

Sedimentstructurele en glaciotektonische verschijnselen uit het Midden-Saalien in een stuwwalafgraving bij Mook (N-Limburg)

Ronald T. van Balen* en Fred H. Kievits**

Voor het bestuderen van tektonische vervormingen van aardlagen moeten we eigenlijk altijd de grens over. Alleen in het zuiden van het land zijn in ontsluitingen soms fraaie breuken of plooiën te zien die zijn ontstaan door opheffende bewegingen in de aardkorst. Sommige groeves in stuwwallen laten de meest gecompliceerde structuren zien in hun wanden, gevormd door de stuwende werking van het landijs tijdens het Saalien. In het Noordlimburgse Mook is door de auteurs een diepgaand onderzoek gedaan naar deze glaciotektonische verschijnselen en de formaties die de stuwung hebben ondergaan.

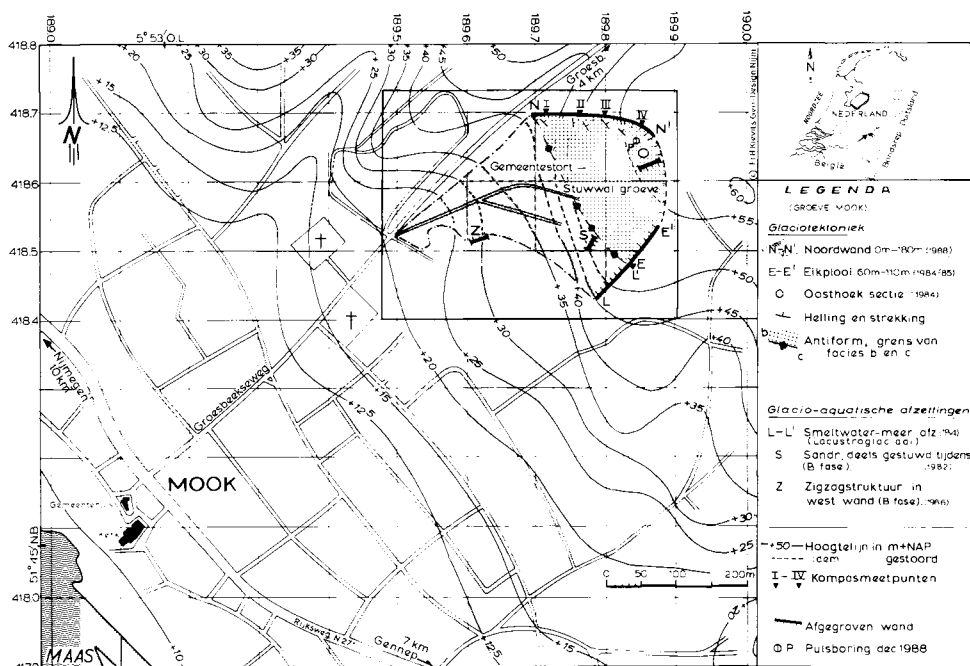


Fig. 1. Geografische ligging van de groeve Mook in Noord-Limburg, ingesloten tussen de oostelijke Maasoever en Nederlands meest zuidelijke stuwwallencomplex.

Mook ligt in Noord-Limburg, ingesloten tussen de oostelijke Maasoever en Nederlands meest zuidelijke stuwwallencomplex, zie fig. 1 en 2.

* Javastraat 34^{III}
1094 HH Amsterdam
** Postbus 40067
6504 AB Nijmegen

Over de juiste ouderdom van de groeve bij Mook ontbreken ons helaas de gegevens. Luchtfoto's uit 1944 tonen reeds een aanzienlijke afgraving. Medio 1988 was er een circa 300 m lang wandprofiel dat met 70 % talud was bedekt. De basis van de groeve lag op ca. 35 m + NAP en de top van het profiel op 45 tot 55 m + NAP. Deze stuwwalgroeve is in het Rijk van Nijmegen de enige in zijn soort waar nog gegraven wordt.

Paleogeografie van midden Nederland tijdens het Midden-SALIEN

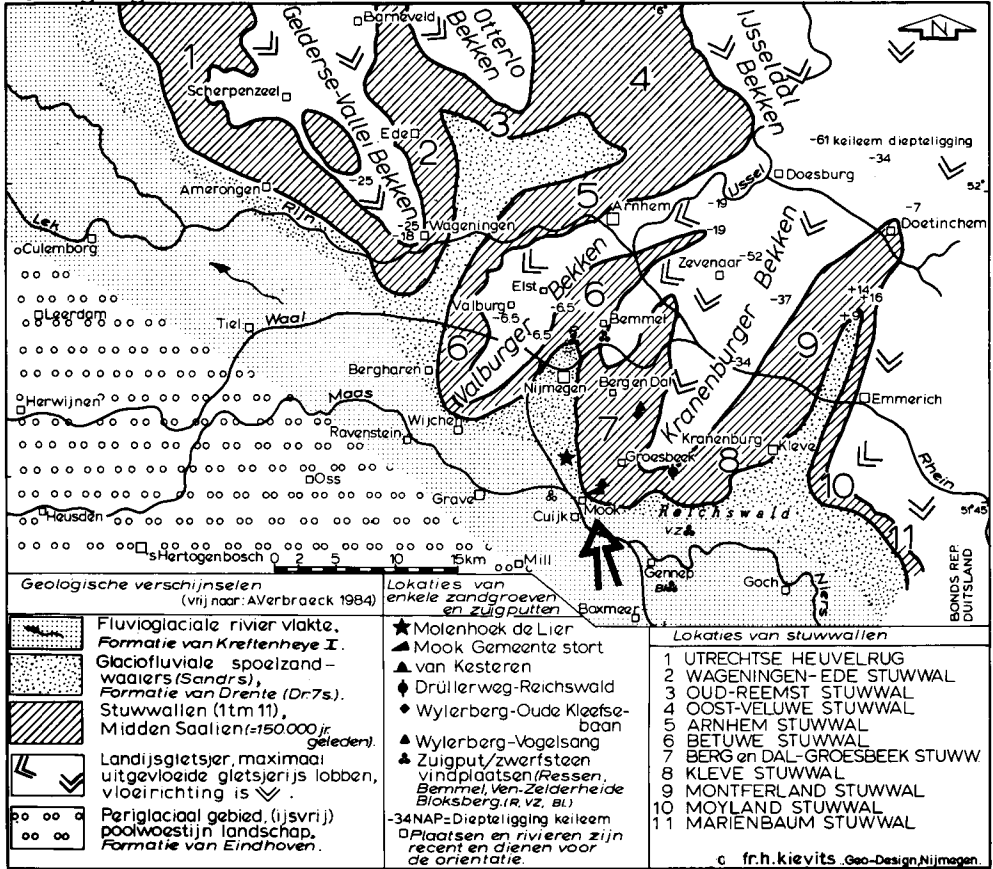


Fig. 2

DE STUWWALGROEVE MOOK ALS ONDERZOEKS-OBJECT

In de literatuur wordt deze groeve, of zijn directe omgeving, een enkele keer genoemd, zoals bijvoorbeeld in boorbeschrijvingen (Zonneveld, 1947, Zonneveld, 1958). Of bij gesteentetellingen (Maarleveld, 1956). Literatuur over de structurele-geologie van deze omgeving gaat over oriëntaties van de sedimentaire gelaagdheid en de daarmee samenhangende stuwingsfasenindeling (Maarleveld, 1981). Er is in deze groeve een tekening van een plooi gemaakt door Hoffland (1962). Beschrijvingen van fossielen in zwerfstenen uit de groeve te Mook zijn gemaakt door Bless (1962). Van der Lijn (1974) beschrijft de vondst van een groot blok nahe-kwartsporfier. Tot slot wordt de groeve vermeld door Driesen (1985), met een tekening van de zuidoostwand getekend door D.Teuissen.

Het was in 1887 dat de geoloog J.Lorié zijn voortreffelijke tekeningen en wandbeschrijvingen van o.a. ontsluitingen te Ubbergen en Beek bij Nijmegen publiceerde. Dit goede voorbeeld verdient navolging.

DE PALEO-GEOGRAFIE VAN HET GEBIED TIJDENS HET MIDDEN-SALIEN

Om enige indruk te krijgen van de gevolgen van de Saale-ijstijd in ruimte en tijd, maken we een summier paleo-geografische samenvatting. Na het Holsteinien-interglaciaal met een gematigd klimaat, volgde er opnieuw een koude periode: het Saalien. Deze geleidelijke klimatologische "omslag" vond ca. 200.000 jaar geleden plaats. Gletsjers van het noordelijk halfrond namen sterk in omvang toe en vloeiden uit. Grote delen van Noordwest-Europa werden door landijs bedekt. Pas in het Midden-Saalien (150.000 jaar ge-

leden) bedekte dit landijs ons land tijdens de maximale uitbreiding; de zeespiegel was gedaald tot ca 140 m -NAP. Het min of meer convexe gletsjerijsfront heeft destijds gelegen van west naar oost bij London-Haarlem-Deventer-Doetinchem-Emmerich-Düsseldorf. Wij beperken ons tot een klein gebied van ruim 900 km² dat ligt ingesloten tussen Arnhem-Doetinchem-Goch-Genep-Wijchen-Bergharen en wederom Arnhem, zie figuur 2.

GLETSJERIJS EN GLETSJERUITVLOEIING

"Sommige gletsjers bewegen door onverwachte uitvloeiingen (surges), ze bouwen een reserve op van sneeuw en ijs die plotseling hellingafwaarts glijdt. Daarna volgt er enige tijd rust, waarbij een nieuwe voorraad sneeuw en ijs wordt opgebouwd, totdat deze opnieuw als een ijsvloed uitstroomt. Niemand weet waarom dit gebeurt" (Nixon & Nixon, 1980, p. 21). Op verschillende plaatsen langs het inland-gletsjerijsfront zijn door positieve massabalans-verstoringen uitvloeiende gletsjerijslobben ontstaan ("glacier-surge", Zagwijn, 1975, p. 195). Het uitvloeiende ijs verschanste zich bij voorkeur in goed permeabele afzettingen met veel grind van de (pré-Saalien) Rijn en Maas, mits deze afzettingen aan of nabij het oppervlak aanwezig waren (Van den Berg & Beets, 1987, p. 241 en 245). Een voorbeeld van dit grove sediment type is de U eenheid in het noordwand-profiel, groeve-Mook. Tussen Doesburg en Doetinchem (zie figuur 2) heeft waarschijnlijk een instabiel gletsjerijsfront gelegen, waar twee ijslobben vrij snel zijn gaan uitvloeiën (Thome, 1959, p. 205). Een westelijke ijslob vloeide uit over Huizen-Elst-Valburg tot

aan Beuningen, dit was de zogenaamde Valburger IJslab. Een oostelijke lob stroomde over Zevenaar-Millingen-Kranenburg tot aan Brede-weg. Dit was de zogenaamde Kranenburger IJslab. Onder deze ijslobben ontstonden relatief diepe tongbekkens (Jelgersma & Breeuwer, 1975, p. 95). De basis van het tongbekken van Groesbeek ligt op ca. 25 m -NAP. In deze tongbekkens was er onder het ijs een aanzienlijke sedimentverplaatsing door smeltwatertransport en door glaciotektonische stuwing.

De sedimentverplaatsing als gevolg van de glaciotektoniek, werd veroorzaakt door de neerwaartse druk van de ijsmassa op de ondergrond. Als reactie op deze druk bouwde het poriënwater van de onderliggende sedimenten ook een druk op. Door deze, vrij hoge, poriënwaterdruk nam de schuifweerstand van de sedimenten af, zodat ze makkelijker deformeerden. Deze deformatie hield in dat sedimentpakketten verplaatst werden van onder de gletsjer naar naast de gletsjer, waar ze zich schubsgewijs opstapelden, zie figuur 2 en 3. Zo ontstond op den duur rond de ijslobben een guirlande-vormige rug van stuwwallen, zoals het stuwwallencomplex van Arnhem en de Betuwe (Verbraeck, 1984), alsmede het complex van Bemmeler-Berg en Dal-Groesbeek en Plasmolen, met aansluitend het complex van het noordwestelijke Reichswald-Kleve-Montferland tot aan de "Nunatak" van Doetinchem. Hier buigt de stuwwalguirlande zuidwaarts langs Emmerich-Moyland-Mariënbaum en verder zuidelijk tot voorbij Krefeld. De huidige stuwwalresten vertonen hoogten tot maximaal 95 m +NAP. Bij Arnhem ligt een top van 110 m +NAP. De stuwwallen

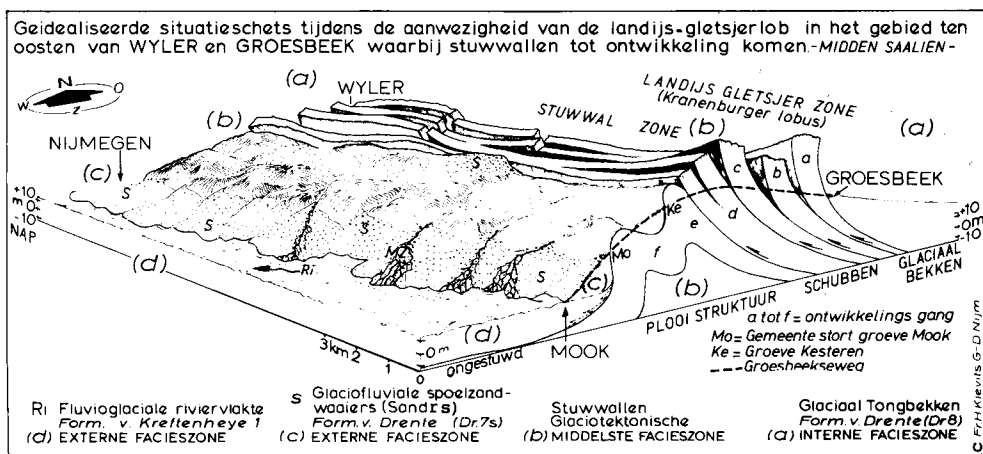


Fig. 3

zijn aanvankelijk hoger geweest, we komen daarop nog terug.

IJssmeltwater uit het Rijnlandse stuwwallengebied stroomde naar het noorden regelrecht in de richting van het Nederlandse ijsfront en belandde gedeeltelijk in de "fuik" tussen de Valburger en Kranenburger IJsslobben, zie figuur 2. Vermoedelijk veroorzaakte deze stagnatie een lokale pradolinerivier met uitgestrekte meanders.

Gaandeweg namen de ijslobben in omvang toe en ontwikkelden de stuwwallen zich verder. Veel ijssmeltwater stroomde erosief over de jonge stuwwallen naar het ijsvrije gebied en veroorzaakten o.a. op de stuwwallen smeltwatermeer-afzettingen (lacustroglaciale afzettingen) en sandrs. Maar vooral aan de tektonisch actieve zijde van het ijsvrije stuwwallenfront ontwikkelden zich aanzienlijke spoelzandwaaiers of sandrs als een soort van buitenste mantel (Tesch 1915, p. 572). In de publicaties van Ruegg (1977, p.9, en 1983, p. 379) worden ze omschreven als een zoom van spoelzandwaaiers aan de voet van de stuwwallen, zie figuur 2 en 3. Tijdens deze erosieve fase ontstonden diep uitgeslepen stuwwalzadels, zoals in het westelijk Reichswaldgebied ten zuidwesten van de Brandenburg en in de spoorlijntraverse naar Groesbeek. Ook minder omvangrijke dalen hebben uiteindelijk als "sandr-apexzones" gefungeerd. De sandrs van Nijmegen tot voorbij Molenhoek zijn van het "piedmonte" type. Waaiersedimentatie en erosie werden veroorzaakt door intermitterende vlechtende stromen (Middelste zone van Molenhoek De Lier), die vervolgens werden afgedekt door een dik pakket evenwijdig gelaagde schietend waterafzettingen (sheet floods) (Bovenste zone van Molenhoek De Lier). Het aanbod van veel smeltwater en een achterland met tektonisch actieve gestuwde zand- en grindlagen bevorderen de waaiermorfologie. De plaatsen waar (glaciofluviale) spoelzandwaaiers zijn afgezet zijn aangegeven in figuur 2. Door de verwilderde Niersdal Rijn verdwenen sandr-voetvlakken. Sandrs behoren tot de Formatie van Drente (Dr. 7s), uit het Midden-Saalien. Zoals reeds gemeld ligt de stad Nijmegen in feite op een spoelzandwaaier en niet op stuwwalheuvelds zoals zo vaak ten onrechte wordt gedacht.

Al het smeltwater verzamelde zich tenslotte in de laagste gebieden in de vorm van verwilderde rivierstromen. Eén van deze rivieren was de Niersdal Rijn (Verbraeck, 1984, p. 107) uit het Midden-Saalien. Deze rivier behoort tot de Formatie van Kreftenheye I, en heeft gestroomd vanaf Krefeld naar Goch en Gennep en vervolgens samen met de Maas over Milsbeek-Cuijk-Mook en

Wijchen naar het noordwesten, zie figuur 2. Bij Milsbeek en Plasmolen tastte deze rivier de aanwezige stuwwal aan en langs de gehele noordoostoever werden de aanwezige sandrs ondergraven. Ook verdween het grootste deel van de pradoline-afzettingen. Met de Gelderse-Poort Rijn en een tak van de Rijn die rond Montferland heeft gestroomd forceerde de Rijn de toegang naar de Betuwe (Verbraeck, 1984, p. 107). Grote delen van de stuwwallen verdwenen van het aardoppervlak, zoals de stuwwallen tussen Kleve en Montferland en de Betuwe stuwwallen, zie figuur 2. Met het verdwijnen van de stuwwallen noordelijk van Kleve-Kranenburg-Wyler en Beek en de sandrs tussen Nijmegen en Ressen en in het Land van Maas en Waal, werd de permanente afstroming naar de Noordzee een feit. De afzettingen van de Gelderse-Poort Rijn behoren tot de Formatie van Kreftenheye II, uit het Laat-Saalien. Deze verwilderde rivieractiviteiten kwamen tot stand aan de rand van het gletsjerijs, onder invloed van een arctisch klimaat en met een toendrabodemvegetatie die geen weerstand kon bieden tegen de krachtige smeltwater-erosie. Al deze aspecten zijn kenmerkend voor de ijstijd. Echter zonder deze radicale opruiming van stuwwallen was Rotterdam nimmer een wereldhaven geworden.

REGIONALE FACIESONDERSCHEIDING IN DE FORMATIE VAN DRENTE

In het Rijk van Nijmegen ontstonden tijdens de Saale-IJstijd gedurende de vorming van de Formatie van Drente vier glacicene afzettingenmilieu's die duidelijk van elkaar te onderscheiden zijn in ruimte en tijd, zie figuur 3.

Facies a) interne zone met ijscontact (ijsproximaal). Dit zijn tongbekken-afzettingen in de vorm van ijs, plaatselijke keileem, smeltwater-meerafzettingen met mogelijke kameterrassen en kamedelta's, gletsjertunnel afzettingen en de binnenste zoom van glaciofluviale afzettingen etc. Deze afzettingen treden zeer zelden aan de dag, en zijn d.m.v. boringen na te gaan.

Facies b) middelste zone met glacio-tektonische verschijnselen zoals stuwwallen met opwaarts en zijwaarts in schubben en plooiën gestuwde sedimentpakketten van oorsprong uit de Formaties van Urk, Enschede, vermoedelijk Kedichem en Sterksel. Gestuwde sandrs en hooggelegen ablatieckileem zijn waarschijnlijk aanwezig.

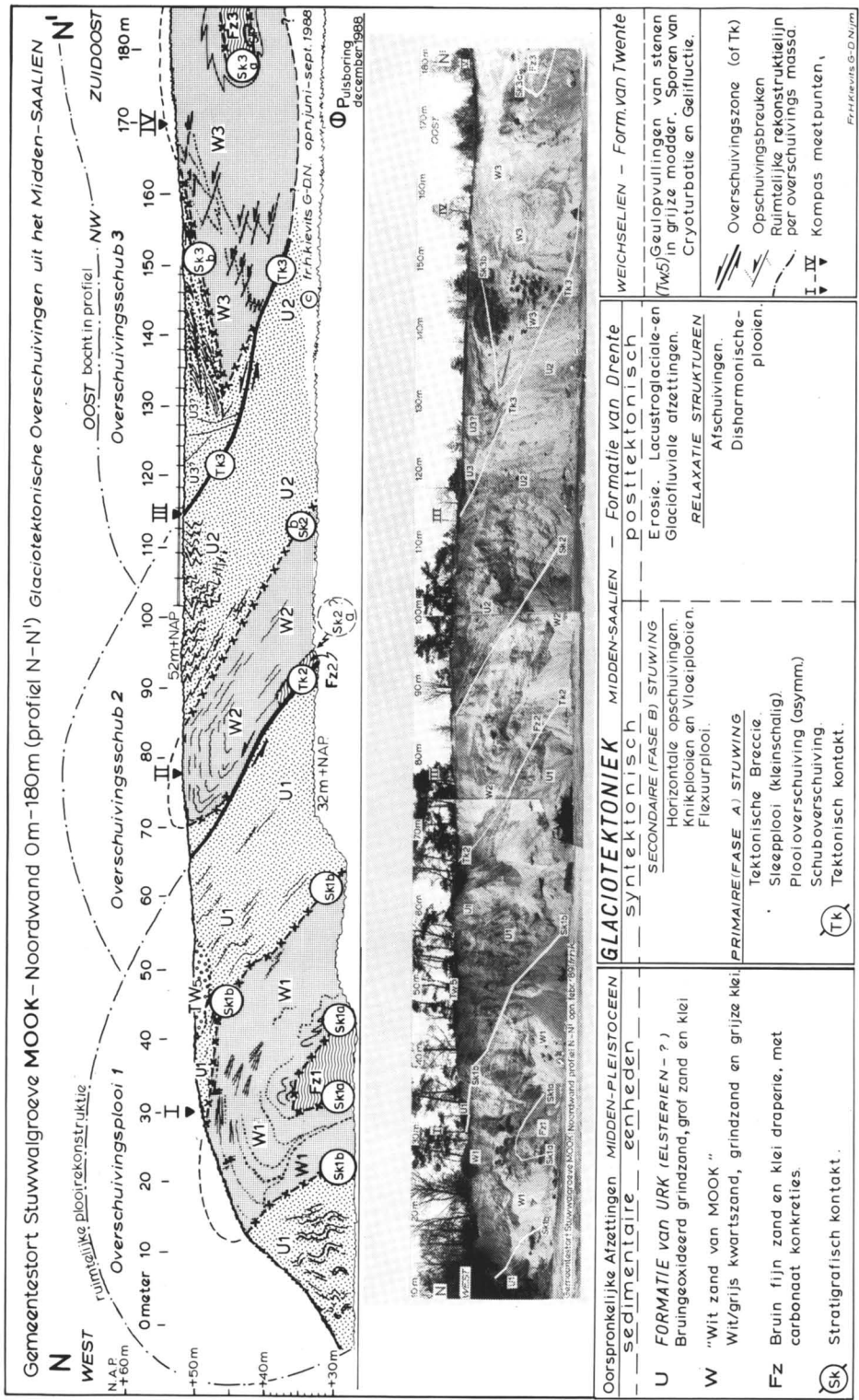


Fig. 4

Facies c) externe zone I (ijsdistaal). Een buitenste zoom van ongestuwde (glaciofluviale) spoelzandwaaiers of sandrs van het "pied-monte" type, afgezet tegen het ijsvrije tektonisch actieve deel van de stuwwallen.

Facies d) meest externe zone II (ijsdistaal). Formatie van Kreftenheye I, met vrij diep ingesneden verwilderde rivieren die plaatselijk stuwwallen en sandrs ondergroeven en deze zelfs geheel deden verdwijnen van het aardoppervlak (Fm. van Kreftenheye II).

GEMEENTESTORT- STUWWALGROEVE MOOK, NOORDWANDPROFIEL N-N'

De fijnzandige eenheden Fz1, Fz2 EN Fz3:

De sedimentatie fase

In de Gemeentestort-stuwwalgroeve te Mook zijn deze eenheden aangetroffen onder de 30 m -, 90 m - en 180 m merken van de noordwand, zie figuur 4. Ze behoren stratigrafisch tot de oudste sedimenten die in de noordwand dagzomen. De eenheid bestaat uit meestal donkerbruin soms bruingroen fijn zand (63 - 125 µm). Soms met meegeplooid golvende 2 cm dikke oranje tot bruine kleiige draperiebandjes. In het zand zijn vage kleinschalige ribbels herkenbaar met zo nu en dan muscovietplaatjes (glimmer) op de lijzijdelaaigjes. Opvallend zijn de carbonaatconcreties die alleen in deze eenheid voorkomen. Ze bestaan uit groene platte tot lensvormige steentjes, mees-

tal meer dan dan 1 cm groot, die gemakkelijk doorbreken en op het breukvlak kwartskorrels met een kalkhoudend bindmiddel laten zien. De fijnzandige eenheid is een oorspronkelijk riviersediment dat onder vrij rustige omstandigheden sedimenteerde op enige afstand van de stroomgordel. Uit een onderzoek naar het gehalte aan (stabiele) zware mineralen, (monsters fk 93 Mo en V.U.1, zie figuur 5) blijkt, dat het Fz1pakket vermoedelijk tot een Midden-Pleistocene afzetting behoort. Deze hebben soms als kenmerkend mineraal de groenbruine Vogezenhoornblende (Maasprovincie). De afwezigheid van het mineraal augiet (Rijnprovincie) geeft aan dat het Fz1-pakket niet tot de Formatie van Urk behoort. Enig voorbehoud bij slechts twee monsters is geboden. In de praktijk wordt er een groot aantal monsteranalyses gedaan, voordat er tot een goed gefundeerde uitspraak kan worden gekomen.

Tektonische deformaties

De fijnzandige eenheden Fz1 en Fz3 worden afgedekt door een gelaagde klei van wisselende dikte. We beschouwen deze kleilaag als oorspronkelijk stratigrafisch contact. De contacten zijn op de profieltekening aangegeven met Sk1a respectievelijk Sk3a. Beide contacten vertonen enige opmerkelijke verschijnselen als gevolg van de stuwwaltektoniek, (zie figuur 6). Op de rechterzijde van de Sk1a flank was de gelaagde bruine klei veranderd in een zone met "drijvende klei-cilandsjes", een zone met brosse deformatie. Dit is vrijwel zeker veroorzaakt door het poriënwater dat door de stuwing onder zeer hoge druk stond en langs deze zone een ontsnapingsweg zocht in opwaartse richting. Het poriënwater infiltrerde vervolgens in het hoger gelegen pakket met fijnkorrelig, evenwijdig gelaagd wit zand dat onder deze min of meer "vloeibare" omstandigheden makkelijk tot knikplooien deформeerde (semi-brosse deformatie). Mede onder invloed van hetzelfde poriënwater ontstonden er tevens vloeiplooien (plastische deformatie). Al deze deformaties vinden waarschijnlijk hun oorzaak in de 2e stuwingsfase (fase B). We komen hier nog op terug. Onder het 180 m merk, in het stratigrafisch contact Sk3a werd een geïsoleerde kleinschalige sleepplooi waargenomen van ca. 1 m lang en 40 cm dik, met een harde eivormige kleischaal. De opvulling bestond uit goed gesorteerde rose-witte kwartsgranules en ijzeroxidekorrels. Bovenop het tektonische contact Tk2 (zie figuur 10) ligt een pakketje uit de Fz2-eenheid dat moeilijk herkenbaar is, omdat het grindrijke lensvormige gedeformeerde insluitsels van grind en waarschijnlijk mangaanoxide vermoedelijk uit de U-eenheden heeft opgeno-

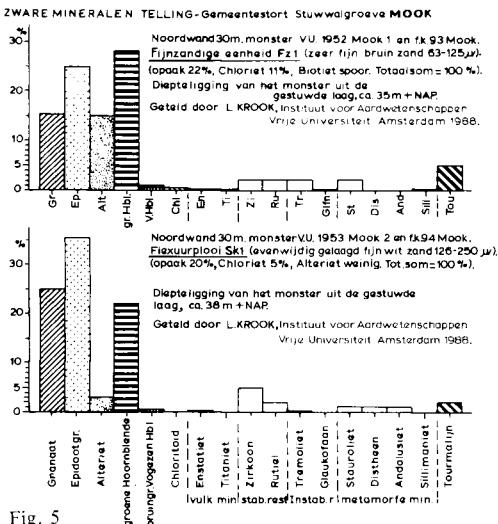


Fig. 5

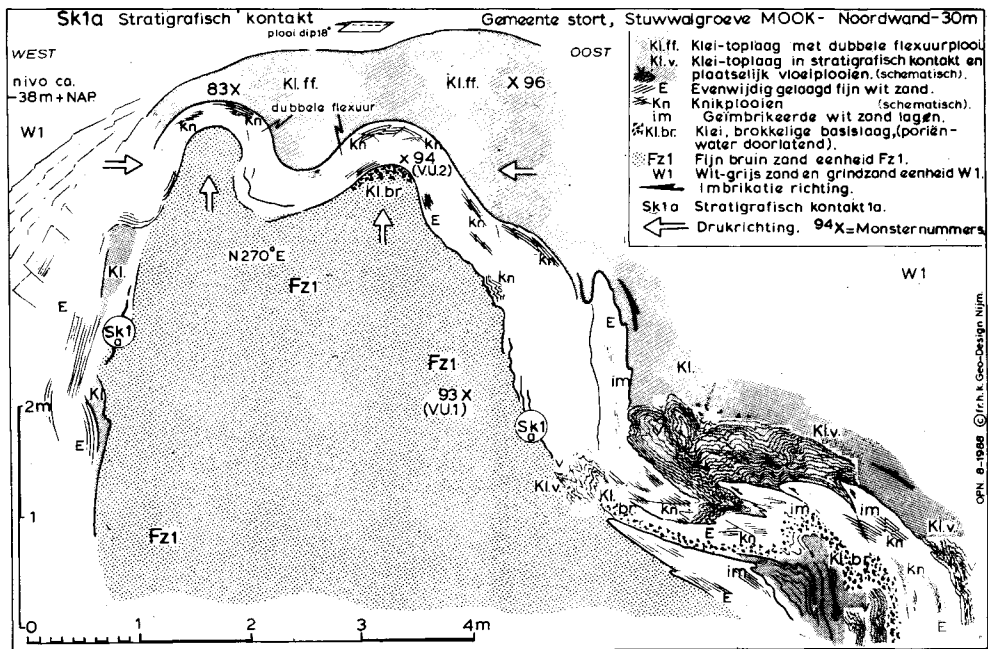


Fig. 6

men. Dit pakketje is een typisch voorbeeld van een "overschuivingszone-melange", met laaghoekig gedeformeerde lijjidelaagjes in het overschoven sediment.

HET GESTUWDE WITTE ZAND VAN MOOK, EENHEDEN W1, W2 EN W3

Algemene kenmerken en lithostratigrafie

In het Mookse noordwandprofiel is deze witte, soms wat grijsgele eenheid in al de drie overschuivingen aanwezig, en gecodeerd als eenheden W1, W2 en W3. Omdat het onzeker is of dit witte pakket tot de Formatie van Sterksel behoort, noemen wij het voorlopig "Het Gestuwde Witte Zand van Mook". De witte kleur wordt bepaald door een opmerkelijk hoog gehalte aan afgeronde kwarts. Er zijn weinig donkere mineralen, vermoedelijk zijn de vulkanische mineralen helemaal afwezig. Na een herhaald riviertransport en een intensieve verwerking werden deze inmiddels rijpe zanden en het grind in deze regio afgezet, vermoedelijk door een vrij kalm stromende, meanderende rivier. Eén paleo-stroomrichting vinden we betrouwbaar om te vermelden. De meting N 335° E geeft een stroomrichting naar noord-noordwest. Deze meting werd gedaan bij een megatrog in de top van de wand onder het 40 m merk. De witte eenheid ligt stratigrafisch ge-

zien boven op de donkerbruine fijnzandige eenheid (Fz1, Fz2 en Fz3) en wordt afgedekt door de bruine afzettingen van de eenheid U1, U2 en U3, zie figuur 4. "Het Gestuwde Witte Zand van Mook" toont een variabel pakket met een dikte van 8 tot 12 m, haaks vanaf Sk1a, Tk2 en Tk3 gemeten langs de taludhellingen.

Sedimentaire structuren

Indien het witte sediment pakket volledig aanwezig is, dan is de samenstelling ongeveer als volgt. De basis bestaat vaak uit een geulbodembodem van stenen en enkele limonietconcreties. Hierop ligt een

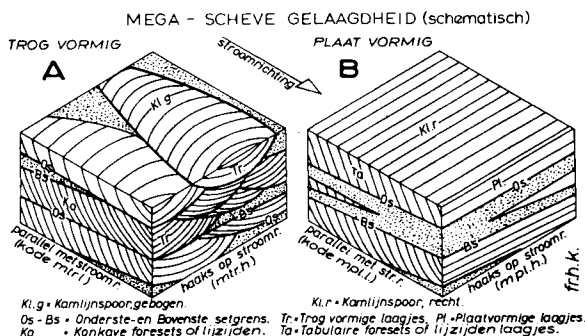


Fig. 7

set met megatrogvormig scheefgelaagd grindzand van ca. 40 tot 100 cm dikte. Hierna volgt een pakket van 5 tot 7 m dikte, bestaande uit grof tot middelfijn zand. Beddinggrenzen tonen soms grindnoeren dan wel oxidelaagjes of grijsgroene kleilaagjes. Op deze beddinggrenzen liggen megaplaatvormige sets die vermoedelijk overgaan in vlakke evenwijdige laagjes, die naar de top fijner worden tot fijnzandige evenwijdige laagjes. Vooral in dit pakket zijn secundaire breukjes en knikplooien ontwikkeld, zie figuur 13. Na het fijne pakket volgt er een nieuwe reeks met een basislaag van stenen. Meestal is deze reeks niet compleet i.v.m. het hoger gelegen stratigrafisch contact dat in de witte eenheid vaak uit een pakket trogvormig scheefgelaagd grindzand bestaat. In het totale pakket lijkt de opwaarts toenemende fijnkorreligheid een kenmerk voor een meanderend riviermilieu.

Tektonische deformaties

Door de stuwung werden veel sedimentaire structuren aanzienlijk plastisch vervormd. Plaatvormige- en vlakke sets werden gedeformeerd tot "pseudo-megatroggen", knikplooien en flexuren, zie figuur 6. Plaatselijk ontstonden uitgewalste incompetent kleilaagjes met fijne vloeiplooien, zie figuur 6. Onder de hoge druk van stijgend poriënwater veranderde een kleilaag in een passeerbare zone met een brokkelige structuur. Het poriënwater infiltreerde vervolgens in het evenwijdig gelaagd zandpakket waarbij knikplooien werden gevormd. Het poriënwater was vermoedelijk niet in staat in de hoger liggende dikkere kleilaag door te dringen, deze veranderde gedeeltelijk in een kleilaag met vloeiplooi-structuren. Onder het noordwand-gedeelte 150 m - 160 m boven Tk3, zie figuur 4, bevindt zich een aantal opschuivinkjes met een lengte van 30 cm tot 3 m. Deze breukjes liggen ongeveer parallel aan Tk3 en aan het assenvlak van de grootschalige slepplooi van overschuivingsmassa 3, zie figuur 12. Omdat het W3 gedeelte van het profiel hier geleidelijk naar het zuidoosten ombuigt worden de breukvlakken ideaal aangesneden, d.w.z. het wandprofiel staat loodrecht op de breukvlakken. Hierdoor valt de opschuivingsrichting goed te bepalen, deze is naar het zuidwesten gericht.

DE BRUINE GROFZANDIGE EN GRINDRIJKE SEDIMENTEN, EENHEDEN U1, U2 EN U3.

Algemene kenmerken en lithostratigrafie

In de noordwand van de stuwwalgroeve te Mook zijn de opvallende bruingeoxideerde grofzandige en grindrijke sedimenten aanwezig als buitenste

flank in elk van de drie overschuivingen. Ze werden gecodeerd van west naar oost als eenheid U1, U2 en U3, zie figuur 4. Oorspronkelijk behoren deze rivierafzettingen tot een omvangrijke Rijn-delta die noordelijk van de lijn Grave-Gorinchem-Den Haag werd opgebouwd tijdens het Midden-Pleistoceen, om precies te zijn vanaf het Midden-Cromerien (ca. 500.000 jaar geleden) tot in het Midden-Saalien (ca. 150.000 jaar geleden). Deze afzettingen zijn beschreven als de Formatie Van Urk. Het gestuwde "bruine pakket" in de Mookse noordwand dateert vermoedelijk uit het Elsterien. Het is geen complete formatie, vandaar dat we spreken over "de bruine eenheid uit de oorspronkelijke Formatie van Urk". De dikte van het pakket varieert van 16 tot 20 m, gemeten vanaf de stratigrafische contacten (Sk-). Deze contacten zijn tijdens de sedimentatiefase ontstaan. Ze behoren tot de meest oorspronkelijke, ooit horizontaal verlopende begrenzingen tussen twee verschillende eenheden. Aldus liggen de jongere bruine afzettingen boven op de wat oudere witte afzettingen en zijn ze onderling gescheiden door de stratigrafische contacten Sk1b, Sk2 en Sk3b. De U-eenheden bestaan uit opeenvolgende lagen van bruin geoxideerd grindzand met grof zand en sepiabruine kleiige zandlagen. Heel typerend in deze formatie zijn de afwisselende "stroken" en de rose, soms wat paarse gloed in de zandtrajecten. Dit wordt veroorzaakt door een hoog gehalte aan "Triassische Bontzandsteen" korrels, afkomstig uit het gebied van de Moezel, de Main en de Neckar. In tegenstelling tot de witte (W) eenheden is de bruine oxidatiekleur kenmerkend voor een mineralogisch onrijpe rivierafzetting. Het sediment was afkomstig uit een gebied met actieve vulkanen en breukbewegingen tijdens het ontstaan van de Rijnslenk. Het zijn vooral de vulkanische mineralen (o.a. augiet) die zich makkelijk laten ontbinden in ijzeroxide en het sediment een roestbruine kleur geven. In al de stuwwalgroeven van Berg en Dal tot Kleve komt de Formatie van Urk in gestuwde positie voor. De gletsjertong had mogelijk een zekere voorkeur voor dit grindrijke sediment met zo nu en dan dikke kleilagen die bij uitstek geschikt waren als incompetent smeerslagen tussen de elkaar overschuivende sedimentpakketten.

De sedimentaire structuren

De sedimentstructurele verschijnselen van deze U-eenheden in de Mookse noordwand zijn in te delen in 3 groepen, zie tabel in figuur 4. In groep 1 vinden we de oorspronkelijke synsedimentaire afzettingsstructuren. In groep 2 zien we de tektonische de structuren. Groep 3 vertoont post-tektonische structuren. Het indelen is soms moeilijk, zoals de eenheid U3(?) noordwandtop 130 m

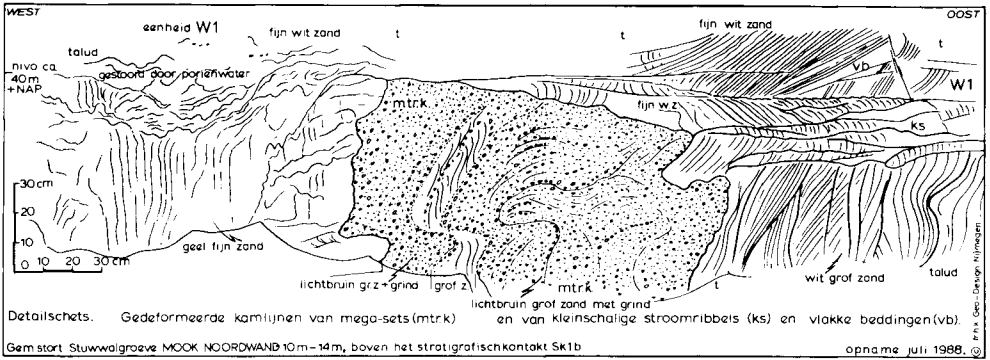


Fig.8 Eenheid W1 met gedeformeerde megasets.

- 160 m laat zien. Dit pakket ligt boven op een pakket wit grindzand (W3), gescheiden door het stratigrafisch contact Sk3b, zie figuur 9. Het stuwwal-aanzicht van U3(?) is van oost naar west 0,2 tot 5 m dik. Het bestaat uit een opeenvolgende serie van 9 megatroggen in het 5 m dikke deel. Het aanzicht lijkt een kopie van een vertikaal-evenwijdig aan de stroomrichting aangesneden recente rivierbedding. De ondergrens van de serie bestaat uit een markante laag stenen soms tot 30 cm in doorsnede. Deze stenen zijn door bevriezing hoekig verweerd en op rivierijsschollen meegedreven. Na het afsmelten van dit ijs vormden de stenen een soort rivierbodem-steenlaag. Bovenop deze steenlaag liggen 3 grofzandige megatroggen met een paleo-stroomrichting naar WZW (N 240°E). Een nieuwe laag bodemstenen doorsnijdt erosief in lijzjderichting de grofzandige megatroggen. Er volgt nu een serie van vier megatroggen van scheefgelaagd grindzand. Deze hebben meestal lijzijden van grind (3 cm -237-) en soms van grof zand. De relaties tussen de zo-

genaamde "topset, foreset (lijzijde) en bottomset" -laagjes zijn aanwezig. Het totale pakket wordt aldus vanaf de basis naar de top grover tot zeer grindrijk. Fennoscandinavische gesteenten waren niet aanwezig in dit grind van Rijn en Maas. Het afzettingmilieu lijkt o.i. op een vlechtende stroomgeul met periodiek hoog water met een sterke stroom, waarbij de grindige lijzjelaagjes werden afgezet in de vorm van rivierbankdelta's. Deze delta's vielen vaak droog nadat het laatste restje stromend water de zandige lijzjelaagjes over het grind had afgezet. Het heeft ons verbaasd dat dit U3(?)-pakket zo goed is bewaard op een hoogte van ca. 50 m + NAP, na een horizontaal transport van misschien meer dan 1 km, met daarbij een verticale opheffing van ca. 70 m. Immers de Formatie van Urk ligt in deze regio ongestuwd op een diepte van ca. 15 m -NAP. Daarom achten wij het zeker niet uitgesloten dat deze U3(?) afzettingen syntectonisch zijn ontstaan hoog op de in aanbouw zijnde stuwwal, tijdens hevige gletsjersmeltwaterlozin-

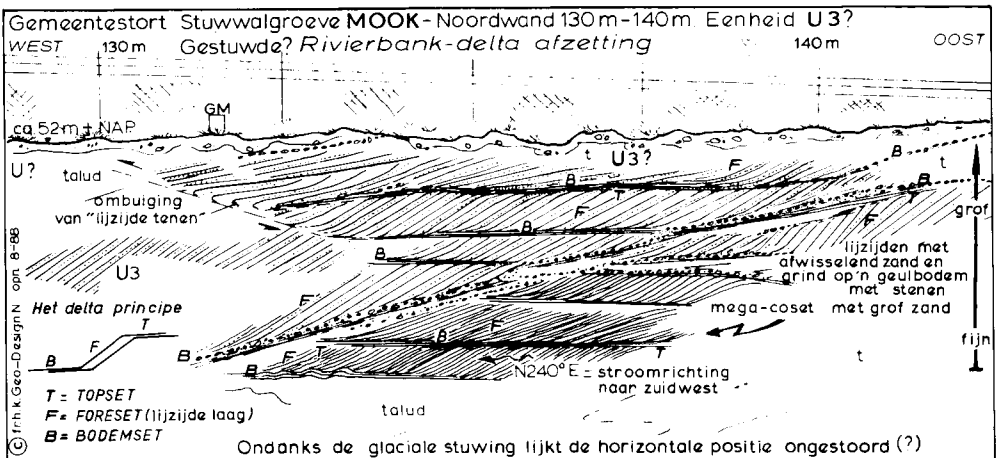


Fig. 9

gen over de stuwwal in de richting van een sandr-apex. In dat geval hoort het pakket tot de glacio-fluviale afzettingen uit de Formatie van Drente. Enige verwantschap met deze U3(?) - eenheid lijkt aanwezig aan de noordwand basis onder 0 m - 20 m, eenheid U1. Deze eenheid is vermoedelijk door stuwung en latere relaxatie intensief vervormd. Meer onderling verwant zijn de plooiflanken van eenheid U1- en U2 onder Tk2 en Tk3, met hun "Rinnenschotter" aanzien. Deze U1- en U2 afzettingen bestaan uit lange stroken grindzand, soms meer dan 1 m dik, afgewisseld door stroken bruin grof zand van 10 tot soms 40 cm dikte, met dunne toplagen van sepiabruine kleiige zandlagen. Trogvormige grindsoeren in deze grofzand stroken markeren de oorspronkelijke geulafzetting. Imbricatie van plat grind duidt mogelijk nog op een paleo-stroomrichting. De algehele sedimentaire configuratie van deze strookvormige eenheden, zijn moeilijk te interpreteren in termen van een paleo-afzettingmilieu.

Tektonische deformaties

De dagzomende U1- en U2- flanken tonen meer "posttektonische" vervormingen dan primaire syntektonische verschijnselen die tijdens de stuwung zijn ontstaan. Een uitzondering vormen de tektonische contacten (Tk2 en Tk3). In deze overschuivingszones zijn soms mega-lijzidelaagjes aanwezig die plastisch gedeformeerd zijn tot zogenaamde "low-angle shearplanes" (flauw hellende schuifvlakken), zie figuur 10. In het fijnkorrelige overschuivingszone-kleizand van eenheid Fz2 op het Tk2-contact zijn zo nu en dan omgebogen lenzen van zeer grof zand of grind en mangaan opgenomen die uit een andere eenheid afkomstig zijn. Het is een typische overschui-

vingzone mélange. Posttektonische verschijnselen zijn aanwezig in de noordwandtop 90 m - 120 m eenheid U2, zie figuur 11. Ze zijn ontstaan tijdens de afnemende druk van het gletsjerijs vanuit het Groesbeekse Tongbekken. Tijdens deze fase was de stuwung door het terugtrekkende ijs instabiel geworden. Dit had tot gevolg dat vooral de hoogste delen van de stuwung onder hun eigen gewicht bezweken. Onder deze omstandigheden zijn de grindzand-, grof zand- en kleilaagstroken ingezakt tot disharmonische plooien en kleine afschuivingen die geen relatie meer hebben met de overschuivingsrichting. In dit stadium van posttektonische deformatie is vermoedelijk ook de glaciotektonische breccie ontstaan (U3-?) onder het 120 m merk. Sporen van ooit bevroren ijszandsteen ontbreken hier omdat er geen direkt ijscontact is geweest. Het gebrek aan enige sedimentaire samenhang veroorzaakt hier veel talud. Soms zijn er relatief grote breuken zichtbaar waarvan de belangrijkste meest westelijk liggende afschuivingsbreuk een diprichting heeft van N 060° E en een hellingshoek van 80° (060/80). Het breukvlak steekt hier in de profielwand in een richting van ca. NW naar ZO.

DE MOGELIJKE RELATIES TUSSEN DE RECENTE EN VROEGERE WAARNEMINGEN

De recente waarnemingen in de groeve te Mook (1988) willen we compileren met verschijnselen die reeds eerder werden aangetroffen en opgetekend. In het kort samengevat:

- a) De overschuivingsploop 1 in de noordwand onder 0 m -70 m heeft vrijwel dezelfde amplitude en sedimentsamenstelling als de "Eik-ploopi" (1983), profiel E-E'. Ook hier lag het

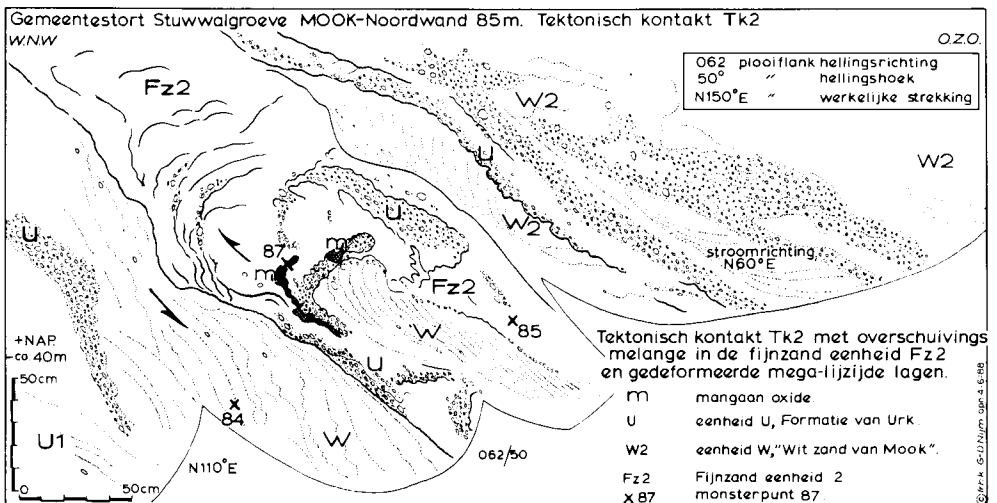


Fig. 10

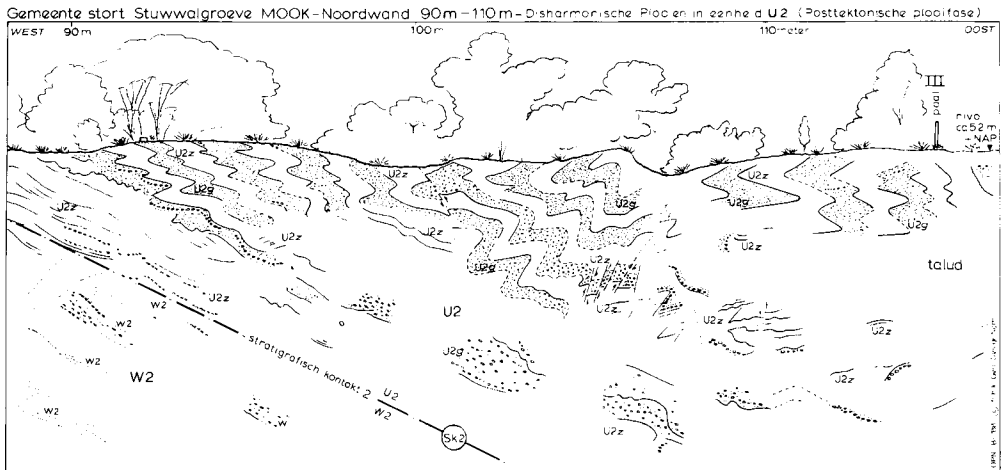


Fig. 11

- "Witte Zand van Mook" onder de bruine eenheid U1, met een identieke plooi vorm. Ze behoren samen tot één groot asymmetrisch overkript plooisysteem, met een iets concave plooi as in de richting NNW naar ZZO. Dit plooisysteem is in de omgeving van deze groeve het laatste grootschalige tektonische fenomeen dat in zuidwestelijke richting naar de diepte toe uitdooft. Daar liggen de sedimenten weer in een normale, horizontale positie als ongestuwd sedimentpakket op een diepte van ca. 15 tot 20 m -NAP.
- b) De neerwaartse plooi flanken van de noordwand 0 m -10 m en de Eikplooi 50 m - 60 m vormen een Midden-Saalien faciesgrens die deze groeve a.h.w. in tweeën deelt, zie figuur 1. Oostelijk van deze grens vinden we glacio-tektonische verschijnselen en westelijk vinden we soms secundair gestuwde smeltwaterafzettingen, b.v. Sandr-S (opname aug. 1982), alsmede een smeltwater afvoersysteem dat in de latere stuwingsfase B) door horizontale opschuivingen veranderde in "zigzag" structuren, b.v. wand-Z (opname febr. 1986). Tenslotte profielwand L-L' (opname nov. 1983) bestaande uit een ongestuwde symmetrisch-geulvormige smeltwatermeer afzetting van ca. 50 m breed en ruim 7 m diep (lacustroglaciaal).
- c) Het hoofdschuifvlak (décollement) waarover de eenheden Fz1, W1 en U1 als één gezamenlijke massa zijn opgeschoven, ligt in de groeve te Mook vrijwel zeker op een diepte van ca. 10 - 15 m -NAP. Het behoort tot de kleihoudende toplaag van de Formatie van Tegelen.
- d) Aan de Groesbeekseweg, 1 km NO van de Gemeentestortgroeve ligt de wat kleinere stuwwalgroeve Van Kesteren. Er wordt hier sinds 1983 niet meer gegraven. De enige waarneming, gedaan in juni 1982, betreft een profielwand met verticaal gestuwde eenheden bestaande uit 4 sets van megatrogvormig donkerbruin grindzand (eenheid U) elk ca. 70 cm tot 100 cm dik. In afwisseling met 5 sets met het "Witte Zand van Mook", eveneens 70 cm tot 200 cm dik. Vergeleken met de eenheden in de Gemeentestort-groeve waren deze eenheden gereduceerd tot zeer dunne sedimentpakketten. Het afgegraven niveau bedroeg ca. 60 m + NAP.
- e) Eenheden uit de Formatie van Twente Helling Periglaciale afzettingen (Tw 5):
- In het Mookse Noordwandprofiel onder het 40 m- merk ligt aan de top een ongestuwde geul van ruim 12 m breed en 3 m diep. Deze geul is opgevuld met ongesorteerd grind en stenen in een "moddergrijze" zandmatrix. Soms is er een Fennoscandinavische zwerfsteen aanwezig. Er is geen duidelijke imbricatie van alle platte stenen naar één bepaalde richting. De zandmatrix vertoont lobvormige sporen die wellicht duiden op een visceuze modderstroom of misschien op gelifluctie. De geul ligt in een horizontaal vlak, hoekdiscordant met de onderliggende bruine gestuwde U1 eenheid. De geul markeert het niveau van periglaciale stuwwalerosie tijdens de laatste ijstijd, het Weichselien. De Groesbeekseweg ligt overigens nog dieper ingesneden (42 m +NAP) en was aanvankelijk wellicht een

"sandr-apex" (Formatie van Drente). Tijdens de laatste ijstijd kreeg dit pas de vorm van een "droogdal".

- f) Het erosie- en denudatieproces begon gelijktijdig met het ontstaan van de stuwwal (syntektonisch). Aangewakkerd door grote hoeveelheden vrijgekomen gletsjerijsmeltwater werd de jonge stuwwal aan alle kanten erosief beïnvloed. Uit onze ruimtelijke reconstructie blijkt dat er ruim 15 m stuwalmateriaal is verdwenen in de richting van de spoelzandwaaier, dat is ca. 20% van het totale gestuwde pakket van ca. 75 m, zie figuur 4. In dit percentage is eveneens meeberekend het stuwalmateriaal dat gedurende de laatste ijstijd, het Weichselien, door afvlakking is verdwenen. Het is onze plicht er op te wijzen dat ook zonder een ijstijd deze erosieprocessen opnieuw te activeren zijn in deze regio met stuwwalhellingbossen, indien het bos en de bodemvegetatie door welke milieuramp dan ook dreigt te verdwijnen.

Structurele opbouw te Mook

In het ontsloten stukje stuwwal bij Mook zijn twee grote tektonische contacten, thrusts, ontslo-

ten. Ze zijn van west naar oost gaande als TK2 en TK3 genummerd, zie figuur 4, 10 en 12. Langs deze thrusts hebben de grote overschuivingsbewegingen plaatsgevonden. Het gesteentepakket tussen de thrusts, de thrustsheet, is alleen goed ontsloten tussen de contacten TK2 en TK3. De thrustsheet boven contact TK3 is gedeeltelijk ontsloten. Beide thrustsheets worden gekenmerkt door een grote plooistruktuur, een overschuivingsplooï. De thrusts worden gekenmerkt door sterke deformatie in het bovenliggende, overschuivende, pakket. Zo wordt contact TK2 gekenmerkt door sterke deformatie van klei/leem, met uitgetrokken schuifplooïtjes en contact TK3 door gedeformeerde sedimentaire structuren (vervormde cross-bedding), figuur 12. De hellingshoek van de thrusts neemt van west naar oost gaande af, TK2 helt ongeveer 50° en TK3 ca. 30° (gemeten langs de onderrand van de ontsluiting). De hellingsrichting van het thrustvlak verandert langs het contact TK2 van boven naar beneden gaande van bijna oost naar bijna oost-noordoost.

Standen van de thrustvlakken:

	boven	beneden
TK2:	084/50	---062/50
TK3:		040/28

Gem stort Stuwwalgroeve MOOK-Noordwand-145m, Overschuiving TK3

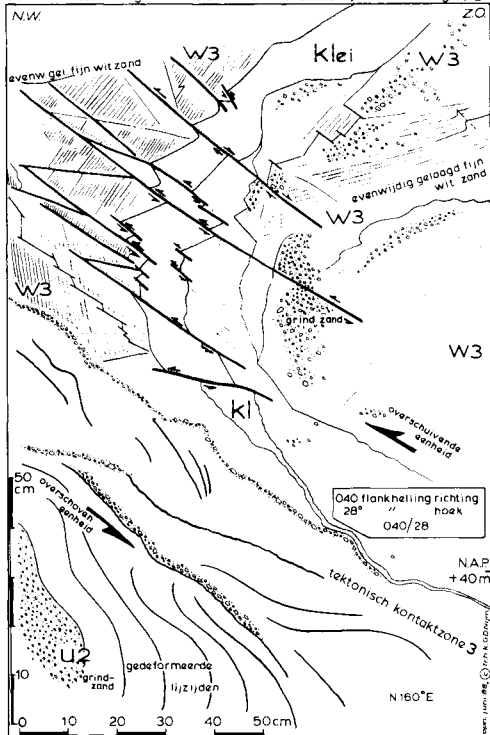


Fig. 12

(N.B.: De notatie die hier gebruikt wordt is als volgt gedefinieerd: hellingsrichting/helling, met helling gedefinieerd als de maximale hoek tussen het horizontale vlak en het te meten vlak en hellingsrichting gedefinieerd als de richting van de helling op de windroos. Dus b.v. 084/50 betekent dat het vlak 50° helt in oostelijke richting, 040/28 betekent dat het vlak, 28° helt in noord-oostelijke richting). Geometrisch betekent dit dat de thrustvlakken drie-dimensionale lepelvormige krommen zijn, met hun holle kant gekeerd naar het noordoosten. De horizontale aansnede van deze krommen komt overeen met de morfologische kromming daar ter plaatse. De stratigrafische dikte van de thrustsheet tussen de contacten TK2 en TK3 bedraagt ca. 30 m. Zowel het systematisch afnemen van de helling van de thrusts, als het afnemen van de amplitude van de overschuivingsplooïen gaande van west naar oost, duidt erop dat de deformatie-intensiteit en dus ook de verplaatsings-intensiteit, toeneemt van west naar oost gaande: contact Tk2 heeft meer het karakter van een opschuiving, contact TK3 heeft het karakter van een low-angle thrustplane. Dit alles betekent, dat de ontsluiting te Mook, structureel-geologisch gezien, aan de buitenrand van de stuwwal ligt, in de uitdovingszone van de deformatie. Dit komt overeen met de morfologische situering van de groeve Mook. Door competentieverschillen tussen de klei-rijke en de klei-

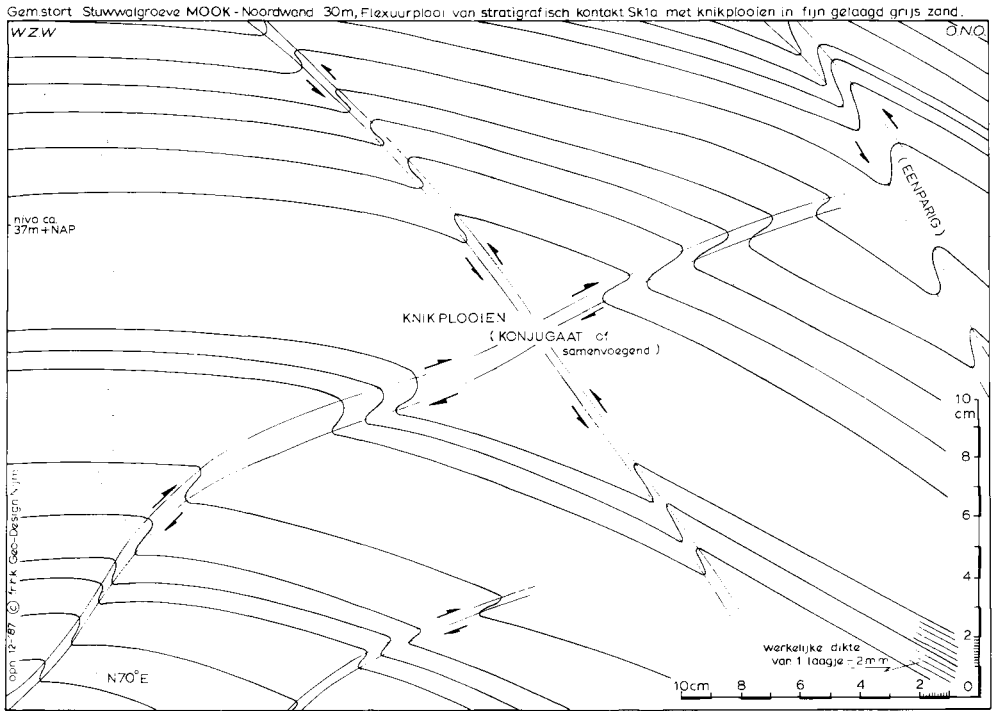


Fig. 13 Detail van de kinkbands.

arme gesteenten komen ook op dm- en cm-schaal plooistrukturen voor. Deze zijn vooral ontwikkeld in de plooi onder de eerste thrustsheet, zie figuur 6. Tevens komen, in de leembanken van deze plooi, vloeistrukturen voor. Deze zijn ontstaan tijdens de overschuivingsfase van de stuwwalvorming in klei-rijke gesteenten door (over-) verzadiging met poriënwater. Deze structuren zijn gekenmerkt door een onregelmatig gevormde banding op cm-schaal. Dwars door alle hierboven beschreven structuren lopen structuren met een semi-bros karakter. Het betreft hier opschuivingen, met een verzet van enkele cm's tot enkele meters, schuifzones en kinkbands. Deze laatste zijn ontwikkeld in fijnkorrelige zanden, de schuifzones in klei-rijke sedimenten en de opschuivingen in grofkorrelige gesteenten. Al deze structuren komen in conjugate sets voor. Overgangen tussen de verschillende structuren komen veelvuldig voor: een zelfde bewegingszone wordt in de klei-rijke gesteenten gekarakteriseerd door een schuifzone, in de fijnkorrelige zanden door een kinkband en in de grofkorrelige zanden door een opschuivings-breukje. Het feit dat deze structuren de structuren behorende bij de thrusts doorsnijden geeft aan dat eerstgenoemden jonger zijn. Bovendien wijken elkaars standen af en komen de hierboven besproken structuren in tegenstelling tot de bij de thrusts behorende structuren

in conjugate sets voor, wat aangeeft dat we met twee aparte groepen structuren te maken hebben. Als laatste structuren komen afschuivingen en vlakliggende disharmonische plooien voor, zie figuur 11. De afschuivingen hebben een verzet van enkele centimeters en komen lokaal in sets voor. De vlakliggende plooien hebben een amplitude van ongeveer een halve meter en een open tot dichte vorm. De assenvlakken van de plooien zijn weliswaar over het algemeen vlakliggend, maar de standen variëren toch aanzienlijk. Samen met de afschuivingen moeten ze gerekend worden tot de relaxatiestructuren van de stuwwal, dat wil zeggen dat ze ontstaan zijn in de posttektonische fase toen de gletsjer zich terugtrok. Door dit terugtrekken ontstond er een ruimte-overschot, dat teniet gedaan werd door het inzakken van de pas gevormde stuwwal. Dit inzakken gebeurde d.m.v. de vorming van afschuivingen en vlakliggende disharmonische plooien. Een andere aanwijzing dat deze structuren als posttektonisch beschouwd moeten worden is het feit dat lokaal verplooiing van de eerder genoemde opschuivingsbreukjes en schuifzones is waargenomen.

CONCLUSIE

Samenvattend kan, op basis van de gegevens in

de Gemeentestortgroeve te Mook, de volgende ontstaansgeschiedenis voor de stuwwal bij Mook gegeven worden:

Primaire fase A) thrusting: het vormen van de thrustsheets en de overschuivingsplooien, de thrusting vond plaats vanuit een noordoostelijke richting (vanuit het glacialetongbekken van Groesbeek).

Secundaire fase B) opschuiving: het vormen van de opschuivinkjes, kinkbands en schuifzones onder invloed van een ongeveer oost-west gerichte samen-drukking.

fase C) relaxatie: het vormen van afschuivingsets en vlakliggende plooien door middel van een ongeveer oost-west gerichte rek.

De fasen A) en C) zijn vrij eenvoudig in een model te plaatsen als het respectievelijk oprukken en weer terugtrekken van een gletsjerlob in het glacialetongbekken van Groesbeek. Fase B) geeft een probleem omdat deze geen structurele vergentie (richting van deformatie) heeft. Gezien het (semi-) broze karakter van deze fase, moet de ontwikkeling van de stuwwal al ver gevorderd zijn geweest, immers de beginfase van stuwwalvorming te Mook wordt voornamelijk gekenmerkt door grootschalige plastische deformatie (het vormen van thrusts en overschuivingsplooien). Verder is de verplaatsing langs de diverse structuren van de fase B) minimaal. Wellicht moet gedacht worden aan een tijdelijk oprukken van de gletsjer, waarbij misschien een gedeelte van de stuwwal in meer oostelijke richting is overreden. Tijdens deze oprukkingsfase zat de stuwwal de gletsjer in de weg, zodat deze onder druk kwam te staan, maar deze druk was niet groot genoeg om wederom thrusts te vormen. Bovendien was de stuwwal inmiddels zo groot geworden dat deze sterk genoeg was om de druk te weerstaan, m.a.w. de stuwwal drukte net zo hard terug. Hierdoor konden vergenteloze structuren ontstaan. Als dit de juiste verklaring is voor het bestaan van de deformatiefase B), dan is hij uitstekend te correleren met de deformatiefasen zoals deze opgesteld zijn voor Midden-Nederland door Maarleveld (1981). Zijn mening is dat de oostelijke kant van de stuwwal van Berg en Dal jonger is dan de westelijke kant. De groeve Mook ligt op de westelijke helft. De deformatie fase B) zoals deze zichtbaar is in de groeve Mook zou dan te maken kunnen hebben met de vorming

van de oostelijke helft van de stuwwal te Berg en Dal en Wyler. Uit gegevens van andere onderzoekers is komen vast te staan dat de in stuwwallen aanwezige thrustsheets één décollement (basale overschuivingslaag) hebben, welke meestal bestaat uit kleirijke gesteenten (zie b.v. Van der Wateren, 1981, 1985). In het najaar van 1988 verrichtte de Rijks Geologische Dienst een boring in de groeve te Mook. Op ca. 45 m diepte beneden het maaiveld trof men een dik kleipakket aan dat vermoedelijk tot de Formatie van Tegelen behoort. Met een aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid kunnen we zeggen dat dit décollement is waarover de thrustsheets van deze stuwwal tussen Groesbeek en Mook geschoven zijn.

TENSLOTTE

Tijdens de maximale Saale-ijsbedekking 150.000 jaar geleden lag het zeeniveau op ca. 140 m - NAP. Gedurende het Eemieninterglaciaal ca. 130.000 jaar geleden lag het zeeniveau enige meters boven het huidige NAP. De gletsjers hadden zich teruggetrokken tot in Scandinavië. Hiermee was een einde gekomen aan een van de meest ingrijpende gebeurtenissen in de Nederlandse Kwartair-geologische geschiedenis, figuur 14 a, b, c en d.

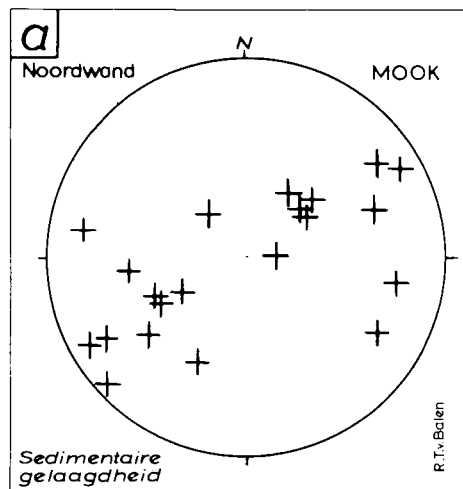


Fig. 14 a: Plot van de polen van de standen van de sedimentaire gelaagdheid. De plot laat grofweg een grootcirkel-verdeling zien. Deze verdeling is te wijten aan de vorming van de overschuivingsplooien waarbij de sedimentaire gelaagdheid verplooid werd: de gelaagdheid werd geroteerd om een noordnoordwest verloopende as, waaruit volgt dat de thrusting heeft plaatsgevonden vanuit een noordoostelijke richting. Tevens is de verstoring zichtbaar tengevolge van de latere fasen: de grootcirkel verdeling is herverdeeld om een ongeveer noord-zuid verloopende as, dit betekent dat de latere fasen een oost-west richting hadden.

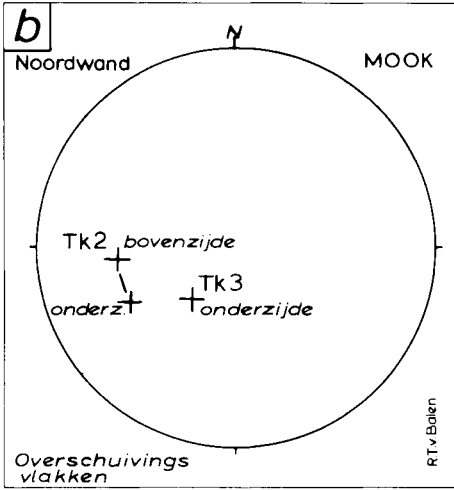


Fig. 14 b: Plot van de polen van de standen van de thrust-vlakken: II en III zijn de thrusts TK2 en TK3. Het thrustvlak TK2 laat zien dat de diprichting van boven naar beneden gaande verandert van een oostelijke richting in een meer noordelijke richting; voor de betekenis hiervan zie de tekst. Tevens is zichtbaar dat de helling verandert per thrustvlak, TK2 helt het steilste, TK3 helt minder steil. Ook is te zien dat de hellingsrichtingen van TK2 en TK3 van elkaar afwijken. Dit betekent dat de thrustsheets in het horizontale vlak niet evenwijdig lopen. Dit komt overeen met de conclusies die getrokken kunnen worden uit de gegevens afkomstig uit de eermalige oostwand van de groeve, gecombineerd met de gegevens van de huidige noordwand.

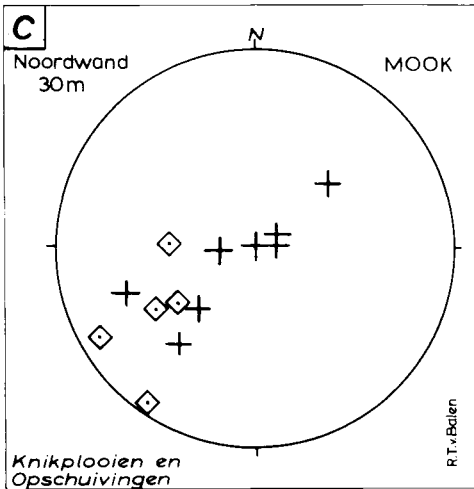


Fig. 14 c: Plot van de polen van de gemeten kinkbands (plusjes) en opschuivinkjes (ruitjes). De plot laat zien dat de structuren dezelfde richting hebben. Dat de geploette data geen mooie clusterverdeling hebben is deels te wijten aan het feit dat de structuren voorkomen in conjugate sets, en deels aan de herverdeling van oriëntaties door de latere relaxatie-deformatie.

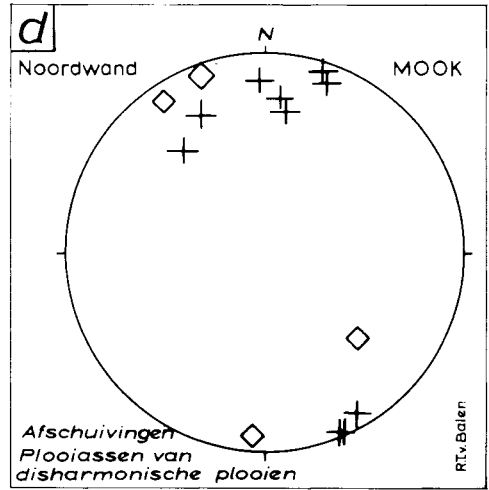


Fig. 14 d: Plot van de plooiassen van de disharmonische plooien (plusjes) en de polen van de standen van de afschuivingen (ruitjes). De plooiassen hebben ongeveer noord-zuid oriëntaties, dit betekent dat de verlenging van de stuwwal t.g.v. de disharmonische plooien in oost-west richting heeft plaatsgevonden. De afschuivingen staan overwegend steil met een oost-west strekking. Hieruit volgt dat de verlenging van de stuwwal t.g.v. de afschuivingen in noord-zuid richting plaatsvond.

De auteurs beogen met deze bijdrage dat de geologische belangstelling wordt gestimuleerd voor Nederlands meest zuidelijk gelegen stuwvallengebied en dat de educatieve waarde ervan aangetoond zal worden. Tevens hopen wij met ons werkstuk de belangstelling voor de structurele-geologie en de sedimentologie te stimuleren, vooral voor de sectoren onderwijs, milieugroepen en amateurgeologen. Als laatste proberen wij voldoende materiaal te verzorgen m.b.t. het plan om een plaatselijk Geologisch Natuurmonument in te richten, in samenwerking met de Gemeente Mook, de Rijks Geologische Dienst, het Rijks Instituut voor Natuurbeheer en het raadgevend adviesburo Grontmij Limburg.

ABSTRACT

In the central, northern and eastern parts of the Netherlands icepushed ridges were formed during the Saalian glaciation. This article gives a description of an E-W section in a sand pit in the most southern ridge (near the German border), in the neighbourhood of the village Mook (10 km south of Nijmegen). In this section three tectonic units are distinguished, the most western as an

AANZICHT OP HET STUWWALLEN COMPLEX BIJ MOOK

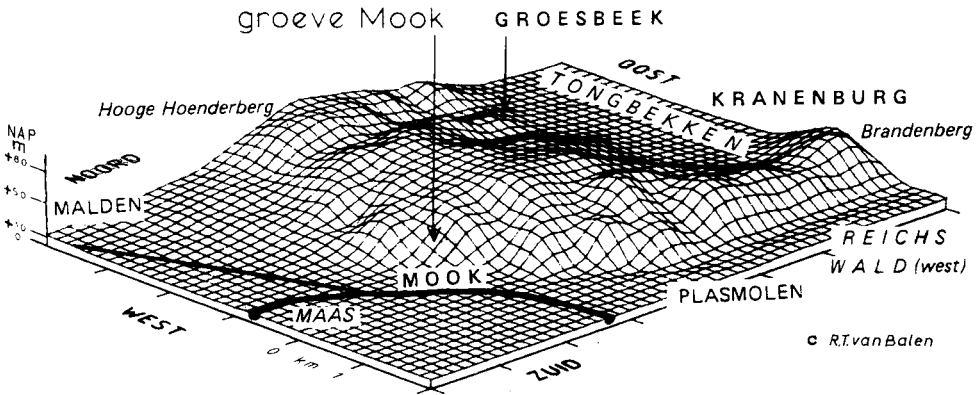


Fig. 15 Blokdiagram van Mook en omgeving. Het blokdiagram beslaat een oppervlakte van 48 km² (6 x 8 km). De verticale overdrijving is 10 x.

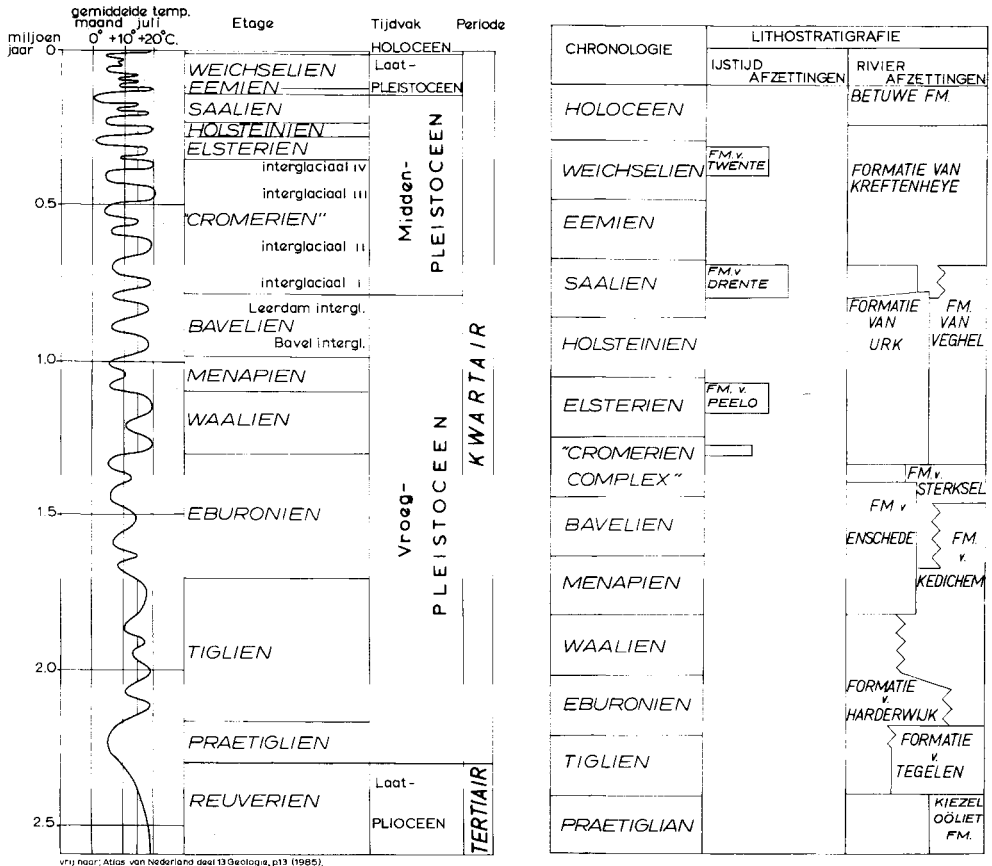


Fig. 16

anticline, the middle as a steep dipping thrustsheet and the most eastern as a weak dipping thrustsheet. In the tectonic units three stratigraphic units are distinguished, from top to bottom these are: U-unit: (Formatie van Urk, Elsterian) consisting of brown coarse sands with abundant gravel and brownish clay. The sands contain augite and pinkish Triassic red sandstone grains, thickness 16-20 m. W-unit: very white sands, with relatively much well rounded quartz grains, thickness 8-12 m. Fz-unit: fine grained, dark brown sands, thickness 2-3 m. All these unconsolidated units were formed by the Pleistocene Rhine and Meuse rivers. Three tectonic phases are distinguished, which are all due to the formation of the pushed ridge, from old to young these are:

phase A: thrusting; formation of thrustsheets and anticline.

phase B: formation of kinkbands, small reverse faults and shearzones, all occurring in conjugate sets.

phase C: normal faulting and the formation of recumbent folds.

Phase A corresponds to the advance of a glacier,

phase B probably to a second advance and phase C to the final retreat of the glacier. A description of the paleo-geography of the region of Mook is given as well.

DANKWOORD

Wij zijn dank verschuldigd aan: Drs. G.H.J. Ruegg, Rijks Geologische Dienst te Haarlem, voor zijn waardevolle kritiek op het veldwerkverslag van sept. 1988. J.D.A.M. van Wees, collega student-geologie, voor het beschikbaar stellen van computerprogramma's om de plots en blokdiagrammen te kunnen tekenen. Dr. J.J.M. van der Meer, Universiteit van Amsterdam, Fysisch-Geografisch Instituut, voor nuttige suggesties. Medewerkers van het Aardwetenschappelijk Instituut van de Vrije Universiteit Amsterdam: Drs. Th.B.Roep, voor zijn constructieve bijdragen. Dr. L. Krook, voor het beschikbaar stellen van de resultaten van het zware mineralen onderzoek. De doka-medewerkers van de afdeling Biologie voor het prepareren van de profielfoto. T.G.M. van Kempen, voor het kritisch doornemen van de tekst.

LITERATUUR

- BERG, M. W. VAN DEN & D.J. BEETS, 1987: Saalien glacial deposits and morphology in The Netherlands. In: *Tills and glaciotectonics. Proc. of an INQUA symp. on genesis and lithology of glacial deposits*, Amsterdam, 1986, by J.J.M. van der Meer (ed.), Balkema, Rotterdam, p. 235-251.
- BLESS, M., 1962: Het gemengde Pleistoceen rond Nijmegen en zijn mogelijkheden voor verzamelaars. *Grondboor en Hamer*, pp. 11-17.
- DRIESSEN, M., 1985: Een Geologische, Bodemkundige en Floristische Analyse van een gebied bij Mook (L.). *Natura*, K.N.N.V., jrg. 82, no.10, pp. 288-295.
- HOFLAND, L.H., 1962: *Glaciale Stuwung*. Grondboor en Hamer, pp. 70-139.
- KIEVITS, Fr.H., in voorbereiding: *Het Rijk van Nijmegen Gedurende de Saale IJstijd*.
- LORIE, J., 1887: *Beschouwingen over het Diluvium van Nederland*. Tijdschrift v.h. Nederl. Aardr. Gen., 2e serie, deel IV, Amsterdam.
- LIJN, P. van der, 1974: *Het Keien Boek*. (bewerkt door G.J. Boeschoten). Thieme, Zutphen.
- MAARLEVELD, G.C., 1956: Grindhoudende Midden-Pleistocene sedimenten. *Diss. Utrecht en Meded. Geol. St.*, c-6, 6, pp. 1-105.
- MAARLEVELD, G.C., 1981: The sequence of icepushing in the central Netherlands. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst*
- NIXON, H.H. & J.L. NIXON, 1980: *Glaciers - Nature's Frozen Rivers*. Dodd, Mead & Company, New York.
- RUEGG, G.H.J., 1977: Features of Middle Pleistocene sandur deposits in The Netherlands. *Geologie en Mijnbouw*, 56, pp. 5-24.
- RUEGG, G.H.J., 1983: Glaciofluvial and glaciolacustrine deposits in The Netherlands. In J. Ehlers (ed.): *Glacial deposits in North-West Europe*, pp. 379-392, Balkema, Rotterdam.
- TESCH, P., 1915: Toelichting bij de Geologische kaart van het Rijk van Nijmegen, met aangrenzend gebied. *Tijds. v.h. Konink. Ned. Aardr. Gen.*, pp. 569-574.
- THOME, K.N., 1959: *Das Inlandeis am Niederrhein*. *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.*, 4 s., pp. 197-246, Krefeld.
- VERBRAECK, A., 1984: Toelichtingen bij de geologische kaart van Nederland, 1:50.000, Blad Tiel West (39W) en Blad Tiel Oost (39O). *Rijks Geologische Dienst, Haarlem*.
- WATEREN, F.M. VAN DER, 1981: *Glacial tectonics at the Kwinteloijen sandpit, Rhenen, The Netherlands*. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst* 35, pp. 252-268.
- ZAGWIJN, W.H., 1975: De paleogeografische ontwikkeling van Nederland in de laatste drie miljoen jaar. *K.N.A.G. Geografisch Tijdschrift IX* nr.3, pp. 181-201.
- ZAGWIJN, W.H. en C.J. VAN STAALDUINEN (eds), 1975: *Toelichting bij de geologische overzichtskaarten van Nederland*. *Rijks Geologische Dienst, Haarlem*.
- ZONNEVELD, J.I.S., 1947: *Het Kwartair van het Peelgebied en naaste omgeving*. *Meded. Geol. St.*, s. C-VI-no.3, pp. 1-223.
- ZONNEVELD, J.I.S., 1958: *Litho-stratigrafische eenheden in het Nederlandse Pleistoceen*. *Meded. Geol. St.*, n.s., no. 12, pp. 31-64.