloop van de prehistorische steenbewerking exact gereconstrueerd worden.

Het polijsten van de bijlen vond meestal in de buurt van de nederzettingen plaats, soms op grote stenen. De Holsteen in Zonhoven is het enige bekende voorbeeld in Vlaanderen van een grote polijststeen die in de prehistorie werd gebruikt. De grote zandsteenblokken die daar voorkomen waren ter plaatse gevormd door aaneenkittig van de Miocene bolderiaanzanden, en hebben dus geen enkele relatie met megalieten. Het megalitisme, de vroegste monumentale bouwkunst, is wel één van de kenmerken van het Laat-Neolithicum (ca. 3800-2.100 v.Chr.) in Europa. In Vlaanderen zijn dergelijke alleenstaande of in grotere constructies opge-

trokken reusachtige steenblokken evenwel niet aangetroffen. Ook over de groepen die op dat moment onze streken bevolken, de Standvoetbeker- en Klokbekeerculturen, is de informatie schaars. Met de eerste gaat de ruime verspreiding van hardstenen strijdhamers gepaard, de tweede brengt uiteindelijk ook metaal in onze gewesten binnen.

Intussen had men in het Nabije Oosten immers al lang de kwaliteiten ontdekt van ertsen en er vanaf de tweede helft van het 5de millennium v.Chr. ook echte metallurgie leren bedrijven. De invoer van bronzen voorwerpen maakt vroeg in het tweede millennium v.Chr. een einde aan de steentijd in onze gebieden. Deze overgang verliep zeker niet abrupt. In Vlaanderen is ook in de Metaaltijden vuursteen nog veelvuldig gebruikt.

3 ZOUT

L. Broothaers en F. Gullentops

De Vlaamse kustvlakte, ook Polderstreek genoemd, is een laaggelegen gebied dat tot aan het einde van het eerste millennium vrij periodisch door de zee overspoeld werd. Tijdens transgressieve fasen drong de zee via geulen en krekens het land binnen. Reeds voor de Romeinse tijd werd de aanwezigheid van zout water in de omgeving van drooggelegen bewoonbaar gebied benut. De plaatselijke Keltische stammen, de Menapiërs, bleken reeds een aanzienlijke zoutwinningsindustrie uitgebouwd te hebben. Zij gebruikten hiervoor een techniek die in Oost-Frankrijk “briquetage” genoemd wordt. De hiervoor benodigde gereedschappen werden van lokaal gewonnen klei vervaardigd.

Later brachten de Romeinen nieuwe productietechnieken uit het Middellandse-Zeegebied mee. Zij legden zoutpannen aan: in de kleiige grond uitgegraven vergaarbakken van wel 20 bij 40 meter groot. Deze werden bij hoogtij met zeewater gevuld dat via een grachtensysteem vanuit de geulen werd aangevoerd. Hieruit liet men het zeewater voor het grootste gedeelte verdampen. De pekkel werd dan verder in uit klei vervaardigde kuipen van ongeveer 120 bij 60 cm uitgedampt. Deze werden daartoe met een onderliggend vuurtje heet gestookt. Als brandstof werd het ter plaatse voorkomende veen gebruikt. Modern geologisch onderzoek wees uit dat de zoutpannen inderdaad steeds op sites gelokaliseerd werden waar het veen aan het oppervlak voorkwam, nabij Pleistocene zandruggen. Rond 300 n.C. ging deze industrie echter teloor. De ongunstige klimatologische omstandigheden maakten geen concurrentie mogelijk met zoutpannen langs de warmere Franse kusten, ten zuiden van de Loire-monding.

In het noorden van Nederland en Duitsland bevinden zich in de ondergrond vrij dikke zoutlagen die het gevolg zijn van het uitdampen van geïsoleerde Noordzeebekkens tijdens het Trias-tijdperk. Ze kunnen ontgonnen worden door het oppompen van pekkel, zoals bv. in Hengelo. Uitlopers van deze sedimentlagen van Trias-ouderdom komen ook in het noordoosten van de Kempen ondergronds voor, hoewel daarin tot nog toe geen zoutlagen werden aangetroffen. Het grondwater op zulke diepte aldaar is echter wel sterk zouthoudend. Tot bijna 4 g/l Na-ionen en meer dan 5 g/l Cl-ionen werden er genoteerd. Deze gehalten zijn echter nog te laag om industriële extractie mogelijk te maken.

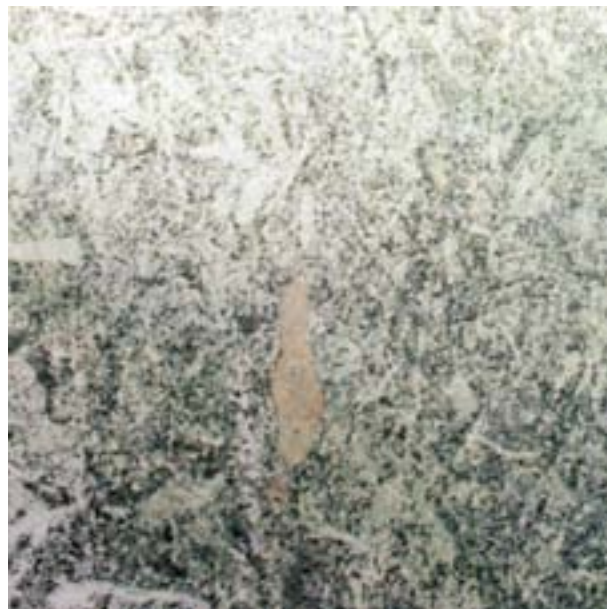
4 IJZERERTS

B. Malherbe en F. Gullentops

4.A GLAUCONIET

Glauconiet is een zeer bijzonder mineraal dat alleen op de zeebodem wordt gevormd, wanneer het zeewater veel ijzerionen bevat. Het heeft de algemene formule $\text{KMg}(\text{Fe},\text{Al})_3\text{Si}_6\text{O}_{18}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$, waarbij het ijzer haast

al het aluminium kan vervangen. Het behoort structureel tot de kleimineralen en wel tot de familie van de illieten. Daardoor heeft het op microschaal een bladerige structuur, al komt het voor in de vorm van groene ronde korrels.



AFB. 7.4 GLAUCONIET
Glauconietrijk en fel door organismen doorwoeld Krijt uit de boring te Molenbeersel.

Door zijn specifieke korrelvorm gedraagt dit kleimineraal zich sedimentologisch als een zand (Afb. 7.4).

Door vertering komt het ijzer gemakkelijk vrij en het is verantwoordelijk voor de hierna besproken ijzerzandstenen en ijzerertsen. Onverveerd heeft het echter zeer bijzondere eigenschappen.

Het kaliumgehalte varieert tussen 2 en 6% en is dus een potentiële bron van meststof.

Het vertoont hoge adsorptie en de natuurlijke eigenschap van basenuitwisseling tussen de kationen die vrij los tussen de blaadjes in het kristalrooster zijn opgenomen en de kationen in oplossing. Het kan daardoor polluerende kationen vastleggen. Hiervan werd reeds gebruik gemaakt om radioactieve polluenten op te slorpen.

Als kleimineraal met hoog kationengehalte heeft het een laag smeltpunt. Samen met de polluenten kan het reeds bij 800 °C tot een glas worden gesmolten. Door zijn korrelvorm is glauconietzand tevens doorlatend en het kan derhalve gebruikt worden als actieve afscherming van stortplaatsen. Hierbij is het de bedoeling dat de glauconietkorrels een chemische uitwisseling aangaan met het doorsijpelende vervuilde water. Een proefstort van Scheldeslib werd hiermee uitgerust op Geuzenhoek.

De Miocene Edegem en Antwerpen Zanden kunnen tot 80% glauconiet bevatten. In het zuidwesten van de provincie Antwerpen komen ze onder de watertafel, en derhalve totaal onverveerd, voor. Hiervan werden grote

hoeveelheden uitgegraven bij de zuidelijke ring en de metrowerken van Antwerpen. Het Diest Zand bevat gemiddeld 50% glauconiet.

4.B IJZERERTS

Glauconiet kan tot 20% ijzer in zijn kristalrooster opslaan en wordt daardoor een potentiële ijzerbron. De Edegem, Antwerpen en Diest Zanden zijn donkergroen tot zwart door een glauconietgehalte dat bijna altijd boven de 50% ligt. Dit komt overeen met een ijzergehalte van ongeveer 10%.

Door verwerking van het glauconiet kan het ijzer opgelost worden en elders neerslaan. Aldus kunnen secundaire aanrijkingen ontstaan. De verwerking van de Diest Zanden kon beginnen wanneer de zandbanken door verlaging van het zeeniveau bloot kwamen te liggen. Boven de watertafel kon de verwerking het glauconiet aantasten, waarbij het ijzer werd gemobiliseerd, hetzij in zuur milieu in gereduceerde vorm, hetzij als complex met bijvoorbeeld humuszuren. Die oplossingen sijpelen in de bodem door en slaan neer waar wijzigingen in de zuurtegraad en/of oxido-reductie potentiaal optreden. Dit gebeurt vooral in de horizonten waar de grondwatertafel op en neer schommelt. De neerslag, in de vorm van roest, kan de poriën van het zand min of meer opvullen en de korrels daarbij aaneenkiten tot ijzerzandsteen (zie Afb. 5.3). Het geoxideerde ijzer kan echter ook neerslaan in dunne laagjes die een grillig patroon van pijpen en golven volgen. Deze laagjes zijn dan zuiver limoniet en bereiken een ijzergehalte van 40%.

Naarmate door de opheffing van het land de watertafel daalde, kon deze verijzering dieper in het sediment doordringen. Ze werd tijdens het Pliocen zonder twijfel begunstigd door het nog warme subtropische klimaat en verminderde tijdens de versnelde opheffing gedurende het koudere Kwartair. Daardoor komen de verijzeringen vooral voor in het bovenste deel van de Hagelandse heuvels, terwijl lager haast onverweerde glauconietzanden worden aangetroffen (Afb 7.5). De verijzeringen maken de zanden ook weinig doorlaatbaar voor water, zodat de toppen van

de heuvels er vaak drassig bijliggen. Door het wegspoelen van het zand concentreren zich de limonietlaagjes op de top en de hellingen van de heuvels. Geen wonder dat ze de aandacht trokken en in de Ijzertijd effectief voor de ijzerwinning gebruikt werden.



AFB. 7.5 IJZERERTS
Verijzering van Diestiaan Glauconietzand op de Kesselberg.

Vanaf het midden van de 19e eeuw werden ijzerschollen verzameld en naar de Waalse hoogovens vervoerd. Na de Eerste Wereldoorlog werd in Gelrode een echte ontginning opgestart, maar reeds in 1926 beëindigd. Dit heeft te maken met het grillige voorkomen van de limonietlaagjes, maar vooral met de minder gunstige fysische en chemische kenmerken van dit erts, zodat de metallurgie ervan volkomen onrendabel is.

Voor gebruik als ijzererts bezitten ijzerzandstenen een groot aantal nadelen. Bij het smelten is het de bedoeling de hoofdelementen van het erts, buiten het metaal, in een afzonderlijke vloeistof te concentreren: de slakken. Zowel ijzersmelt als slakken moeten dan de geschikte viscositeit bezitten om vrij naar de bodem van de hoogoven te kunnen vloeien. Bovendien moet het smeltpunt van de slakken zo laag mogelijk liggen.

Silicium-rijke ertsen hebben een relatief hoog smeltpunt. Daarom moet aan het erts een smeltpunt-verlagende flux toegevoegd worden: kalksteen. De verhouding CaO/SiO_2 , of basiciteitsindex, van een erts bepaalt de viscositeit van de slakken. Voor een optimale vloeibaarheid moet deze verhouding min of meer aan 1,3 gelijk zijn. Hieruit volgt dat men aan de lading ijzerzandsteen een ongeveer gelijke hoeveelheid kalksteen zou moeten toevoegen. Men zou dus een hoogovenlading moeten verhitten die nog slechts 5% ijzer bevat. Ter vergelijking: een commercieel ijzererts moet tegenwoordig 50 tot 60% ijzer bevatten.

Ijzerzandsteen is een sedimentgesteente met een behoorlijke porositeit en limoniet is een mineraal dat veel kristalwater bevat. Het erts zal dus altijd water bevatten, wat tijdens het smelten nog een belangrijk gloeiverlies oplevert. Door de onvolledige verkitting is het ook een relatief zacht en broos gesteente dat bij elke behandeling veel fijne deeltjes vrijgeeft. Deze fijne fractie kan makkelijk de poriën en holtes in de hoogovenlading verstoppen. Daarenboven heeft het verdampen van het ingesloten water vaak een explosief karakter, wat een extra toename van de fijne fractie in de hand werkt.

Vandaar dan ook dat van de verdere ontginning in Gelrode snel afgezien werd.

5 INDUSTRIEZAND

Y. Wittewrongel en F. Gullentops

5.A INLEIDING

Zand vindt men overal ter wereld en in alle landen, doch er is zand en zand. Kinderen spelen op het strand, de woestijnen zijn er vol van, maar kwalitatief hoogwaardige zanden om aangewend te worden in de industrie zijn eerder de uitzondering dan de regel.

Om als industriezand gebruikt te worden moet het zand aan zeer strenge eisen voldoen, zowel fysisch als chemisch. Het ideale industriezand zou voor 100% uit kwarts (SiO_2) moeten bestaan. De meeste zanden echter zijn verontreinigd door bijmenging van andere bestanddelen zoals klei, organisch materiaal, zware mineralen, schelpen, veldspaten. Dikwijls zijn de zandkorrels verontreinigd door een neerslag van ijzeroxides op het oppervlak, waardoor ze sterk roestbruin gekleurd zijn.

Aldus is het duidelijk dat minimaal verontreinigde zanden zeer schaars zijn. Vlaanderen is hierin bevoorrecht. De Mol Zanden en de zanden van Miocene ouderdom

aangetroffen in Maasmechelen zijn van een uitzonderlijk kwaliteit en worden door verdere behandeling opgewaardeerd tot zeer hoge kwaliteitsproducten.

5.B KWALITEITSPARAMETERS

De voornaamste kwaliteitsparameters waaraan het zand na behandeling moet voldoen om als industriezand aangewend te worden, zijn hieronder beschreven. We illustreren dit aan de hand van de kwaliteitskenmerken van het zand voor aanwending in de glasindustrie. Ieder toepassingsgebied heeft echter zijn eigen specifieke eisen, zodat hetgeen volgt als algemene kenmerken beschouwd dient te worden.

Het Fe_2O_3 -gehalte: De voornaamste toepassing van de industriezanden is de productie van glas in al zijn vormen. Ijzer is een sterke kleurstof voor glas. Wil men wit glas verkrijgen, dan moet het Fe_2O_3 -gehalte van het zand zeer laag zijn. Voor de Mol Zanden bedraagt dit ongeveer 0,035% en voor de Opgrimbie Zanden 0,010%.

Het Al_2O_3 -gehalte: Deze parameter is in grote mate belangrijk bij de productie van glas, daar het Al_2O_3 -gehalte de viscositeit van het gesmolten glas in sterke mate beïnvloedt en tevens de bestendigheid van het glas bepaalt.

Het TiO_2 , K_2O en CaO -gehalte: Deze parameters moeten zo constant mogelijk zijn. Dit geldt ook voor alle chemische parameters. Variaties in de samenstelling vergen telkens aanpassingen van het glasbad om een constant product te verkrijgen.

Zware mineralen: Het zand bevat naast kwartskorrels ook in mindere mate minerale bijmengingen, zware mineralen genoemd. Zware mineralen zijn mineralen waarvan de dichtheid groter is dan die van bromoform (2.85 g/cm^3), een vloeistof die gebruikt wordt om de mineraalfracties te scheiden. Sommige zware mineralen hebben een hoog smeltpunt en kunnen aldus als ongesmolten defecten in het afgewerkte glas voorkomen. Tot deze mineralen behoren onder andere chromiet, andalousiet, distheen. Indien aanwezig moeten deze door een aangepaste behandeling uit het zand verwijderd worden.

Korrelverdeling: Aan de korrelverdeling van het zand worden, naargelang de toepassing, strenge eisen gesteld. Zo wordt bijvoorbeeld voor de glasindustrie een zand verlangd met een korrelgrootte die ligt tussen 100 en 500 μm . Grote korrels smelten moeilijker in het glasbad, fijnere korrels brengen dan weer stofproblemen teweeg.

Uit het voorgaande blijkt duidelijk dat industriezand zich onderscheidt van meer gebruikelijke zanden zoals die in bouw en wegenwerken gebruikt worden. Men kan stellen dat industriezand in de praktijk als een schemisch product moet bekeken worden.

5.C BEHANDELINGSTECHNIKEN

Zoals reeds vermeld streeft men ernaar een kwartzand te verkrijgen met een zo hoog mogelijk kwartzgehalte (Afb. 7.6). Zanden kunnen onzuiverheden bevatten die in drie vormen voorkomen:

- onzuiverheden tussen de kwartskorrels: Dit zijn hoofdzakelijk de minerale bijmengingen in de vorm van zware mineralen, veldspaten, glimmers, organische bestanddelen zoals ligniet enz...;
- onzuiverheden op het korreloppervlak: Deze kunnen bestaan uit een ijzeroxide bedekking (roestbruine zanden), organisch materiaal en klei;
- onzuiverheden als insluitsels binnen de kwartskorrels. Hierbij kunnen zowel gas-vloeistofinsluitsels als minerale insluitsels vermeld worden.

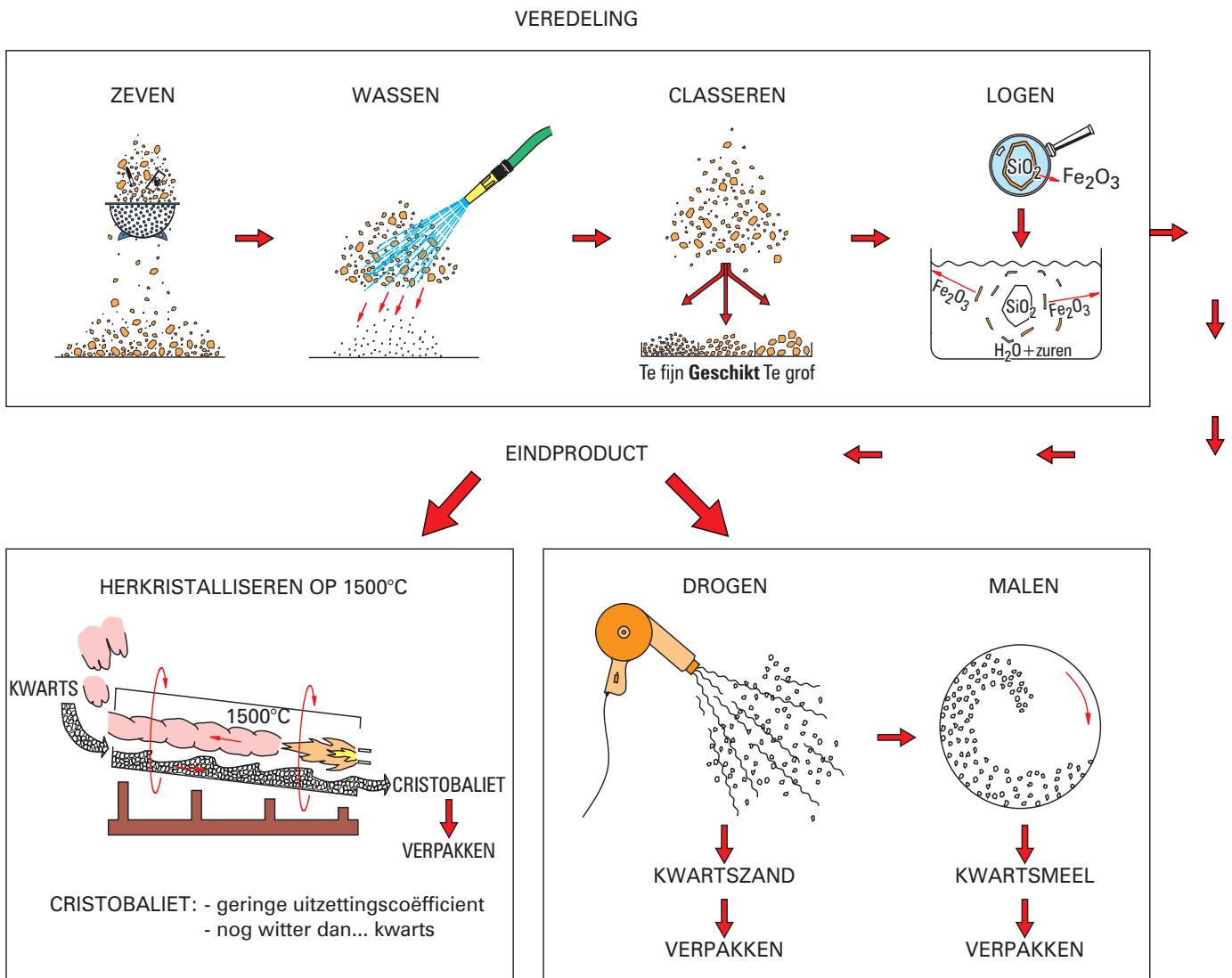
Tussen de korrels: naargelang de specifieke kenmerken van de minerale onzuiverheden kunnen deze op verschillende wijzen verwijderd worden. Steunende op de dichtheid van de zware mineralen zullen technieken zoals hydraulische klassering, schudtafels en spiralen aangewend worden.

Indien de mineralen magnetische eigenschappen hebben wordt magnetische zuivering toegepast langs natte of droge weg. Een zeer effectieve techniek om minerale onzuiverheden te verwijderen is de flotatie-methode, waarbij gebruik gemaakt wordt van mineraalcollectoren zoals petroleumsulfonaten en vetzuren.

Op de korrels: wanneer de onzuiverheden als een omhulling van de kwartskorrel voorkomen worden deze door scrubbing verwijderd. Dit is een mechanische reiniging waarbij in een zand-water mengsel met verhouding 3:1 een stel ronddraaiende stangen de zandkorrels tegen elkaar wrijven zodat hun oppervlak sterk afslijt.

Indien een sterke binding tussen onzuiverheid en zandkorrels bestaat, zoals bij roestbruine zanden, wordt overgegaan tot chemische reiniging door middel van zuren (uitloging).

In de korrels: de inclusies binnen de kwartskorrels zijn in principe niet te verwijderen. Enkel zeer speciale behandelingen met etsende zuren kunnen in sommige gevallen de kwaliteit verbeteren.



AFB. 7.6 VEREDELING VAN ZAND

5.D MOL ZANDEN

5.D.1 VOORGESCHIEDENIS

Het vroegere gebruik de lemen vloer van de Kempense hoeven met sierlijke krullen van wit zand te verfraaien, laat vermoeden dat het witte Mol Zand al langere tijd werd ontgonnen. In de heide tussen Kattenbos en Mol liggen wel putten die op zijn minst voor prospectie zijn gegraven. Slechts in de omgeving van Mol-Donk lag het zand op spadediepte.

A. Dumont die voor het opmaken van de eerste geologische kaart in 1849 de omgeving bezocht, maakt in zijn doorgaans zo minutieuze veldnotities geen melding van speciaal wit zand. Toch werd op dat ogenblik het Schelde-Maaskanaal gegraven en de aftakking naar Kwaadmechelen, waarbij het spierwit zand dat op de oevers werd geschept, snel de aandacht trok.

De eerste officiële exploitatie dateert blijkbaar van 1862. Kleinschalig begonnen in Donk en Gompel is het uitgegroeid tot een van de belangrijkste ontginningsgebieden van het Vlaamse Gewest. De huidige kennis van de ondergrond stelt ons in staat aan de hand van de eigenschappen en de ligging van de Mol Zanden drie zones te onderscheiden.

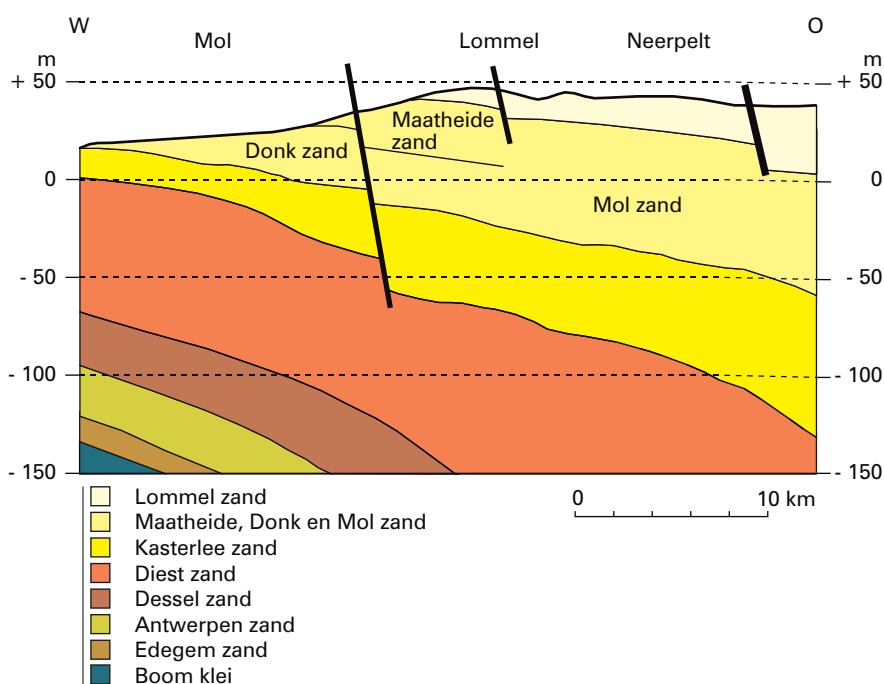
Een eerste zone is het oude ontginningsgebied van Boeretang tot het Zilvermeer en meer recentelijk Rauw, waarvan de langgestrekte aaneenschakeling van vijvers slechts een zeer beperkte uitbreiding van de afzetting laat vermoeden. Ten zuiden en grotendeels ook ten noorden wordt het voorkomen scherp begrensd, als in een bekken, waarbij het witte zand in het midden tot 25 meter dik kan zijn.

Aan de basis komen enkele keien voor en de aanwezige mineralen wijzen op een aanvoer door een stroom. Dit was de Maas die zich ten noorden van Aken in de Roerdal Slenk stortte en via het noorden van de Kempen in de Pliocene Noordzee uitmondde. Zij voerde zeer sterk verweerde kwartzanden aan, zoals het kiezeloëlietgrind, die zij hoger in haar dal achterliet.

In het zakkende gebied van die slenk werd het estuarium soms ook bedekt door een moeras waarvan de subtropische plantengroei als lignietlaag van de Maat bewaard is. De humuszuren van het moeras verweerden het zand nog verder en bleekten het op sommige plaatsen spierwit. Daardoor daalde het ijzergehalte tot dat van een uitstekend natuurlijk glaszand. Die onderste laag van het Mol Zand wordt geologisch het Donk Zand genoemd (Afb. 7.7). Dit

zand werd tijdens de laatste ijstijd bedekt door een mantel dekzanden die echter zeer rijk zijn aan ijzerhoudende mineralen.

Een tweede ontginningszone begint in Rauw waar schuin door de ontginningsvijver een belangrijke randbreuk van de Roerdal Slenk werd ontdekt: de Breuk van Rauw. Ten oosten ervan is het zand van Donk minstens



AFB. 7.7 MOL ZAND: PROFIEL MOL - NEERPELT

Door verschillende afschuivingsbreuken komt het Mol Zand naar het oosten toe steeds dieper voor.

15 meter diep weggezakt, samen met de bedekkende moeraslaag van de Maat. Hierop is een tweede zandlaag bewaard die naar mineralen en ijzergehalte sterk op het onderste zand gelijkt. Ze omvat echter veel humusrijke horizonten waardoor de kleur grijs-bruin, soms zwart is: het wordt geologisch onderscheiden als Maatheide Zand. Niettegenstaande de donkerder kleur is het zand uitermate geschikt om als glaszand aangewend te worden.

In deze zone wordt het zand bedekt door een laag grofkorrelig, licht groenig zand met verspreide keien: het Lommel Zand. Afgezet door een grote bocht in de Rijn bevat dit zand de typische mineralen van de Alpen, met aanzienlijk lager kwartzgehalte. Ten oosten van Maatheide wordt dit zand, vanaf de breuk van Reusel, snel meerdere meters dik. Daarbovenop liggen dan nog Kwartaire dekzanden. Hier begint de derde zone waarin het Mol Zand met zijn twee leden nog steeds aanwezig is in de ondergrond, maar de ontginning steeds meer bemoeilijkt wordt door de te dikke bedekking.

5.D.2 ONTGINNING EN PRODUCTIE

Het industriezand dat in de streek Mol-Dessel-Lommel voorkomt, wordt in meerdere ontginningen geëxploiteerd. Deze bevinden zich op Donk, Maat, Rauw, Blauwe Kei en Lommel Maatheide. Op deze terreinen werden honderden boringen uitgevoerd, aan de hand waarvan de zandkwaliteit bepaald werd, alsook de ontginningsdiepte.

In een eerste fase worden de onzuivere dekgronden van de zandlaag verwijderd zodat de eigenlijke zandlaag klaar is voor ontginning. De Mol Zanden bevinden zich hoofdzakelijk onder het freatisch oppervlak en worden daarom door middel van zuigers ontgonnen. De exploitatiediepte bedraagt 10 tot 50 meter. Het gebaggerde zand wordt via pijpleidingen naar de verwerkingsfabriek verpompt, alwaar het gezuiverd en behandeld wordt. In de streek Mol-Lommel zijn er twee fabrieken: S.C.R. Sibelco Schans en Maatheide.

Bij de behandeling van het zand kunnen vier bewerkingen onderscheiden worden:

- natte verwerking
- drogen van het zand
- malen van het zand tot kwartsmeel
- calcinatie van het zand tot cristobaliet.

Natte verwerking

Het zand dat via een pijpleiding vanaf de zuigers in de fabriek binnenkomt, ondergaat eerst een dubbele afzeving: een grove afzeving gevolgd door een afzeving op 1 mm. Deze afzeving heeft tot doel grove lignietpartikels en korrels groter dan 1 mm te verwijderen. Na de afzeving wordt het oppervlak van de zandkorrels gereinigd in de scrubbingcellen, zodat oppervlakte-onzuiverheden zoals organisch materiaal en klei verwijderd worden.

Enmaal de korrels gereinigd, ondergaat het zand een hydraulische klassering. Men laat de zandkorrels in een verticale kolom opstijgend water neervallen. Hierdoor wordt het zand in verschillende korrelgrootteklassen gescheiden. Op deze wijze worden drie basisproducten gemaakt: een grof zand, een middelklasse zand, hoofdzakelijk schommelend tussen 100 en 500 μm (hoofdproduct), en een fijn zand.

Na klassering worden deze zandfracties naar ontwateringssilo's verpompt. Hier laat men het zand ontwateren tot een vochtgehalte van ongeveer 5%. Tevens kan nog een verdere ontwatering tot ongeveer 3% op planfilters plaatsvinden. Deze producten worden "groevevochtig" zand genoemd en worden als dusdanig verkocht. Ze worden per trein, schip of vrachtwagen vervoerd.

Drogen van het zand

Een gedeelte van de geproduceerde groevevochtige zandkwaliteiten wordt in wervelbedinstallaties gedroogd.

Het gedroogde zand wordt dan in bulk, in zakken of in "big bags" verpakt.

Malen van het zand

Na droging wordt een deelstroom van het zand in kogelmolens vermalen. De wanden van deze molens zijn met silex bekleed en als maalmedia worden silexkeien gebruikt. Stalen kogels kunnen hier niet gebruikt worden daar ijzer voor glaszand een verontreiniging is. De abrasieproducten van de wandbekleding en de keien bestaan eveneens uit SiO_2 en vormen dus geen verontreiniging. In dit proces worden zowel grove als zeer fijne producten vervaardigd. Het aldus geproduceerde kwartsmeel wordt in zakken en in bulk verkocht.

Calcinering

SiO_2 komt voor als verschillende polymorfen: alpha-kwarts, beta-kwarts, tridymiet, cristobaliet en andere. Het zand, dat bestaat uit alpha-kwarts, wordt door verhitting tot temperaturen boven 1470°C omgezet naar de cristobalietstructuur.

Cristobaliet verschilt van het gewone zand door zijn zeer hoge witheid, door zijn uitzettingscoëfficiënt en door zijn reactiviteit die groter is dan bij kwarts. Het geproduceerde cristobaliet wordt als dusdanig verkocht of tot verschillende cristobalietmeelproducten vermalen.

5.E ZILVERZAND VAN OPGRIMBIE (MAASMECHELEN)

5.E.1 VOORGESCHIEDENIS

In de zuidelijke tip van het Kempens Plateau, tussen Genk en Maasmechelen, komen onder het Maasgrind de Bolderberg Zanden voor, behorend tot het Midden-Mioceen.

Deze mariene zanden werden afgezet in een Noordzeebaai die naar het zuidoosten tot in de sterk zakkende Roerdal Slenk reikte. Op de rand van de slenk in Limburg werd het zakkende gebied door 40 meter zand opgevuld. Aan de basis is dit glauconietrijk, het Houthalen Zand, naar boven toe wordt het zeer gelijkkorrelig, fijn, glauconietarm zand, afgezet nabij de kust in woelig water. Naarmate de opvulling vorderde, werden lagunes en haffen door nieuwe landtongen geïsoleerd en verplaatste het strand zich noordwaarts.

In stilstaand water spoelde drijfhout bijeen, afkomstig van de subtropische weelderige plantengroei, vergelijkbaar met de huidige Everglades van Florida. Tijdens die landfase werd door de enorme productie van humuszuren het onderliggende zand helemaal uitgeloogd (Afb 7.8). Het weinige glauconiet verdween gemakkelijk, maar ook de veldspaten losten volledig op en van de zware mineralen bleven slechts de meest resistente over. Het resultaat is een bijna zuiver kwartzand, met een zeer laag ijzergehalte.



AFB. 7.8 VEREDELINGSINSTALLATIE VAN ZILVERZAND TE MAASMECHELEN

Dit zilverzand is een der zuiverste kwartzanden ter wereld. Toch bevatten deze zanden plaatselijk een neerslag van ijzersulfiden, in de vorm van marcassiet. Dit ontstond door vrijmaking van zwavelwaterstof uit het hout van de dikke lignietlagen. Na verbinding met het opgeloste ijzer sloeg het marcassiet bij voorkeur neer onder de lignietgeulen.

Na de moerasfase rukte de zee weer vooruit en zette een nieuw zeezand af, vooraleer zich definitief terug te trekken. Van dit Opgrimbie Zand zijn slechts enkele meters bewaard. Dit zand werd nooit gebleekt, is geel en wordt niet als industriezand aangewend. Over al deze lagen heen werd tijdens het Kwartair nog een laag Maasgrind afgezet dat in het ontginningsgebied gemiddeld 12 meter dik is.

Indien het ontstaan zelf van het zilverzand reeds een combinatie van uitzonderlijke omstandigheden vergt, dan dient te worden benadrukt dat het intact bewaren tijdens een evolutie van ongeveer 12 miljoen jaar al even uitzonderlijk is. Zeker is dat het zand gedurende een deel van die tijd onder water gelegen was, en aldus gevrijwaard bleef van nadelige infiltraties.

Na de afzetting van het Maasgrind volgde echter een intense verwerking waardoor grote hoeveelheden ijzer- en mangaanverbindingen uit het grind werden vrijgemaakt die naar beneden doorsijpelden. In het onderliggende Opgrimbie Zand komen soms grillige verijzeringen voor. Dunne lignietlaagjes blokkeren vaak de ijzerhoudende insijpelingen. Hier en daar, bij storingen van deze vrij ondoordringbare laagjes, dringen verijzeringen in het zilverzand door en maken het waardeloos als industriezand.

Het opsporen van ontginbaar zand dient dus uit te gaan van de oorspronkelijke vormingswijze, de aanwe-

zigheid van dikke lignietmassa's met hun marcassiet insluitels en de eventuele wetmatigheden in de verijzeringen. Geen wonder dat geologen onmisbaar zijn gebleken bij de prospectie en de planning van de ontginning.

5.E.2 ONTGINNING EN PRODUCTIE VAN HET ZILVERZAND

In tegenstelling met de Mol Zanden, waar slechts een geringe deklaag aanwezig is, heeft men in Maasmechelen een totaal ander profiel van de aanwezige lagen (Afb. 7.9). Het industriezand in Maasmechelen bevindt zich daar onder een bedekkingslaag van 24 meter. Het grind wordt geëxploiteerd en gecommmercialiseerd. De overige gronden worden gebruikt om de landschapsreconstructie van het terrein uit te voeren.

HOOGTE	BESCHRIJVING
90 - 88 m	zand-grind laag, bodem van As
88 - 76 m	grindpakket, afzetting van het hoogterras van de Maas
76 - 66 m	zand met leemlenzen, tussenzandlaag genoemd
66 - 64 m	lignietlaag
64 - 58 m	industriezandlaag droog te ontginnen
58 - 50 m	industriezandlaag te baggeren

AFB. 7.9 BESCHRIJVING VAN DE LAGEN TE MAASMECHELEN.

Hoogte ten opzichte van het zeeniveau.

De Opgrimbie Zanden zijn van een hogere kwaliteit dan die van Mol. Het Fe_2O_3 gehalte is drie keer lager dan dat van de Mol Zanden, en bedraagt na bewerking tussen 0,007% en 0,015% naargelang de geproduceerde kwaliteit.

De droog te ontginnen zanden worden afgegraven en per vrachtwagen naar de verwerkingsfabriek gebracht. De zanden die onder water worden gewonnen, worden via een bagger en een pijplijn naar de fabriek verpompt.

De bewerkingen die het zand ondergaat, zijn achtereenvolgens: afzeving op 1 mm - scrubbing van het korreloppervlak - hydraulische klassering om het fijn zand te verwijderen - flotatie om de zware mineralen te verwijderen. De afgewerkte producten worden groeivochtig verkocht. Een gedeelte wordt gedroogd en in bulk of in zakken

gecommercialiseerd. De Opgrimbie Zanden worden, door hun zeer hoge zuiverheidsgraad, enkel voor hoogwaardige toepassingen aangewend.

De drie hoofdsectoren waarin dit zand gebruikt wordt, zijn de kristalglasproductie, de productie van natriumsilicaat of waterglas en van siliciumcarbide of carborundum.

5.F TOEPASSINGEN VAN HET INDUSTRIEZAND

Men kan stellen dat zonder kwartzsand ons comfort en onze leefwereld er heel anders zouden uitzien. Men denkt meestal alleen aan glas, maar kwartzsand is ook de basisgrondstof voor tal van minder voor de hand liggende industrieën.

5.F.1 GLASINDUSTRIE

De eerste en ook de grootste groep toepassingen van kwartzsand is als basisgrondstof voor glas in al zijn vormen: ongeveer 60 tot 65% van de glasmassa bestaat uit kwartzsand.

Hierbij moet men denken aan alle toepassingen van glas:

- **vlak glas:** deuren en ruiten in gebouwen, autoruiten, spiegels... tot diaraampjes;
- **hol glas:** bekers, flessen, huishoudwaren, lampen, tv-schermen...
- **kristalglas:** al dan niet geslepen, tot de fijnste handgeformde kunstwerken. Hierbij kunnen wereldbepaalde namen worden vermeld zoals Val St Lambert, Arques, Waterford, Baccarat...
- **lenzen:** voor optische toepassingen en brillenglazen
- **foamglas:** voor isolatiedoeleinden
- **glasvezels:** deze worden aangewend als versterking in allerlei kunststoffen en in optische kabels
- **waterglas:** waterglas is een oplosbaar glas dat op zijn beurt als basisgrondstof dient voor tal van andere industrieën, zoals zeolieten, detergenten, productie van geprecipiteerd silica.

Voor al deze toepassingen in de glasindustrie zijn het Mol Zand en Opgrimbie Zand onontbeerlijk. Door de grote productie van het zand en door de geringe transportafstanden kan de industrie in België en Vlaanderen op een hoogwaardig lokaal basisproduct een beroep doen.

5.F.2 KERAMISCHE INDUSTRIE

Zand, kwartsmeel en gemalen cristobaliet worden tevens gebruikt als grondstof in de keramische industrie:

- voor de productie van email;
- als bijmenging om klei te versralen (porcelein).

5.F.3 METALLURGISCHE TOEPASSINGEN

Refractair industrie. Kwartszand wordt in elektrische Rvlambogen tot "fused silica" gesmolten. Fused silica heeft een uitzettingscoëfficiënt die praktisch nul is, vandaar de toepassing in hittebestendige materialen.

Gieterijzanden. Om metaal te gieten werd kwartzsand sinds de oudheid gebruikt voor het vervaardigen van gietvormen. Cristobalietmeel wordt gebruikt voor het vervaardigen van precisiegietvormen waarin onder andere juwelen gegoten worden alsook voor dentale toepassingen.

Silicium-metaalproductie. Door reductie van SiO_2 met koolstof wordt het Si-metaal verkregen. Hiervoor wordt meestal kwarts in stukvorm gebruikt. Recentelijk werden productiemethoden ontwikkeld waarbij uitgegaan wordt van zand, dat met behulp van bindmiddelen tot briketten geperst wordt.

5.F.4 ABRASIEVEN

Door zijn hardheid wordt kwartzsand veelvuldig toegepast voor abrasieve doeleinden, gaande van schuurpoeders, zandpapier tot zandstralen.

5.F.5 SILICIUMCARBIDE

Siliciumcarbide wordt verkregen door een mengsel van kwartzsand en petroleumcoke tot 2400°C te verhitten. Siliciumcarbide is een zeer hard materiaal, met hoog smeltpunt. Het wordt vooral toegepast als abrasief in alle mogelijke vormen, slijpschijven, slijpstenen.

5.F.6 WATERGLAS

Waterglas wordt verkregen door de reactie van NaOH of Na_2CO_3 met kwartzsand. Waterglas is in de echte zin van het woord een glas, maar vertoont de eigenschap oplosbaar te zijn. Deze natriumsilicaten worden als dusdanig aangewend of dienen op hun beurt als basisgrondstof voor tal van andere industrieën. Als toepassingen van natriumsilicaten kunnen o.a. vermeld worden: wasmiddelen, bindmiddel voor de gietvormen in gieterijen, kartonnage, bodemstabilisatie,...

Als basisgrondstof wordt het op zijn beurt aangewend voor de productie van zeolieten (basis voor de fosfaatvrije wasmiddelen) en geprecipiteerde silica.

Uit deze opsomming van toepassingsdomeinen van het industriezand blijkt het belang en de intense verwevenheid van kwartzsand met onze dagelijkse gebruiksomgeving.

5.G SOCIAAL-ECONOMISCHE BETEKENIS VAN DE SECTOR

De kwartzsandontginningen hebben vanaf de 19e eeuw bijgedragen tot het aantrekken, de groei en bloei van honderden industriële ondernemingen. Rechtstreeks zijn meer dan 500 werknemers betrokken bij de productie van het industriezand. Bij de toelevering dienen

de belangrijke investeringen van de veredelingsinstallaties te worden vermeld. Verder de grote transportbedrijvigheid langs de weg en per spoor, per binnenschip en de specifieke uitrusting voor maritieme export in de haven van Antwerpen.

De aanwezigheid van kwartzand heeft een groot aantal bedrijven aangetrokken. Eerst de glasverwerkende industrieën, dé traditionele afzetmarkten voor kwartzand. Maar zoals al werd gesteld wordt het kwartzand ook gebruikt in tal van nieuwe technologieën, zoals de productie van glasvezel en van "waterglas", en het is de onmisbare basis van fosfaatvrije waspoeders.

De kwartzandindustrie is eveneens een belangrijke exporttak. Bovendien heeft de sedert meer dan 120 jaar opgebouwde ervaring en know-how aanleiding gegeven tot de oprichting van vestigingen over de hele wereld. De Vlaamse groep S.C.R.-SIBELCO heeft bijvoorbeeld een tachtigtal vestigingen verspreid over de Verenigde Staten, Canada, Brazilië, Dubai, Zwitserland, Frankrijk, Italië, Spanje, Portugal, Denemarken, Noorwegen, Zweden, Duitsland, Nederland, Luxemburg...

Aan de nabestemming werd blijkbaar van ouds grote aandacht geschonken. De ontginningen van Mol leveren, gezien de hoge waterstand, landschappelijk interessante vijvers op waarvan het provinciaal domein Zilvermeer wel het bekendste is. In Maasmechelen werd op eigen initiatief de landschapsrestauratie aangevat. Nieuwe natuurgebieden kunnen aldaar tot ontwikkeling komen (Afb. 7.10).

6 SECUNDAIRE (MINERALE) GRONDSTOFFEN

W. Viaene

Onder druk van een grotere zorg voor het milieu en van de hoge kosten voor het storten leveren de industrie en de wetenschappelijke instellingen grote inspanningen om zogenaamde afvalstoffen te gebruiken als grondstof in allerlei toepassingen en/of om materialen te recyclen.

Zo wordt bij het ontzwellen van rookgassen gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) geproduceerd. Bij dit ontzwellingsproces reageert SO_2 -gas met CaCO_3 of Ca(OH)_2 tot gips. Dit artificiële mineraal is een uitstekende grondstof voor bepleisteringen en gipsplaten. De Vlaamse industrie van gipsproducten steunt voor 80% op deze secundaire grondstof.

Vliegas, het anorganische restproduct van de verbranding van fossiele brandstoffen in elektrische centrales wordt als vulstof aangewend in cement en beton.

Wervelbedassen van elektrische centrales van lage temperatuur worden gebruikt als vulstof en smeltpuntverlagend additief in keramische producten.

Afval van het flotatieproces, waarbij steenkool gezuiverd wordt, alsook materiaal van terrils wordt aangewend als supplementaire brandstof en als magering in de baksteenindustrie. Deze afvalproducten bevatten nog 10-20% steenkool.

Wel bekend zijn hoogovenslakken die als grondstof voor de cementproductie worden aangewend.



Afb. 7.10 RECONSTRUCTIE VAN HET VALLEILANDSCHAP TE OPGRIMBIE

De ijzerindustrie in het Zoniënbos

R. Langohr en M. Pieters

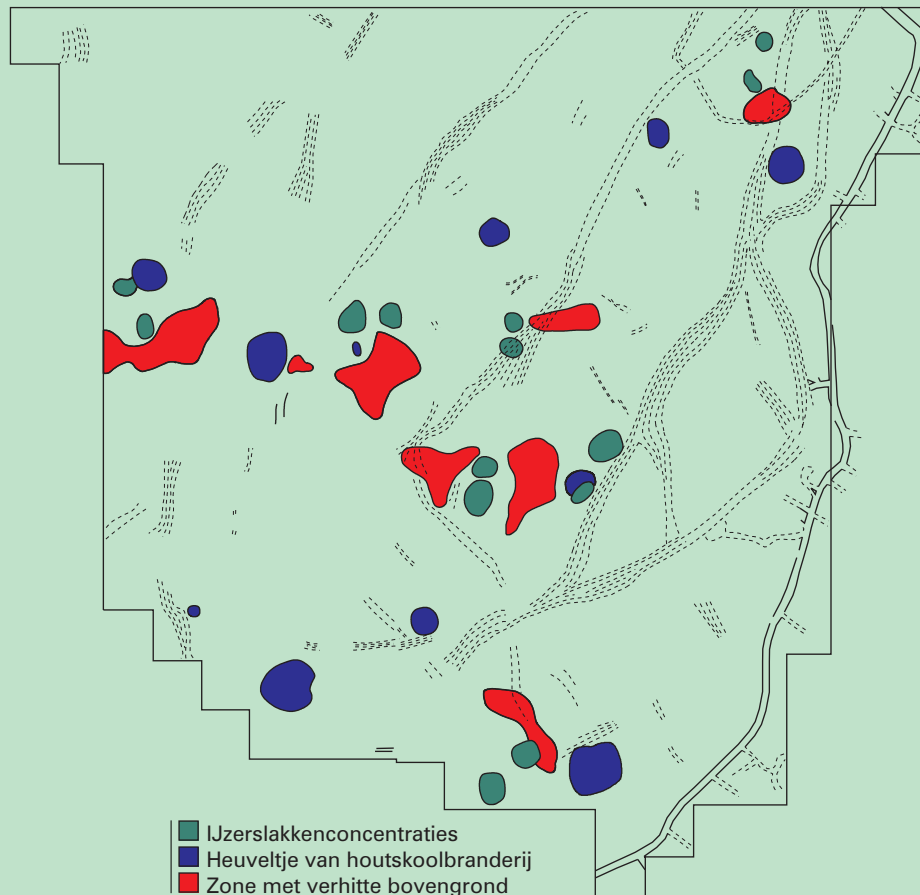
In 1911 verscheen een eerste document dat sporen van oude metaalnijverheid in het Zoniënbos vermeldt. Vooral in het deel van het bos behorend bij de gemeente Groenendaal werden talrijke kleine hopen ijzerslakken waargenomen. Aan de basis hebben deze circulaire heuveltjes een diameter van 3 tot 6 meter en ze zijn 30 tot 80 cm hoog. De grootste, en dus de meest zichtbare, van deze structuren (een honderdtal) werden in die periode op kaart gebracht, zowel in een wetenschappelijk document (schaal ongeveer 1/65.000) als op toeristische kaarten (schaal 1/20.000).

In de periode 1979-1982 werd 40% van het Zoniënbos door een prospectieploeg verbonden aan de Universiteit Gent op zeer gedetailleerde schaal (1/2500) opgenomen op zoek naar sporen van de mens die zichtbaar zijn aan het bodemoppervlak. Deze kartering heeft aangetoond dat er minstens een duizendtal van deze ijzerslakkenconcentraties in het bos voorkomen. Deze kaarten geven ook precies aan waar zich de plaatsen bevonden van ertsontginning. Dit zijn zones in de omgeving van Groenendaal, waar het Lediaans Tertiair substraat redelijk dicht bij het bodemoppervlak ijzerzandsteenbanken bevat. Men kan hierbij moeilijk spreken van groeven. Het zijn eerder 'ontginningsvelden' die een zeer onregelmatig reliëf vertonen door de aanwezigheid van talrijke trechtersvormige depressies. Ook de Bodemkaart van België toont de verspreiding van deze 'verstoorde bodems', maar dan vooral de grotere ontginningszones.

Wanneer op de kaarten de ontginningszones en de ijzerslakkenconcentraties worden vergeleken, blijkt dat deze laatste een duidelijk gro-

tere spreiding hebben. Hieruit kan men besluiten dat in een bepaalde periode onvoldoende houtskool kon worden geproduceerd in de zones van ertsontginning. Dit kan te wijten zijn aan een veeleer korte, maar industriële activiteit. Hieruit blijkt dus ook dat men verkozen heeft eerder het erts dan de houtskool te verplaatsen.

In 1988-1989 werd een zeer gedetailleerde (schaal 1/200) bodemkaart opgemaakt van een 2 ha grote zone in een gebied met ijzerslakkenconcentraties. Een netwerk van 10 m bij 10 m werd uitgeboord op basis van een legende die vooral aandacht besteedde aan sporen van de mens. Dit onderzoek heeft aangetoond dat de sporen die verband houden met de ijzerindustrie een bijzonder patroon vertonen. Zeven groepen van telkens twee ijzerslakkenheuveltjes, één heuveltje van



De sporen die verband houden met de ijzerindustrie vertonen een bijzonder patroon. Twee ijzerslakkenconcentraties, één heuveltje van houtskoolbranderij en een zone met verhitte bovengrond vormen een 7 maal wekerende eenheid binnen de onderzochte zone met een oppervlakte van 2 hectaren.



Bodem met verhitte bovengrond ten gevolge van het roosteren van het erts

houtschoolbrandrij en een ongeveer 100 vierkante meter grote zone met verhitte bovengrond, liggen verspreid over het gekarteerde gebied. Dankzij de volledige afwezigheid van erosie onder het bosbestand in deze regio - in zoverre de mens niet ingrijpt - zijn al deze sporen perfect bewaard gebleven, inclusief de vermoedelijke karrensporen die vertrekken van de nabijgelegen ertsontginningszone en die leiden naar de individuele groepen. Op een kleine plaats (een 10-tal vierkante meter) werd zelfs een zandige bovengrond gevonden die waarschijnlijk overeenkomt met de plaats waar men het erts eerst reinigde alvorens het te roosteren in de zones met verhitte bovengrond.



Talrijke door zandsteenwinning nagelaten trechtersvormige depressies vormen in het ontginningsgebied een zeer onregelmatig reliëf.

Bodemprospectie heeft ook aangetoond dat er bij elke activiteitszone een put hoort die opgevuld is met ijzerslakken en ander afval. Deze uitgraving, meestal ongeveer één meter diep en met een volume van 1 kubieke meter, leverde waarschijnlijk de nodige leemgrond voor het bouwen van de laagoven met schoorsteen.

Recent archeologisch onderzoek (1989-1992) op twee hierboven vermelde activiteitszones heeft aangetoond dat de laagoven blijkbaar boven de grond was gebouwd. Hierdoor vindt men geen sporen terug van de basis van de oven.

De opgravingen van 1910 hadden geen archaeologica opgeleverd en het bleef onzeker tot welke periode deze industriële activiteit behoort. Ook de recente opgravingen hebben geen artefacten geleverd. Een vijftal C14-dateringen uitgevoerd op houtskool afkomstig van de slakkenheuvels en uit de opgevlude put, blijken te wijzen op de Karolingische periode. Nochtans hebben opgravingen uitgevoerd in 1928 en 1930 blijkbaar wel artefacten geleverd die zouden wijzen op een activiteit in de Romeinse periode. De vraag blijft dus of deze activiteit gespreid is over verschillende eeuwen. Deze werken hebben in elk geval niet plaatsgehad na 1350, aangezien de oudste beheersboeken van het Hertogenlijk Bos, waarvan de eerste versie dateert uit deze periode, geen melding maken van ijzerontginningen.

Men zocht voor deze ijzerindustrie naar zandstenen met een hoog ijzergehalte. Analyses uitgevoerd op erts in de nabijheid van de recente archeologische opgravingen hebben een gemiddelde waarde van 56% metallisch ijzer opgeleverd.

VERDERE LECTUUR:

De in 1947 gepubliceerde jubileum uitgave van de Association des Ingénieurs sortis de l'Ecole de Liège bevat heel wat bijdragen handelend over ertsen in België.

Bidaut, E., 1848 - Etudes des minéraux de fer de la Campine, Ann. Trav. Publ. Belg., V, 1847, 481-538 en VII, 1848, 321-343

Bonenfant, P. en Défosse, P., 1994 - Les recherches paléosidéurgiques en Belgique: l'exemple de la forêt de Soignes au Sud-Est de Bruxelles, in: MANGIN M.(ed.), La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen, Colloque de Besançon, 1993, 269-273.

De Laet, S.J. en Van Doorselaer, A., 1969 - Lokale ijzerwinning in westelijk België in de Romeinse tijd, Meded. Kon. Ac. B. Lett., 31, nr. 4.

De Vos, W., Verniers, J., Herbosch, A. en Vanguetaine, M., 1993 - A new geological map of the Brabant Massif, Belgium, Geol. Mag., 130 (5), pp 605-611.

Gullentops, F., 1972 - Grain size and mineralogy of Miocene Glassands of Maasmechelen, Belgian Limburg, Meded. Rijksgeol. Dienst, NS 23, 25-34.

Toen, H., 1983 - Overblijfselen van antieke siderurgie in het Zoniënbos, in: Sporen van de mens in Zoniën, vol. 2, Dry Borren Raad, 17-20.

Vandenbergh, N., 1992 - Van silex tot chip. Alles uit de Aarde, Davidsfonds, Leuven, 110 p.

Vos, P., 1989 - Het ontstaan van de witzandwinning in Sluis, historiek en panorama van een Mols gehucht, Sluis.

GRONDWATER



Vloeibare en gasvormige grondstoffen, zoals aardolie en gas, geraken bij oppompen onherroepelijk uitgeput: ze zijn niet hernieuwbaar. De grondwatervoorraad wordt daarentegen natuurlijk hervoed, daarvoor zorgt de hydrologische kringloop. Bij goed grondwaterbeheer wordt het gewonnen grondwater opnieuw aangevuld, zeker in ons gematigd klimaat.

Alhoewel men het de gewoonste zaak vindt dat er water in de ondergrond voorkomt, toch is het een kostbare natuurlijke rijkdom: water van drinkbare kwaliteit, met uitstekende eigenschappen, bijna overal zomaar aan de grond kunnen onttrekken en het, na relatief geringe behandeling of zuivering aan de gebruikers ter beschikking kunnen stellen, is een onvoorstelbare rijkdom voor wie er niet over beschikt. Wie er rijkelijk kan van genieten, beseft echter onvoldoende de waarde en gaat er soms weinig verantwoord mee om.

ed. P. Laga

1 Grondwater

De aanwezigheid van water in de ondergrond is overduidelijk: in heuvelige streken vormen bronnen het begin van beekjes en in vlakke gebieden voeren de beken nog water af, zelfs gedurende een lange droogte. In nog andere streken vloeit of spuit het water uit de boorputten.

Als men in een vlak gebied, bv. het Meetjesland, een put graaft dan wordt op geringe diepte de grond plots erg vochtig. Iets dieper sijpelt het water uit de grond en loopt de bodem van de put onder: men heeft het grondwater bereikt en het oppervlak van de plas komt overeen met de grondwaterspiegel. Onder dit niveau zijn alle poriën of holten tussen de grondkorrels met water gevuld, vandaar de naam verzadigde zone van de watervoerende laag. De stand van de grondwaterspiegel varieert met de seizoenen: hoger in de winter door de grotere neerslag en de geringe verdamping en lager in de zomer voornamelijk door de sterke verdamping. Het verschil tussen winter- en zomergrondwaterstand bedraagt meestal enkele decimeter, doch de schommeling kan naargelang de specifieke hydrogeologische situatie variëren van enkele cm tot meer dan een meter.

Boven de grondwaterspiegel is de grond niet verzadigd met water en bevindt er zich naast water ook lucht in de poriën. Het water in de onverzadigde zone mag strikt genomen geen grondwater genoemd worden. Men maakt het onderscheid tussen capillair water en hangwater. Vanaf de grondwaterspiegel stijgt water op door een opzuigende werking, capillariteit genaamd. De hoogte van de capillaire opstijging is afhankelijk van de fijnheid van de poriën tussen de korrels of van de spleetjes in vaste niet poreuze gesteenten. Voor zand bedraagt de zuigkracht enkele decimeter, voor fijne leem meer dan een meter. Hangwater is geïnfiltreerd neerslagwater dat is blijven hangen in de fijnste poriën of kleven aan colloïdale deeltjes of dat de grondwaterspiegel nog niet heeft bereikt. Zuivere zandgrond houdt weinig hangwater vast, doch door humus en leemgehalte verhoogt de hoeveelheid hangwater aanzienlijk. De plantengroei is bijna volledig afhankelijk van het hangwater, tenzij de capillaire zone reikt tot in de wortelzone. Met bodemwater of bodemvocht wordt het water in de bodem (in de bodemkundige zin van het woord) bedoeld: het kan om hang- en capillair water gaan, uitzonderlijk zelfs om water in de verzadigd zone.

2 De hydrologische waterbalans in Vlaanderen

De veelvuldig gepubliceerde hydrologische kringloop toont schematisch hoe deze cyclus begint met de verdamping, hoofdzakelijk boven de oceanen. Dit verdampt water valt als neerslag op de continenten neer. Een groot deel van de neerslag verdampt opnieuw, zowel

rechtstreeks (evaporatie) als via de planten (transpiratie). Een ander deel stroomt af naar zee, zowel via het oppervlak (= oppervlaktewater) als via de ondergrond (= grondwater).

Deze kringloop wordt vaak voorgesteld in de vorm van een balans. Over land geldt $P = E + R + S$ wanneer er gemiddelde cijfers genomen worden over vele jaren, zodat bergingstermen er niet in voorkomen. Daarin is op land $P =$ neerslag, $E =$ evapotranspiratie, $R =$ run-off of afstroming aan het landoppervlak en $S =$ ondergrondse afstroming.

Met een gemiddelde neerslag te Ukkel van 780 mm/jaar (periode 1833-1979), die beschouwd wordt als representatief voor de gemiddelde neerslag voor België, bedraagt de totale hoeveelheid neerslag (P) in België bijna 24 miljard m^3 en in Vlaanderen 10,5 miljard m^3 per jaar.

Het deel dat oppervlakkig afstroomt (R) zou kunnen berekend worden door het verschil te maken tussen het oppervlaktewater dat Vlaanderen verlaat en het oppervlaktewater dat Vlaanderen binnenstroomt, waarbij het debiet van de bronnen bij het totaal van de run-off is geteld. Vermits de grenzen van Vlaanderen drie verschillende stroombekkens doorsnijden en talloze waterlopen kruisen, ontbreken de meetgegevens om de term R te kunnen bepalen. Dit gedeelte (R) vergroot naarmate de verharde oppervlakten (daken, wegen, parkings, enz..) door de verstedelijking toenemen en naarmate er meer grondwater wordt opgepompt. Het neerslagwater op de verharde oppervlakten wordt immers onmiddellijk langs het rioolstelsel afgevoerd naar het oppervlaktewater en het opgepompte grondwater komt na gebruik grotendeels in het oppervlaktewater terecht. Deze hoeveelheid compenseert het verminderde debiet van de bronnen. Door de pompingen daalt de grondwaterspiegel en vermindert het debiet van de bronnen die in sommige gevallen zelfs opdrogen. Bronnen kunnen in zekere zin als de overloop van de freatische watervoerende lagen worden beschouwd.

Voor de totale evapotranspiratie (E) in Ukkel wordt een benaderende waarde tot 70% van de neerslag aangenomen, m.a.w. 546 mm/jaar. Voor Vlaanderen zou dit gemiddeld 7,4 miljard m^3 /jaar betekenen.

Het deel (S) stroomt ondergronds af en is evenmin nauwkeurig te bepalen. Deze hoeveelheid is het gedeelte van de neerslag dat niet afstroomt en niet verdampt, m.a.w. dat in de grond infiltreert. Van dit infiltratiewater wordt een deel (T) door de planten getranspireerd en zit in de term E vervat en een deel (G) sijpelt door naar de grondwaterspiegel en vult het grondwater aan. Deze hoeveelheid G compenseert de grondwaterverliezen. Deze verliezen bestaan uit de brondebieten die het oppervlaktewater aanvullen, de ondergrondse afstroming (die uiteindelijk in zee terecht komt) en de opgepompte hoeveelheden grondwater.

De exacte hoeveelheden opgepompt grondwater zijn evenmin bekend. Bijna 200 miljoen m^3 grondwater per jaar dient voor de openbare drinkwatervoorziening in het Vlaams Gewest. De onttrekkingen van de industrie, land- en tuin-

bouw en particulieren kunnen enkel geschat worden: 400 tot 600 miljoen m³/jaar. De totale jaarlijkse productie aan grondwater uit de Vlaamse ondergrond schommelt tussen 600 en 800 miljoen/jaar. De vraag is of die hoeveelheid te veel is?

Achthonderd miljoen komt overeen met een nuttige neerslag van bijna 60 cm, terwijl als nuttige neerslag cijfers gehanteerd worden van 150 tot 230 mm/jaar. Globaal gezien zou er dus geen probleem kunnen zijn. Wanneer evenwel rekening wordt gehouden met de verharde oppervlakte en met de vrij uitgestrekte gebieden in Vlaanderen met een slecht doorlatende kleiondergrond zonder freatische watervoerende laag, dan komt het onttrokken gedeelte van de nuttige neerslag veel hoger te liggen. Alleen het opstellen van waterbalansen voor hydrografische bekken en subbekken kan de onzekerheid gebonden aan deze algemene ramingen wegnemen. Wanneer men evenwel een balans wil gaan becijferen, dient er niet alleen een gebied begrensd te worden dat toelaat de waarde van de termen van de balans te meten en te berekenen, doch ook een balansperiode vastgelegd te worden.

Daarbij dient rekening te worden gehouden met de veranderingen in berging opgetreden tijdens de balansperiode: de berging wordt weergegeven door de grondwaterstanden, het peil in rivieren en vijvers en het bodemvocht in de onverzadigde zone. Het opstellen van een balans wordt dan al heel wat ingewikkelder en voor het bepalen van al die termen zijn vele en lange waarnemingsreeksen nodig. Wanneer het aantal waarnemingen in ruimte en in tijd voldoende groot is, kunnen modelstudies zinvol worden uitgevoerd.

3 Hydrogeologische kenmerken

De stroming van grondwater is afhankelijk van de kenmerken van het geologisch milieu waarin het water zich bevindt en beweegt. In de hydrogeologie hanteert men twee belangrijke kenmerken: porositeit en permeabiliteit.

Porositeit is het gehalte aan holle ruimte t.o.v. het totale volume van het gesteente. Porositeit varieert sterk van bijna 50% voor zuiver grof zand tot minder dan 1%, en zelfs 0,1% voor vaste gesteenten.

Indien alle korrels van dezelfde grootte zijn is de verhouding der volumes van korrels en poriën constant, want onafhankelijk van de korreldiameter. Gelijke volumes met voetballen, biljartballen of knikers zullen inderdaad bij een zelfde stapeling hetzelfde poriëngehalte hebben. Zuiver grind, zand of silt hebben een zelfde porositeit van 30-40%. De realiteit is echter anders: knikers kunnen de ruimten opvullen tussen de voetballen. Bij gemengde korrelgroottes neemt het poriëngehalte snel af. Het poriëngehalte neemt ook af wanneer de korrels worden samengeperst door de druk van de bovenliggende lagen of wanneer

de poriën opgevuld geraken door cementatie. Anderzijds kan in de ondergrond een secundaire porositeit ontstaan door verbrokkeling of oplossing.

Doorlatendheid (ook permeabiliteit genoemd) is het vermogen van de grond om vloeistof (of gas) door te laten. De doorlatendheidscoëfficiënt K is de maat voor dit vermogen. Die coëfficiënt is gelijk aan het volume water dat per tijdseenheid door een eenheid van oppervlakte stroomt, t.t.z. m³ per m² en per dag of anders uitgedrukt m/dag (of cm/sec). Dit laatste komt overeen met een snelheid. Het is duidelijk dat deze grootte afhangt van de grootte en de vorm van de poriën. Grote poriën van grind laten hoge snelheden toe, bij fijne poriën in klei wordt de snelheid zo klein dat het gesteente bijna ondoorlatend is.

4 Watervoerende lagen

4.A Kwaliteit van de watervoerende lagen

De kwaliteit van een watervoerende laag wordt dus bepaald door:

- de porositeit die samen met de afmetingen van de laag de hoeveelheid grondwater bepaalt;
- de goede doorlatendheid die snelle verplaatsing van het water naar de pompput garandeert en tevens snelle herbevoorrading;
- een goede voedingszone, bijvoorbeeld waar de laag dagzoomt (= aan de oppervlakte voorkomt).

4.B Kwaliteit van het grondwater

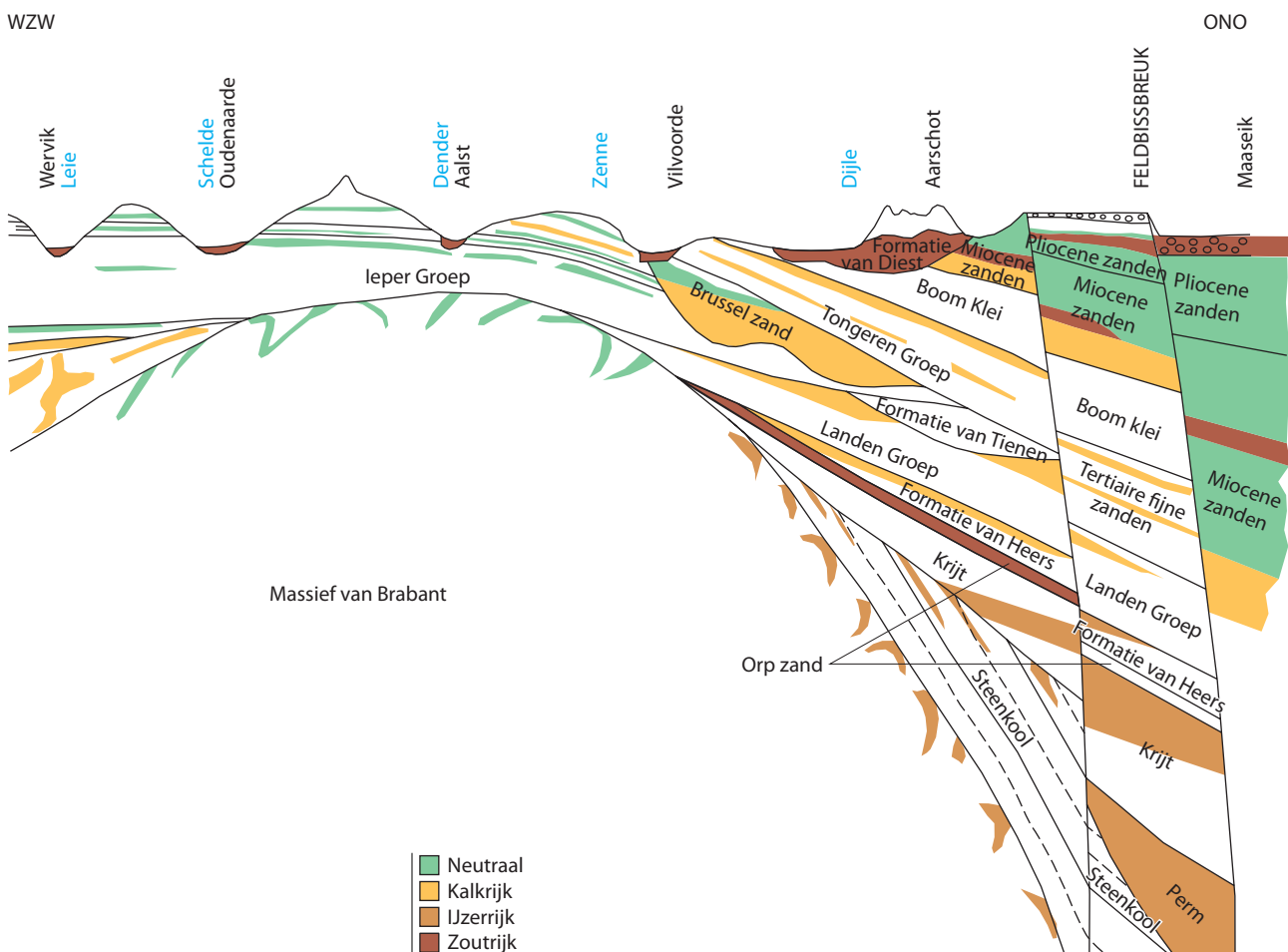
Water is een uitstekend oplosmiddel en zijn kwaliteit zal bepaald worden door de samenstelling van de gesteenten waardoor het beweegt. Omdat deze bewegingen heel traag zijn bedraagt de verblijftijd van het water in het gesteente soms duizenden jaren, waardoor zelfs uiterst trage reacties nog kunnen optreden.

- Door het filtrerend effect van de stroming door fijne poriën wordt het grondwater ontdaan van alle vaste bestanddelen.
- Het "gedistilleerd" regenwater heeft in de lucht en de bodem zuurstof en koolzuurgas opgenomen. Tijdens zijn trage verplaatsing doorheen de watervoerende laag zal het water reageren met het gesteente en een aantal bestanddelen oplossen. Bij uitdampen bekomt men steeds een mineraal residu. De samenstelling daarvan staat op flessen vermeld. Zelfs "onoplosbaar" kwarts van het zand levert minstens 5 mg/l siliciumdioxide.
- Regenwater is zuur door het opgeloste koolzuurgas. Daardoor worden de kalkige bestanddelen, meestal fossielen die overvloedig kunnen aanwezig zijn, opgelost. Het calciumcarbonaat lost op als calciumbicar-

bonaat. Dit kalkgehalte maakt het water hard, wat wordt uitgedrukt in hardheidsgraden, bv. 10°F (franse hardheidsgraad) = 56 mg/l calciumoxide. 7°F is nog zacht terwijl 50°F hard water betekent. Door het mengen van het harde water met ander (zachter) grondwater kan de hardheid verminderd worden.

- Grondwater dat niet door fossielhoudende lagen is gesijpeld blijft zuur en tast dan gemakkelijk ijzerhoudende mineralen aan, bv. glauconiet. Dergelijk grondwater is agressief en bevat opgelost ijzer dat aan de lucht oxideert en een bruine neerslag veroorzaakt. Dit ijzer kan worden neergeslagen en afgefilterd.
- Diepere grondwaters rijken snel aan met allerlei zouten: sulfaten en chloriden. Die zijn minstens gedeeltelijk van primaire oorsprong: van het zeewater waarin de lagen oorspronkelijk werden afgezet. Vanaf een gehalte van 1500 mg/l verdampingsrest (bij 105°C) is het als drinkwater onbruikbaar. Het spreekt vanzelf dat voor aanwending in industriële chemische processen deze onzuiverheden van nog veel groter belang zijn.

Een schematische voorstelling van de watervoerende lagen in Vlaanderen is weergegeven in een west-oost doorsnede (Afb. 8.1) van Wervik naar Maaseik. De kleuren geven een indicatie van de kwaliteit van het aanwezige grondwater. De indeling in neutraal, ijzer-, kalkrijk en verzilt (zoutig) water is zeer rudimentair: het als "neutraal" ingekleurde water betekent niet automatisch dat dit grondwater als drinkwater bruikbaar is en dat het kalkrijke water ondrinkbaar is. Evenmin is de capaciteit van de voorgestelde watervoerende lagen afgebeeld.

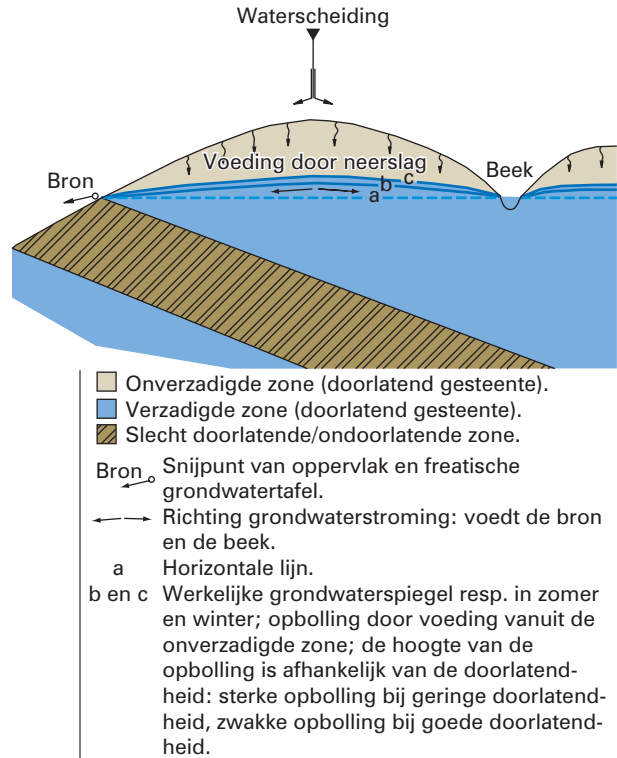


AFB. 8.1 VOORKOMEN VAN WATERVOERENDE LAGEN
Schematisch oost-west profiel tussen Wervik en Maaseik met aanduiding van de watervoerende lagen en de kwaliteit van het water.

4.C Het voorkomen van watervoerende lagen in Vlaanderen

Om die watervoerende lagen te kennen, is kennis nodig van de volledige opbouw van de ondergrond. De ondergrond bestaat slechts heel zelden over een grote dikte uit één soort gesteente. Het grootste deel van de ondergrond in Vlaanderen is opgebouwd uit niet-geplooid sedimentaire gesteenten met een wisselende samenstelling. Hydrogeologisch bekeken bestaat de ondergrond uit een afwisseling van doorlatende en ondoorlatende (half tot zeer slecht doorlatend) lagen. De doorlatende lagen zijn meestal zanden en zachte kalkstenen, de weinig doorlatende lagen zijn kleien en zandhoudende kleien. Deze subhorizontale gesteentelagen rusten op een vast gesteente: zandstenen, kwartsieten, schiefers en fylladen en lokaal stollingsgesteenten en voor een klein gebied ook kalksteen.

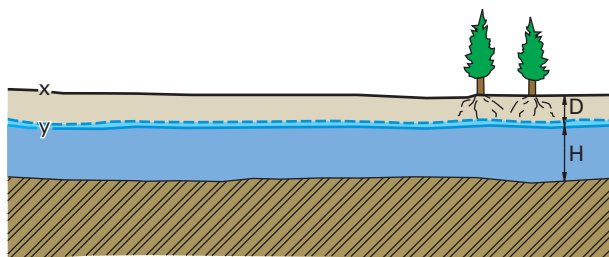
Dit oude gesteente wordt de sokkel of het Massief van Brabant genoemd. Deze gesteenten zijn gespleten doch het aantal spleten is ongelijk verdeeld: bepaalde tektonisch verstoorde gedeelten zijn sterker gespleten. Deze sokkel is weliswaar watervoerend, doch de hydraulische eigenschappen zijn zeer sterk wisselend en vrijwel niet te voorspellen. Afbeelding 8.1 geeft deze opbouw schematisch weer.



AFB 8.3 FREATISCHE WATERVOERENDE LAAG IN HELLENDE GESTEENTELAGEN

5 Soorten watervoerende lagen

De eenvoudigste watervoerende laag is die welke onderaan begrensd is door een ondoorlatende laag en bovenaan tot aan het oppervlak reikt (Afb. 8.2 en 8.3). De nuttige neerslag percoleert tot aan de grondwaterspiegel en vult de verzadigde zone aan. Wanneer de nuttige neerslag groter is dan de hoeveelheid grondwater die de verzadigde zone verlaat (natuurlijk via bronnen of kunstmatig door onttrekkingen) gaat de grondwaterspiegel stijgen. Deze stijging vindt plaats onder normale atmosfe-



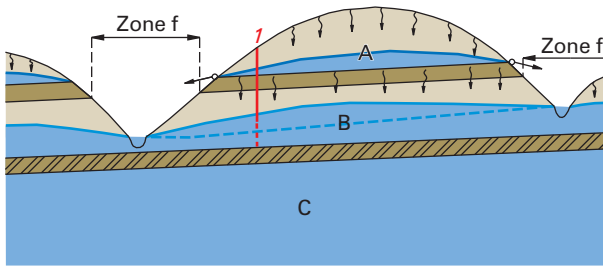
- Onverzadigde zone.
- Capillaire zone.
- Verzadigde zone.
- Slecht doorlatende/ondoorlatende zone.
- Maaiveld.
- Freatische grondwaterspiegel.
- H Dikte van de watervoerende laag.
- D Diepte van de grondwaterspiegel onder maaiveld.
- x Peil maaiveld (+/-) t.o.v. zeepeil.
- y Peil grondwaterspiegel t.o.v. zeepeil ($y = x - D$).

AFB. 8.2 FREATISCHE WATERVOERENDE LAAG IN HORIZONTAAL GELAAGDE GESTEENTEN

rische druk. Een dergelijke watervoerende laag wordt een **freatische** watervoerende laag genoemd ('unconfined' in het Engels): het grondwater staat via de open poriën verticaal in direct contact met de atmosfeer. Soms wordt de term vrije grondwaterspiegel gebruikt, hetgeen wijst op het vrij schommelen van de grondwatertafel onder atmosferische druk. De grondwaterstand geeft een fysische hoeveelheid grondwater aan afhankelijk van de porositeit van het watervoerend gesteente.

Wanneer een watervoerend pakket geïsoleerd voorkomt ten gevolge van structurele of stratigrafische kenmerken spreekt men van een **hangende** watervoerende laag (Afb. 8.4 en 8.5). Onder een hangende watervoerende laag is er nog een onverzadigde zone aanwezig, men spreekt daarom van een schijnspiegel. Een hangende watervoerende laag kan in die mate beperkt zijn dat de verzadigde zone in perioden van geringe neerslag (of van te sterke pompomping) slechts tijdelijk voorkomt.

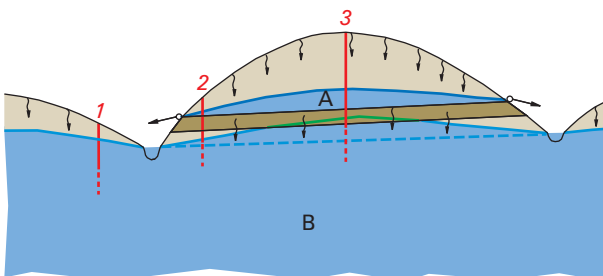
Een **afgesloten** watervoerende laag ('confined' in het Engels; Afb. 8.4 en 8.5 en situatie 1 van Afb. 8.6) is van de atmosfeer gescheiden door ondoorlatend (of slecht doorlatend) materiaal. Het waterpeil kan niet stijgen tot zijn werkelijke stijghoogte omdat ondoorlatend materiaal het dak van het watervoerend gesteente afsluit. Bij perforatie van de ondoorlatende laag (bv. bij het boren naar de afgesloten watervoerende laag) stijgt het waterpeil hoger dan het dak van de watervoerende laag, m.a.w. het water staat onder druk.



- Onverzadigde zone van A en B
- Watervoerende lagen A, B en C
- Slecht of half doorlatende laag
- Slecht doorlatende of ondoorlatende zone
- ↪ Bronnen
- Schijnspiegel: kan 's zomers volledig droogvallen, opbolling door voeding.
- Freatische watertafel: het water staat via open poriën in het doorlatende gesteente verticaal in direct contact met de atmosfeer.
- - - Theoretische verhanglijn tussen twee beken. De freatische grondwaterspiegel is hoger door opbolling.

Situatie 1: Onder een eerste (hangende) watervoerende laag A en een slecht tot half doorlatende laag treft men een tweede watervoerende laag B aan met een onverzadigde zone en een freatische grondwaterspiegel. Waar de half doorlatende laag afwezig is, verkeert de watervoerende laag B in een freatisch regime (zones f). Deze watervoerende laag voedt de beken. Watervoerende laag C is volledig afgesloten, het voedingsgebied is op de schets niet weergegeven.

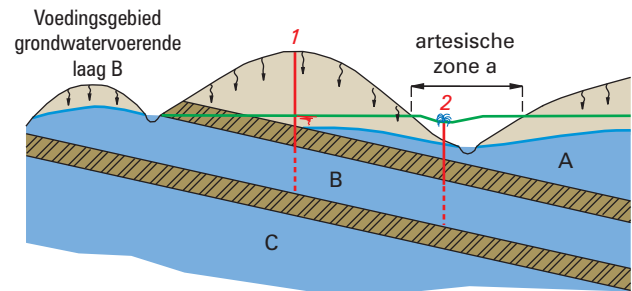
AFB. 8.4 HANGENDE, FREATISCHE EN AFGESLOTEN WATERVOERENDE LAGEN



- Onverzadigde zones van A en B.
- Watervoerende lagen A en B; A is een hangende watervoerende laag.
- Half doorlatende laag.
- ↪ Bronnen.
- ↪ Voeding doorheen halfdoorlatende laag.
- Schijnspiegel.
- Freatische waterspiegel. De freatische grondwaterspiegel is hoger door opbolling.
- Stijghoogte.
- - - Theoretische verhanglijn tussen twee beken.

Situatie 1: watervoerende laag B is freatisch.
Situatie 2: onder de watervoerende laag A treft men een onverzadigde zone en een freatische grondwaterspiegel aan in laag B, spijs dat er een afsluitende laag aanwezig is. Daarom wordt laag A hangend genoemd en de waterspiegel een schijnspiegel.
Situatie 3: onder de watervoerende laag A treft men een afgesloten watervoerende laag aan. Het water stijgt hoger dan de bovenkant van het watervoerend gesteente B.

AFB. 8.5 EEN ZELFDE WATERVOERENDE LAAG IS NAARGELANG DE GEOLOGISCHE SITUATIE FREATISCH OF AFGESLOTEN



- Onverzadigde zone van lagen A en B
- Watervoerende lagen A, B en C
- Ondoorlatende laag
- Freatische watertafel
- Stijghoogte van de afgesloten watervoerende laag B (principe van de communicerende vaten)

Situatie 1: er is geen (permanente) freatische watervoerende laag. Het water stijgt tot ver boven het dak van watervoerende laag B.

Situatie 2: het waterpeil stijgt tot boven het landoppervlak. De put tot in watervoerende laag B is vloeiend. In zone a is een artesische watervoerende laag.

AFB. 8.6 AFGESLOTEN EN ARTESISCHE WATERVOERENDE LAGEN

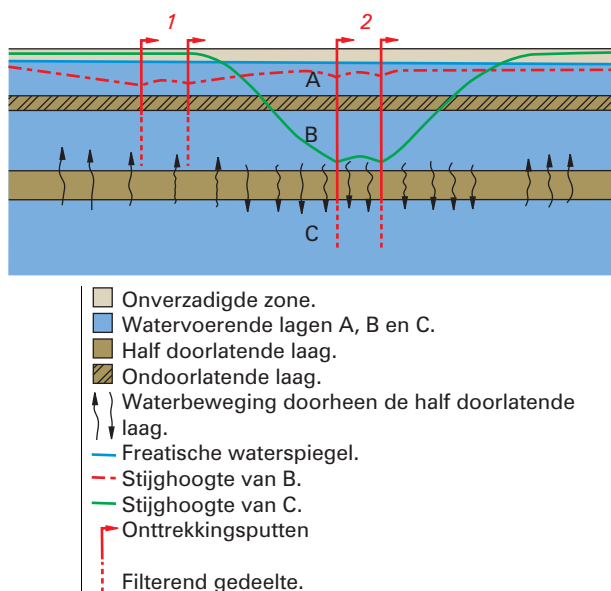
De druk kan in sommige gevallen zo hoog zijn dat het waterpeil boven het grondoppervlak uitstijgt: men bekomt dan een vloeiende put en men spreekt van een **artesische** watervoerende laag (situatie 2 op Afb. 8.6). Nochtans wordt de term 'artesisch' vaak overdrachtelijk gebruikt voor alle afgesloten watervoerende lagen.

Theoretisch stijgt het waterpeil in een afgesloten watervoerende laag tot het peil van de freatische zone van dezelfde watervoerende laag, en dit volgens het principe van de communicerende vaten. Men spreekt van de **stijghoogte** van de watervoerende laag. De stijghoogte weerspiegelt de druk die heerst in het watervoerend pakket op die plaats. Die stijghoogte beantwoordt niet aan een fysische hoeveelheid water, zoals dit het geval is met het grondwaterpeil in een freatisch watervoerend pakket.

Wanneer een afgesloten watervoerende laag aan het oppervlak komt wordt zij ook freatisch of vrij. In die zone wordt de watervoerende laag rechtstreeks gevoed door de neerslag: dit heet het **voedingsgebied**. Een afgesloten watervoerende laag zal bijgevolg slechts een grote capaciteit hebben voor onttrekkingen, wanneer de voedingszone voldoende groot en doorlatend is om de onttrokken hoeveelheden terug aan te vullen. Menige afgesloten watervoerende laag in Vlaanderen komt in de ondergrond voor in een gebied dat vele malen groter is dan het voedingsgebied. De onttrekkingen overtreffen daardoor snel de gemiddelde voeding en er treedt een stelselmatige daling op van de stijghoogte. In concrete gevallen bedraagt die afpompings meer dan 100 tot 120 m, zodat het spanningskarakter van de watervoerende laag zelfs verloren gaat.

Een semi- of halfafgesloten watervoerende laag ('semi-confined' in het Engels) komt voor wanneer de afsluitende laag halfdoorlatend is. Deze term kan gebruikt worden voor alle gradaties tussen afgesloten en freatisch, dus voor

alle gradaties van halfdoorlatende afsluitende lagen (van doorlatend tot ondoorlatend). Naargelang de stand van de grondwaterafel in boven elkaar liggende watervoerende lagen verschillend is, treedt er door de halfdoorlatende laag stroming op van de ene watervoerende laag naar de andere. Deze stroming kan zowel van onderen naar boven als van boven naar onderen optreden (zie Afb. 8.7). Een bijzondere situatie is het geval waarbij een vrije grondwaterspiegel (het grondwater is niet gespannen of staat niet onder druk) verticaal niet in direct contact staat met de atmosfeer (zie situatie 1 op Afb. 8.4 en 8.5), met andere woorden er komt een afsluitende laag voor, waaronder er nog een onverzadigde zone voorkomt, (de waterspiegel staat immers alleen **horizontaal** via open poriën in contact met de atmosfeer). Toch dient men hier van een freatische watervoerende laag te spreken.



De afpompingskegel van de pompputten 1 in watervoerende laag B is heel vlak en ondiep: B is een goed doorlatende watervoerende laag; in watervoerende laag C daarentegen is de afpompingskegel van de pompputten steil en diep: laag C heeft een veel geringere doorlatendheid.

Situatie 1: de stijghoogte in laag B is lager dan de stijghoogte in laag C met het gevolg dat er een stroming optreedt van watervoerende laag C naar B door de halfdoorlatende laag.

Situatie 2: de stijghoogte van watervoerende laag B is hoger dan de stijghoogte van laag C met het gevolg dat er een grondwaterstroming optreedt van laag B naar laag C door de half doorlatende laag.

AFB. 8.7 ONTTREKKINGEN UIT AFGESLOTEN WATVOERENDE LAGEN: AFPOMPINGSKEGELS EN GRONDWATERSTROMINGEN

Een watervoerende laag kan zo sterk afgepompt raken dat het grondwaterpeil tot onder het dak van het watervoerend gesteente is gedaald. De poriën in het gesteente staan artificieel onder atmosferische druk via de talloze geboorde filterputten waarin het waterpeil gedaald is tot onder de bovenkant van de perforaties in het filterend gedeelte. De druk in deze lagen is volledig verloren gegaan. Wanneer in dergelijke verloren spanningslagen het contact met de

atmosfeer onvoldoende is, kan de watervoerende laag zelfs in onderdruk verkeren en kent men het fenomeen van aspirerende putten. Omgekeerd kunnen dergelijke putten bij een stijging van het waterpeil (snellere voeding dan de afpomping) gaan blazen.

Door de wisselende samenstelling van de ondergrond van Vlaanderen kunnen er op basis van de verschillende stratigrafische lagen in de ondergrond en op basis van het regime (freatisch of afgesloten) en eventueel per streek een 33-tal verschillende watervoerende lagen worden onderscheiden. Afbeelding 8.8 geeft de verschillende onderscheiden aquifers. Deze lijst is vooral opgesteld op basis van de waterwinningen die uit deze aquifers water onttrekken. De tabel geeft zowel de courante benamingen als de nieuwe lithostratigrafische namen zoals ze op de nieuwe geologische kaart op schaal 1/50.000 worden gebruikt.

6 Het belang van grondwater in de drinkwatervoorziening

Op basis van cijfers verstrekt door de afdeling water van de Administratie voor Milieu en Natuurbehoud (AMINAL) bedroeg de drinkwaterproductie in het Vlaamse Gewest in 1993 916.645 m³/dag of ongeveer 334 miljoen m³/jaar. Daarvan was 173,5 miljoen m³ of 51,8% afkomstig van grondwaterwinningen en 48,2% van oppervlaktewaterwinningen. Het totale drinkwaterverbruik in Vlaanderen bedroeg in 1993 427 miljoen m³: ongeveer 92 miljoen werd uit Wallonië ingevoerd. Rond 1978 bedroeg de grondwaterproductie in Vlaanderen voor drinkwatervoorziening 112 miljoen m³ per jaar bij een totaal drinkwaterverbruik van 307 miljoen m³ per jaar hetgeen een toename betekent van respectievelijk 56 en 39% in de tijdspanne 1978-1993. Opvallend is dat in die periode de stijging van de grondwaterproductie groter is dan de stijging van het verbruik. Het is onwaarschijnlijk dat in de komende 15 jaar een gelijkaardige stijging nog mogelijk zal zijn. Het aandeel van het oppervlaktewater in de drinkwaterproductie zal bijgevolg moeten stijgen.

Toch blijft het grondwater voor de drinkwatervoorziening van bijzonder groot belang: grote hoeveelheden grondwater zijn voorradig in de ondergrond en die kunnen aangesproken worden in perioden met weinig neerslag om de gevoelige daling van het beschikbare oppervlaktewater op te vangen.

De voorwaarde is evenwel dat de daling van deze voorraden onder controle wordt gehouden en dat gedurende de nattere perioden het deficit opnieuw volledig wordt aangevuld.

Water: een levensnoodzakelijk goed.

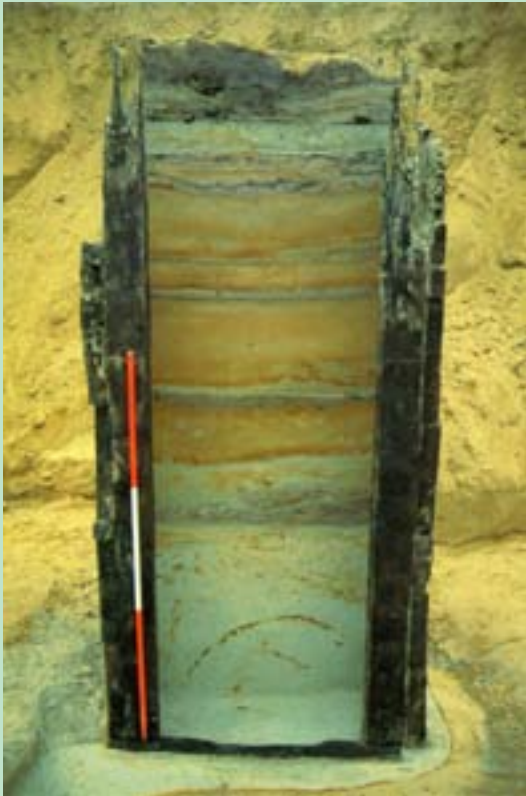
Marnix Pieters.

Gezien de levensnoodzakelijkheid, heeft water altijd al een enorme aantrekkingskracht uitgeoefend op de mens. Bronnen werden vereerd en nederzettingen werden bij voorkeur ingeplant in de onmiddellijke omgeving van waterlopen.

Behalve oppervlaktewater, dat niet overal ter beschikking staat, kan de waterbehoefte ook gedekt worden met grondwater dat landschappelijk tevens een ruimere spreiding heeft. Om het grondwater te kunnen gebruiken, dient

men echter eerst een waterput aan te leggen. Door hun diep karakter behoren waterputten tot de best bewaarde archeologische structuren. Een selectie van een aantal in Vlaanderen in de afgelopen jaren opgegraven waterputten toont de enorme variatie in constructiewijze en gebruikte materialen.

De oudste gekende waterput uit Vlaanderen dateert uit de vroege tot midden Bronstijd en werd opgegraven te Kontich (Antwerpen).



Burst (gem. Erpe-Mere, O.-VI.), Een Romeinse (2de eeuw) waterput van minstens 12 m diepte.



Raversijde (gem. Oostende, W.-VI.), 15de-eeuwse waterput gebouwd met eiken tonnen.

BGD-code	Courante benamingen	Lithostratigrafie nieuwe geologische kaart	Voorkomen	Aard van de laag
0	Quartair - ongedifferentieerd	Quartair	algemeen	meestal freatisch
1	Pleistoceen Schelde en zijrivieren	Quartair	Boven-Schelde, zijrivieren	meestal freatisch
2	Pleistoceen Maas en zijrivieren	Quartair	Maasbekken, vlakte van Bocholt	meestal freatisch
25	Kustduinen	Quartair	Kust	freatisch
26	Quartair Kustvlakte	Quartair	Polders, Ijzerbekken	meestal freatisch
27	Pleistoceen Vlaamse Vallei	Quartair	ten noorden van Gent-Wetteren-Dendermonde-Mechelen tot Rotselaar	meestal freatisch of semifreatisch
33	Terrasafzettingen Kempisch Plateau	Quartair	Kempisch Plateau, ten zuidwesten van Feldbiss	meestal freatisch
32	Formaties van Mol, Brasschaat, Kempen	Formaties van Mol, Brasschaat, Kempen	Noorderkempen	freatisch, soms semifreatisch of afgesloten (Fm. van de Kempen)
46	Zand van Pey	Zand van Pey	Roerdalslenk	afgesloten
47	Zand van Waubach	Zand van Waubach	Roerdalslenk	afgesloten
36	Formatie van Merksplas	Formatie van Merksplas	Noorderkempen	freatisch-afgesloten
37	Formaties van Lillo en Poederlee	Formaties van Lillo en Poederlee	Antwerpse Haven, Waasland, Noorderkempen	freatisch-afgesloten
38	Formaties van Kattendijk en Kasterlee	Formaties van Kattendijk en Kasterlee	Antwerpse Haven, Noord-Limburg, Noorderkempen	freatisch-afgesloten
31	Formatie van Diest "Diestiaan"	Formatie van Diest	Kempen, Hageland	freatisch-afgesloten
	Formatie van Berchem "Antwerpiaan"	Formatie van Berchem	Waasland, Antwerpen, Antwerpse Kempen	
	Formatie van Bolderberg	Formatie van Bolderberg	Midden-Limburg	
48	Formatie van Voort/ Formatie van Eigenbilzen	Formatie van Voort/ Formatie van Eigenbilzen	Midden-Limburg	meestal freatisch
28	"Onder-Rupeliaan"	Formatie van Zelzate-Lid van Ruisbroek	Waasland, Antwerpen, Zuiderkempen	meestal afgesloten
	/	Formatie van Bilzen-Lid van Kerniel/ Lid van Berg	Hageland, Zuid- en Midden-Limburg	
41	Formatie van Tongeren "Tongeriaan"	Formatie van St.-Huibrechts-Hern - Lid van Neerrepn + Formatie van Borgloon - Leden van Kerkom, Boutersem	Hageland, Midden- en Zuid-Limburg	freatisch-afgesloten

BGD-code	Courante benamingen	Lithostratigrafie nieuwe geologische kaart	Voorkomen	Aard van de laag
39	"Complex van Kallo" - s3, s2	Formatie van Zelzate - Lid van Bassevelde + Formatie van Maldegem - Lid van Buisputten	noordelijk Oost- Vlaanderen, Waasland, Antwerpen	meestal afgesloten
40	"Complex van Kallo" - s1	Formatie van Maldegem - Lid van Onderdale	noordelijk Oost- Vlaanderen, Waasland, Antwerpen	meestal afgesloten
29	"Ledo-Paniseliaan"	Formatie van Lede Formatie van Gent Formatie van Aalter	Laag- en Midden-België ten westen van de Zenne	freatisch-afgesloten
	"Ledo-Brusseliaan"	Formatie van Lede Formatie van Brussel	tussen Zenne en Gete, Antwerpen	afgesloten
3	Formatie van Brussel "Brusseliaan"	Formatie van Brussel (+ Lede)	ontsluitingszone Brabant	(semi)freatisch
30	Formatie van Ieper "Ieperiaan"	Formatie van Tielt - Lid van Egem	West- en Oost-Vlaanderen, Brabant	freatisch-afgesloten
	/	Formatie van Kortrijk - Zand van Vorst	ten oosten van de Zenne	
45	Formatie van Ieper "Ieperiaan"	Formatie van Kortrijk - Zand van Mons-en-Pévèle	zuidelijk West-en Oost- Vlaanderen, ZW-Brabant	freatisch-afgesloten
4	Formatie van Landen "Landeniaan"	Formatie van Hannut - Leden van Grandglise en Lincint/plaatselijk Formatie van Tienen	grootste deel van Vlaanderen, behalve ten oosten van de lijn Borgloon-Maaseik	afgesloten
6	Formatie van Landen "Landeniaan"	Formatie van Hannut - Lid van Lincint	omgeving Tienen - Landen- St.-Truiden	freatisch (plaatselijk afgesloten)
34	Formatie van Heers	Formatie van Heers	voornamelijk Zuid-Limburg	voornamelijk frea- tisch
49	(geen)	Formatie van Opglabbeek - Lid van Eisden	ten NO van Lanaken - Diepenbeek-Houthalen	afgesloten
35	Maastrichtiaan	Maastrichtiaan	Limburg, O-Brabant	afgesloten
43	Krijt-freatisch	Maastrichtiaan, Senoon	Jekervallei, Haspengouw	freatisch-semifrea- tisch
5	Krijt op Massief van Brabant	voornamelijk Turoon- Senoon	West- en Oost-Vlaanderen, Brussel	afgesloten
13	Kolenkalk (N-rand B.v.Namen)	Dinantiaan	uiterste zuiden West- Vlaanderen	afgesloten
19	Devoon (N-rand B.v.Namen)	Devoon	uiterste zuiden West- Vlaanderen	afgesloten
42	Cambro-Siluur Massief van Brabant (Sokkel)	Cambro-Siluur	voornamelijk West-en Oost-Vlaanderen en Vlaams-Brabant	afgesloten freatisch te Halle

AFB. 8.8 LIJST VAN DE WATERVOERENDE LAGEN IN VLAANDEREN
(tabel opgesteld door dr. JAN VAN DER SLUYS, BDG)

Verdere lectuur:

Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 1986 - Verklarende Hydrologische Woordenlijst Rapporten en Nota's No 16; Den Haag 1986.

Davis, S.N. en DeWiest, R.J.M., 1966 - Hydrogeology, John WILEY en Sons, Inc., New York - London - Sydney, 463 p.

Gellens-Meulenberghs, F. en Gellens, D. 1992 - L'évapotranspiration potentielle en Belgique - Variabilité spatiale et temporelle. Document KMI-A 130, Ukkel.

Kerngroep Water, 1977 - Vooruitzichten van het verbruik van distributiewater in 1990, Ministerie van Volksgezondheid en het Gezin, Brussel, 78p

Laga, P., 1980 - Het Waterprobleem en de Hydrogeologie in België, 18 fig.; in referatenboek: Het Waterbeleid in Vlaanderen, Studie-en Informatietweedaagse door B.V.L.G. 10 - 11 april 1980 Leuven, 16p

van Dam, J.C., 1976 - Waterhuishouding: I Hydrologische grondslagen; Technische Hogeschool Delft, Afdeling der Civiele Techniek (vierde herdruk 1981).

Vandenbergh, N. en Laga, P., 1991 - De Aarde als Fundament, Acco Leuven, 327 p.

Wouters, L. en Vandenbergh, N., 1994 - Geologie van de Kempen. Een synthese, NIRAS, 208 p.

Nawoord

Een inventaris van **De Nuttige Stoffen van den Belgischen Bodem** verscheen als bijlage pp 47-92 bij het Algemeen Stratigrafisch register van de Uitvoerige Aardkundige Kaart van België, 1932, 97 pp. Een zeer grondige wetenschappelijke bespreking van de natuurlijke rijkdommen van het land werd ter gelegenheid van de Centenaire de l'Association des Ingénieurs sortis de l'Ecole de Liège gepubliceerd: Congrès 1947, **Section Géologie**, 425 pp. Door de aard van hun behandeling richtten beide publicaties zich tot de geologische vakgemeenschap en bleven aldus in een eerder beperkte kring bekend.

Gezien het alledaagse belang van onze natuurlijke delfstoffen en het toenemend maatschappelijk gewicht van hun voorkomen en ontginning was er nood aan een goed geïllustreerde, bevattelijke behandeling.

Naar aanleiding van de tentoonstelling "Ondergronds-Bovengronds" van september-oktober 1995 werd besloten hierbij als blijvend vademecum een boek over dit onderwerp samen te stellen. Emeritus-Professor F. Gullentops werd bereid gevonden de redactie hiervan op zich te nemen. Lic. L. Wouters zou zijn co-editor worden. Hierbij konden ze rekenen op de deskundigheid van een aanzienlijke groep medeauteurs. Om de bereikbaarheid van de medeauteurs te vergroten wordt hierna hun statuut en adres vermeld.

Becuwe, Frank, Lic., Instituut voor het Archeologisch Patrimonium, Doornveld 1 bus 30, 1731 Asse-Zellik

Bogemans, Frieda, Dr., VUBrussel, Pleinlaan 2, 1000 Brussel

Bouckaert, Jos, ere-Directeur Belgische Geologische Dienst, Livingstonelaan 7, 3080 Tervuren

Broothaers, Ludo, Dr., afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Markiesstraat 1, 1000 Brussel

Ceulemans, Greet, Lic., Geologica, Tervuursesteenweg 200, 3060 Bertem

De Batist, Marc, Prof. Dr., Geologisch Instituut RUGent, Krijgslaan 281, 9000 Gent

De Bie, Marc, Lic., Instituut voor het Archeologisch Patrimonium, Doornveld 1 bus 30, 1731 Asse-Zellik

De Breuck, William, Prof. Dr., Geologisch Instituut RUGent, Krijgslaan 281, 9000 Gent

De Geyter, Geert, Dr., Belgische Geologische Dienst, Jennerstraat 11, 1050 Brussel

De Groote, Koen, Lic., Instituut voor het Archeologisch Patrimonium, Doornveld 1 bus 30, 1731 Asse-Zellik

De Moor, Guy, emer.-Prof. Dr., Geologisch Instituut RUGent, Krijgslaan 281, 9000 Gent

De Vos, Walter, Dr., Belgische Geologische Dienst, Jennerstraat 11, 1050 Brussel

Dusar, Michiel, Dr., Belgische Geologische Dienst, Jennerstraat 11, 1050 Brussel

Elsen, Jan, Dr. W.T.C.B., 21, Av. P. Holoffe, 1342 Limelette

Fobe, Bart, Dr., International Marine & Dredging Consultants, Wilrijkstraat 34, 2140 Borgerhout

Geets, Stefaan, Prof. Dr., Geologisch Instituut, RUGent, Krijgslaan 281, 9000 Gent

Gullentops, Frans, emer.-Prof. Dr., Historische Geologie KULeuven, Redingenstraat 16, 3000 Leuven

Jacobs, Patrick, Prof. Dr., Geologisch Instituut RUGent, Krijgslaan 281, 9000 Gent

Laga, Pieter, Dr., Belgische Geologische Dienst, Jennerstraat 11, 1050 Brussel

Langohr, Roger, Prof. Dr., Geologisch Instituut RUGent, Krijgslaan 281, 9000 Gent

Malherbe, Bernard, Ir.-lic., Haecon, Deinze Steenweg 110, 9810 Gent

Mostaert, Frank, Dr., afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Markiesstraat 1, 1000 Brussel

Neerdael, Bernard, Ir., SCK-CEN, Boeretang 200, 2400 Mol

Nijs, Roger, Prof. Dr., Geologisch Instituut RUGent, Krijgslaan 281, 9000 Gent

Ottenburgs, Raoul, Dr., Fysico-chemische Geologie, Celestijnenlaan 300, 3001 Heverlee

Paulissen, Etienne, Prof. Dr., Fysische Aardrijkskunde KULeuven, Redingstraat 16, 3000 Leuven

Pieters, Marnix, Lic., Instituut voor het Archeologisch Patrimonium, Doornveld 1 bus 30, 1731 Asse-Zellik

Soers, Eric, Dr., Geos, Hertestraat 30, 3831 Wellen

Stoops, Georges, Prof. Dr., Geologisch Instituut RUGent, Krijgslaan 281, 9000 Gent

Van Bellingen, Stephan, Lic., Instituut voor het Archeologisch Patrimonium, Doornveld 1 bus 30, 1731 Asse-Zellik

Vandenberghe, Noël, Prof. Dr., Historische Geologie KULeuven, Redingenstraat 16, 3000 Leuven.

Van Elst, Raf, Ir., Distrigas, Kunstlaan 31, 1040 Brussel

Van Orsmael, Jozef, Dr., Geologica, Tervuursesteenweg 200, 3060 Bertem

Van Roo, Jan, Ir., afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Markiesstraat 1, 1000 Brussel

Vansteelandt, Paul, Ir., afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Markiesstraat 1, 1000 Brussel

Viaene, Willy, Prof. Dr., Fysico-chemische Geologie KULeuven, Celestijnenlaan 300, 3001 Heverlee

Wenselaers, Paul, Ir., afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Markiesstraat 1, 1000 Brussel

Wittewrongel, Yvan, Dr., SCR-Sibelco, Schans, 2480 Dessel

Wouters, Laurent, Lic., Geologica, Tervuursesteenweg 200, 3060 Bertem

Onze bijzondere dank gaat eveneens uit naar het Instituut voor het Archeologisch Patrimonium, onder leiding van Prof. Dr. Guy De Boe.

Ir. Paul Vansteelandt

afdelingshoofd

afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie.

Register

aardkorst	3	Eigenbilzen Zand	18
aardgas	117	Eisden	10
aardgas diep	123	Elsloo Grind	19
aardgas opslag	124	erosie	4
aardolie	117	etage	5
Aalbeke Klei	14, 38, 39	ertsen	143
Aalter Zand	15, 58	evapotranspiratie	163
afvalberging	114, 131	formatie	5
AMINAL	178	fosfaat	146
ANRE	182	freatisch	166
Antwerpen Fossielzand	19	Gelinden	11
ARAB	178	Gellik Zand	17
artesisch	167	Gent Formatie	14
Asse Klei	15, 40	geologische kaart	5
Balegemse Steen	91, 94	geothermische energie	127
Bartoniaan	15	gewestplan	176, 181
biostratigrafie	5	glas	156
bodemerosie	27	glaucaniet	55, 149
Beerse Zand	22	Gobertingensteen	96
Beersiaan	22	granulaten	77
Belsele Waas Silt	17	graverijen	177
Berchem Formatie	19	Grimmertingen Glimmerzand	16, 41
Berg Zand	17, 61	grind	78, 183
Bocholt Zand	72	grindwinning Limburg	179
Bolderberg Zanden	19, 62	grindcomité	180
Boom Klei	17, 42, 135, 184	grinddecreet	180
Borgloon Formatie	16	grindfonds	180
bouwvergunning	181	groeven	178
BPA	181	grondwater	163
Brabant Loess	25	grondwaterspiegel	163
Brabant, Massief van	6, 93, 109, 143, 166	Hannut	12
Brussel Zanden	14, 59, 89	Hechtel Duinzand	26
Brusseliaan	14	Heers	11
Caledonische	6	Henis Klei	16, 41
Cambrium	6	Hercynische	8
Campaniaan	9	Hoegaarden	12, 59
Carboon	7	Holoceen	26
cement	145	Houthalen Zand	19
chronostratigrafie	5	hydrogeologie	164
continenten	3	leperiaan	13, 38
Cenozoïcum	9	industriezand eigenschappen	151
Chattiaan	18	industriezand toepassingen	156
De Maat Spriet	21, 107	ijzerzandsteen	88
Dessel Zand	19	ijzererts	150
Devoon	7	ijzererts archeologie	158
Diest Zand	20, 62	ijskappen	4
Diestiaan	20, 88, 150	Jura	9
Donk Zand	21, 22	juridisch kader	177
drinkwatervoorziening	168	kalk	145
Duinkerke inbraken	26, 49	kalktuf	99
economie	175	Kalmthout Duinzand	27
Eemiaan	69	Kasterlee Zand	22, 62
Egem Zand	14, 56	Kempen Kleien	22, 24, 45, 182

Kempen, Bekken van	8, 108
Kerkom stroomzand	16, 61
Kiezeloöliet	21
Kikbeek Ligniet	19, 107
kern	3
klei analyses	35
klei componenten	34
klei grondstoffen	36
klei historisch	40, 52
klei mineralen	32, 34
klei productie	50
klei reacties	37
klei textuur	33
Kleine-Spauwen Klei	17, 44
Knesselare Formatie	15
koolwaterstoffen	116
Kortemark silt	14, 38, 40, 182
Kortrijk Formatie	39
Krakenberg Zand	14, 59
Krijt	9, 97, 144, 183
Kwartair	21, 23
kwartsiet	93
Laken Grind	15
landduinen	73
Landeniaan	13, 59
Lede Zand	15, 58, 60
ligniet	106
Lincent Tuffeau	12, 97
leem alluviaal	48, 183
leem eolisch	47, 183
leem textuur	33
lid	5
lithostratigrafie	5
loess	46
Lommel Zand	24, 68, 72
Lutetiaan	14
mantel	3
Maasgrind	80
Maasmechelen Zilverzand	19
Maastrichtiaan	9, 98, 146
magma	143
Maldegem Formatie	15
MER	188
Mesozoïcum	8
methaangas	112, 119
milieu-effect-rapportering	185
Mioceen	18
Moen Klei	38, 39, 182
moerasijzererts	89
Moeren Veen	26
Mol Zanden	21, 63, 153, 183
Montiaan	10
monumentenzorg	190
mijngas	112
mijnverzakkingen	115
mijnwet	177
nabestemming	185
natuursteen	87
natuurherinrichting	187, 157
Neerijssse Zand	14, 60
Neerrepn Zand	16, 61
Noordzeegrind	79
Oligoceen	16
oceanen	3
Oorderen Zand	21, 63
ouderdomsbepaling	5
Opgrimbie Zand	19, 154
Ordovicium	7
Orp	11
Oude Biezen Mergel	16
Overbroek	12
Overlaar	13
Paleoceen	10
paleontologie	5
Paleozoïcum	6
Perm	8
permeabiliteit	164
Pleistoceen	22
Pliocene	21
polderklei	49, 183
porositeit	164
Putte Klei	17
radioactief afval	131
Rijns Massief	9
Rommersom	12, 92
ruimtelijke ordening	176, 181
Rupeliaan	18
Saale Ijs	24, 63
Saaliaan	69, 71
Siluur	7
sedimentatie	4
septaria	43
steenslag	83
Steentijd	147
steenkool ontginning	111
steenkool ontstaan	107
steenkool productie	113
steenkool soorten	110
steenkool toekomst	114, 120
stortplaats	186
stratigrafie	5
structuurplan Vlaanderen	181
St-Huibrechts Hern	16
Terhagen Klei	17
terrasgrind	79
Tielt Formatie	14

Tienen	13	waterverontreiniging	188
Tongeriaan	16	watervoerende lagen	164, 170
Trias	8	Weichseliaan	25, 65, 70
turf	105	Wemmel Zand	15
tijdschaal	5	Westfaliaan	8, 108
tijdvak	5	Wildert Dekzand	25, 69
veldsteen	89	Winterslag Zanden	24, 72
vergunning	177	Zammel Zand	69
Vlaamse Hoofden	26, 70	Zandbergse Steen	90
Vlaamse Vallei	63, 65, 67	zand duin	69
Vlaanderen Klei	13	zand normen	56
VLAREM	178	zand productie	72
Vlierzele Zand	14, 58	zand rivier	68
Voort Zand	18	zandsteen	89, 101
Vroenhoven	10	zand textuur	55
vulkanische as	25	zand zee	69
vulkanische gesteenten	143	zeeduinen	27
veen	27	zeepeil	4
veen archeologie	138	zeespiegelstijging	26
vuursteen	146	zilverzand	154, 183
waterbalans	163	zout	139, 149
waterputten archeologie	169	Zutendaal Grind	24, 25, 81
		zware mineralen	151