

OVER HET GLETSJER — STUWWALLEN — COMPLEX LANGS DE IJSSELVALLEI

C.J. Homburg *

INLEIDING

Dit artikel is voortgekomen uit de voorbereiding van het stuk over een wand van een groeve in de stuwwal in het jubileumnummer van Grondboor en Hamer, oktober 1986. Het is aan te bevelen dat artikel door te nemen alvorens verder te lezen. Verschillende punten uit dat artikel worden hier genoemd, echter zonder de aldaar gegeven uitleg. In dat stuk is uitgegaan van de opvatting dat de stuwwal bij Hattem is ontstaan door de verticale druk die door een ijstong op de sedimentaire laagpakketten werd uitgeoefend, waardoor deze lateraal, d.w.z. in zijdelingse richting werden verplaatst.

De ijstong in het IJsseldal-gebied - waartoe we ons in dit artikel beperken - had vermoedelijk een breedte van ongeveer 23 km en een hoogte van ± 450 meter.

Er worden hier een aantal gegevens bijeengebracht om deze opvatting te onderbouwen; tevens wordt een mogelijke verklaring gegeven voor de verschillen die er tussen de diverse stuwwallen zijn.

KORTE HISTORIE

De eerste publicatie over landijs in onze streken is vermoedelijk een artikel van ESMARCH uit 1824, waarin vermeld wordt dat 'landijs zelfs tot in Duitsland is doorgedrongen'. In 1835 schrijft LYELL de 'vader van de ijsijdtheorie' over de grote ijskap.

Het boek 'Great Ice Age' van J. GEIKIE uit 1874 heeft aan deze theorie algemene bekendheid gegeven. VAN CALCAR paste in 1881 de ijsijdtheorie op Nederland toe, terwijl LORIE hier sedert 1885 over publiceerde.

Hoewel de ijsijden, speciaal het Saalien (= Riss), de aandacht bleven trekken, was een bezoek van vier weken van de duitse geoloog KEILHACK aan ons land extra stimulerend. Met actieve medewerking van TESCH en HUFFNAGEL

(beide Rijks Geologische Dienst) werd het gebied tussen Amsterdam en de duitse grens en, vanaf deze lijn, tot aan de belgische grens bekeken. De resultaten publiceerde hij in 1915. In de navolgende jaren verschenen meerdere artikelen, vooral vanuit de RGD waarbij TESCH op de voorgrond trad.

De belangstelling breidde zich uit tot de oorlog '40-'45. Na afloop van dit 'hiaat' werden, vooral tussen 1946 en 1970 een groot aantal onderzoeken gepubliceerd. Deze betroffen onder meer het aantal stuwwallen en eind-morenen, hun vorming en de volgorde van hun ontstaan. Ook trachtte men door zwerfsteentellingen, o.a. volgens de methode van HESEMANN, een indruk te krijgen van de richtingen en de afgelegde wegen van de gletsjermassa's. Hieraan hebben ook diverse leden van de NGV hun steentje bijgedragen; enkelen doen dat nog, o.a. de heer P. SCHUDEBEURS.

Voor de oorlog waren, vooral vanuit Wageningen, sediment-petrologische analysemethoden ontwikkeld voor het onderzoek van het losse gesteente, waaronder men de niet-verharde zanden en kleien verstaat, waaraan ons land zo rijk is. Hierbij kijkt men onder meer naar de verdeling van de verschillende grootte-klassen van de korrels, hun hoekigheid of ze meer of minder zijn afgerond, de mineralen-samenstelling (kwarts, veldspaat, glimmer en andere), de soorten van kwarts (opaal, melk-kwarts, vuursteen) enz. Deze methodieken werden verfijnd, onder meer door ZANDSTRA (RGD) die het niet alleen toepaste op de gewone afzettingen (door wind, zee of rivieren afgezet), maar ook op de keileem. De verfijning van deze methoden was dringend nodig omdat de meeste afzettingen geen fossielen bevatten, zodat tijdsbepaling en correlatie zeer moeilijk is. Een uitzondering hierop maakt het pollenonderzoek (beperkt tot rivierklei en veenlagen) en in enige mate het zoogdiermateriaal (botten en tanden). Eén der verfijningen betrof de bestudering van de samenstelling van de zware-mineralen-fractie.

* Tarwekamp 4, 1112 HD Diemen

FRAGMENTEN UIT EERDERE PUBLICATIES

BOERMAN (1919): 'Een puinwaaier van Maas- en Rijnafzettingen (zuidelijk rivierdiluvium (= Urk) was bij het naderen van het landijs weer doorsneden, o.a. door het dal van de Geldersche IJssel en de Geldersche Vallei. Ofschoon het hoogteverschil betrekkelijk gering zal zijn geweest, was toch in de dalen door grotere dikte en dus grotere plasticiteit de snelheid van het ijs het grootst en boog het zich lobvormig naar het Zuiden. Deze lobben oefenden reeds een zoo grooten druk uit, zowel *verticaal* als *horizontaal*, dat het 'hoogterras' als zodanig verdween. Het werd ingedrukt en opgeperst tot een stuwwal, waarbij bijna overal de zand- en grintlagen zich oprichtten. Het is vaak moeilijk vast te stellen of de druk uit een dan wel twee richtingen kwam (Hattem, Asselt). Ofschoon het landijs het gehele gebied vervolgens toch verder overdekte, was het vergrote hoogteverschil voldoende om het dalijks een grotere bewegingssnelheid te geven. Zoodra de groei van het landijs ophield, kwam het eerst het ijs op de Veluwe tot rust'.

TESCH (1927): 'Het begrip eindmorene is al even oud als de gletscherstudie en werd in het aanvangsstadium van het onderzoek der pliocene glaciatie dadelijk gretig toegepast; het begrip stuwwal (volgens mij minder juist ook wel stuwmorène genoemd) ontstond eerst veel later, toen men de inwendigen bouw der bodemvormen in bijzonderheden leerde kennen. De werkelijke eindmorene is een opeenhoping van glaciaal getransporteerd puin en ontstaat tijdens een stadium, waarin de afsmelting evenwicht houdt met of iets groter is dan de aanvoer: een rustpauze in de teruggang van de glaciatie. Het stuwwalverschijnsel daarentegen ontstaat door opstuwing van de ijsvloer tijdens de vooruitgang, als de aanvoer de afsmelting overtreft en het ijs nog arbeidsvermogen bezit. Het kan zich alleen dáár op grootsche wijze ontplooien, waar de omstandigheden gunstig zijn, dat is waar het relief van het praeglaciale landschap daartoe aanleiding geeft en de vloer over aanmerkelijke dikte niet uit hard gesteente bestaat. De bodem van Nederland was daartoe blijkbaar uitermate geschikt. Nog dikwijls worden stuwwal en eindmorene niet scherp genoeg uiteengehouden en worden ze beiden als vormen van eindmorene vermeld, hetgeen verwarring sticht'.

HUIZINGA (1945): 'Daarentegen is oppersing van materiaal tengevolge van den door het ijs op den achtergrond uitgeoefenden verticalen druk uitgesloten. Zelfs bij een hoogte van het landijs van 200 meter - ongeveer overeenkomende met een druk van 20 kg/cm² - zijn krachten nog veel

te klein om een oppersing van eenige beteekenis te kunnen veroorzaken'.

CROMMELIN en MAARLEVELD (1949): 'Hoe de stuwwing van de oostelijke Veluwe is geschied is moeilijk te zeggen. Wij voelen iets voor de conclusie van Boissevain, die een uit het Oosten komende ijsstroom aanneemt. Wij zijn het echter niet eens met zijn argument, namelijk dat de ijslob in het IJsseldal te smal zou zijn geweest om de zuidelijke Veluwe op te stuwen. Het IJsseldal is veel breder en dieper dan dat van de Gelderse Vallei; de keileem ligt er gemiddeld op 80 m -AP en tegen ± 40 m -AP in de Gelderse Vallei. De totale ijsmassa in het IJsseldal zal dus zeker in staat zijn geweest een veel bredere zone op te stuwen, dan de lob in de Gelderse Vallei dit heeft kunnen doen. Om een andere reden dan Boissevain aangeeft lijkt ons echter een frontale opstuwing van de oostelijke Veluwe van het Oosten uit meer waarschijnlijk. Indien de ijslob namelijk uit het Noorden het IJsseldal was binnengedrongen zou men aan weerszijden ervan een equivalent stuwingsverschijnsel mogen verwachten; deze equivalentie ontbreekt: de stuwwallen in de Achterhoek en Overijssel zijn van veel geringer formaat, zodat wij eerder om die reden dan om Boissevain's argument menen te moeten concluderen tot een Oost-West gerichte ijsstroom die het oostelijk terrein heeft overreden, daarna het IJsseldal diep heeft uitgeschuurd en toen de rug van de oostelijke Veluwe heeft opgestuwd'.

RUTTEN (1960): 'Het ontstaan van de stuwwallen hangt af van de vorming van een dikke permanent bevroren bodem vóór het naderende ijsveld. De permafrost vormt een harde, brosse laag. Toen het verbroken werd werden hele plakken (schubben) uit de weg geschoven, waarbij de originele sedimentatiestructuren intact bleven. Na de post-glaciale opdooi bleven deze structuren van de opgeschoven schubben grotendeels behouden, ondanks de interne wrijving van de zand-, grint- en kleilagen. De minimale dikte van de permafrost was dus gelijk aan de dikte van de individuele opgeschoven schubben in de dwarsdoorsnede van een stuwwal met een imbricate (= dakpansgewijze ligging) structuur. Indien er schubben van 150 meter dikte zijn gevonden, dan was de permafrost waarschijnlijk niet veel dikker. Hieruit volgt dat veel overschuivingsvlakken zich vormden aan de basis van de permafrost, waar de waterbevattende sedimenten niet veel weerstand tegen de belasting en de stuwing door het ijsveld zullen hebben' (vertaling auteur).

Bovenstaande stukjes uit de literatuur over stuwwallen zijn gekozen om een indruk te geven

STRATIGRAFIE VOOR HET IJS		
Tijd-stratigrafie	Hattem (Formaties)	Archem (Formaties)
Saalien		
Holsteinien	Urk	Urk
Elsterien		
'Cromerien-complex'	Enschede	Enschede
Menapien		
Waalien	Harderwijk	Harderwijk
Eburonien		
Tiglien	Tegelen	
Praetiglien	Maassluis	
Reuverien	Oosterhout	
Brunssumien		
Susterien	Breda	Breda

van veel voorkomende opvattingen en om de verschillende kanten te laten zien die met de vorming van de stuwwallen samen hangen. Andere artikelen komen verderop aan bod.

ENKELE ONTSLUITINGEN

Aan de oostelijke zijde van het IJsseldal liggen tussen Ommen en Zeddam een aantal verhogin-

gen in het landschap die een keten van stuwwallen vormen, n.l. van Noord naar Zuid, resp. de Archemer- en de Lemelerberg, de Haarler- en de Holterberg, de Lochemerberg en Montferland. Op twee plaatsen kunnen we iets zien van de bouw van deze stuwwallen en wel bij Archem en bij Nijverdal. Tot ons geluk zijn deze door DE JONG (1952, 1955) in tektonische zin beschreven; in het volgende is hiervan gebruik gemaakt.

Langs de weg Ommen - Nijverdal passeren we 5 km ten zuiden van de Overijsselse Vecht de Archemerberg. Dit is het noordelijke deel van de Lemelerberg; tevens bevindt zich daar het hoogste punt op 76,5 m + NAP, reden waarom zich daar een triangulatiepunt bevindt voor topografische doeleinden. De stuwwal meet 5 x 2½ km en ligt 20 km ten oosten van de IJssel (25 km O. van Hattem). De wal is omzoomd door een 500 à 1000 meter brede zone fluvioglaciaal materiaal, waarop grotendeels bos is aangeplant. Vroeger lagen daaromheen veenachtige gebieden; dit is thans gras- en bouwland. Het bovenste gedeelte van de stuwwal is enigszins glooiend, grotendeels zonder bomen, maar met een begroeiing van struikheide en grassen, waardoor

het mogelijk is de omliggende gebieden in een paar richtingen goed te overzien.

Komende van Ommen zijn de toegang en parkeerplaatsen aan de rechterzijde aangegeven. Gaan we nu in westelijke richting de heuvel op dan snijden we alle gelaagdheden. Tot aan het pompstation is de weg verhard, daarna is het een zandweg. We zien telkens kleurveranderingen van het zand: ongeveer 30 meter langs vuilwitte stukken wisselen af met gedeelten van 1 tot 10 meter grote gedeelten van bruin zand/grind (afmeting ½ tot 8 cm). Op het hogere gedeelte zien we goed dat het terrein licht golvend is. De stroken met de witte, fijnere zanden verlopen lager, terwijl de grove bruine sedimenten kleine ruggen vormen, waarin grindkuilen zijn te zien. Deze zijn door de omwonenden gemaakt. Mede door het voorkomen van deze kuilen kunnen we het verloop van de ruggen vrij goed volgen; deze hebben voornamelijk een noord-noordoost naar zuid-zuidwest richting; zie figuur 1. De wallen zijn na hun vorming door het zich uitbreidende ijs overschoven, waarbij nogal wat erosie heeft plaats gevonden. Het glooiende karakter is vooral na het Saalien door regenwater enz. ont-

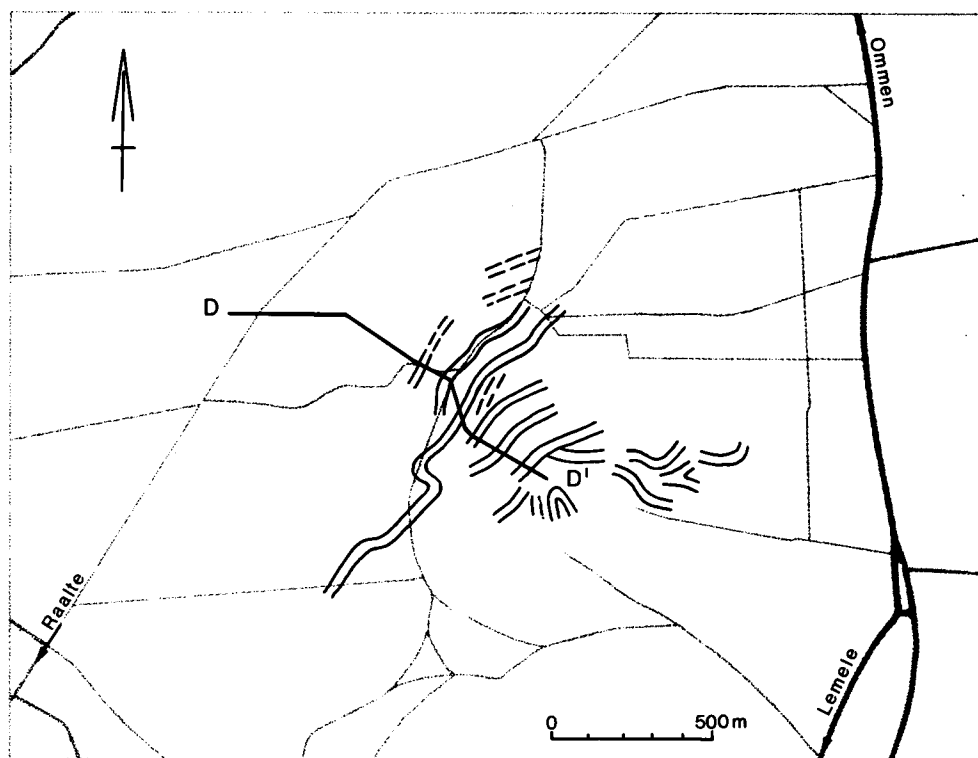


Fig. 1: De plaats van de ruggen (Formatie van Urk) op de Archemerberg. De lijn D - D' geeft het verloop van de doorsnede op figuur 2 aan. Tekening Ellen Koot, Amersfoort.

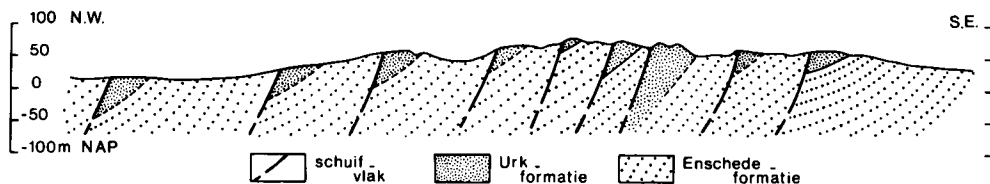


Fig. 2: Doorsnede van de Archemerberg volgens de lijn D - D' op figuur 1; met 10 schubben die naar het Westen hellen.

staan, waarbij de fijnere witte zanden het meest zijn afgevoerd. Deze witte zanden behoren tot de Formatie van Enschede en zijn door rivieren uit oostelijke richting aangevoerd. Het grove zand en grind betreft de Formatie van Urk (DE JONG spreekt over de Formatie van Vianen), toegevoerd door de Rijn; zie Tabel op pag. 103. Op figuur 2 is de doorsnede van de Archemerberg weergegeven, waarop de afwisseling van de fijnere witte en de grovere bruine zanden zijn aangegeven. De doorsnede heeft de richting noordwest - zuidoost, de dikke streepijnen geven de schuifvlakken van de opgestuwde schubben aan. Deze hebben een helling van 45 tot 70 graden naar het westen. Al lopend over de Archemerberg zijn we over een negental schubben gegaan: een bruine rug en een witte depressie vertegenwoordigen samen één schub.

Een twaalf kilometer zuidelijker ligt een ontsluiting in de Haarerberg bij Nijverdal. Dit betreft een ongeveer 35 meter brede 'gleuf' die in 1922 door de stuwwal is gegraven ten behoeve van de aanleg van een spoorweg. Zie figuur 3. De ongeveer 20 meter hoge wanden zijn vrijwel geheel tot zandpuinhellingen verworpen door de

activiteit van vakantiegangers, of er groeien den- nen. Toch is in de hellingen nog de afwisseling van witte en bruine zanden te herkennen. Langs de bovenrand is een ongeveer 1 meter hoog vertikaal deel te bekijken. Ook hier de Enschede- en Urk-formaties, waarvan op enkele plaatsen de hellingen met een clinometer zijn te meten. De schubstructuur is wat anders dan bij Archem. De afwisselende banen van bruine en witte zanden zijn aanmerkelijk minder dik. De hellingen zijn tussen 20 en 40 graden, en ook naar het westen gericht. Ze zijn nogal verkneed, d.w.z. dat ze verploffingen tonen, van licht golvend tot bijna krullend. In plaats van duidelijke schubben hebben ze meer het beeld van onderschuivingen.

Kijken we nu naar de westelijke stuwwallen, dan kan voor die bij Hattem naar het desbetreffende artikel verwezen worden (ZANDSTRA 1971; HOMBURG 1986).

Zuidelijker was tot voor kort op de Hullekesberg bij De Steeg een zandgroeve, die helaas begin 1986 is geëgaliseerd. De bouw van een deel van de Veluwe-stuwwal was hier goed te zien. Een fraaie overzichtsfoto staat op het omslag van de *Atlas van Nederland*, deel 13: geologie.



Fig. 2: Doorsnede van de Archemerberg volgens de lijn D - D' op figuur 1; met 10 schubben die naar het Westen hellen. Tekening Ellen Koot, Amersfoort.

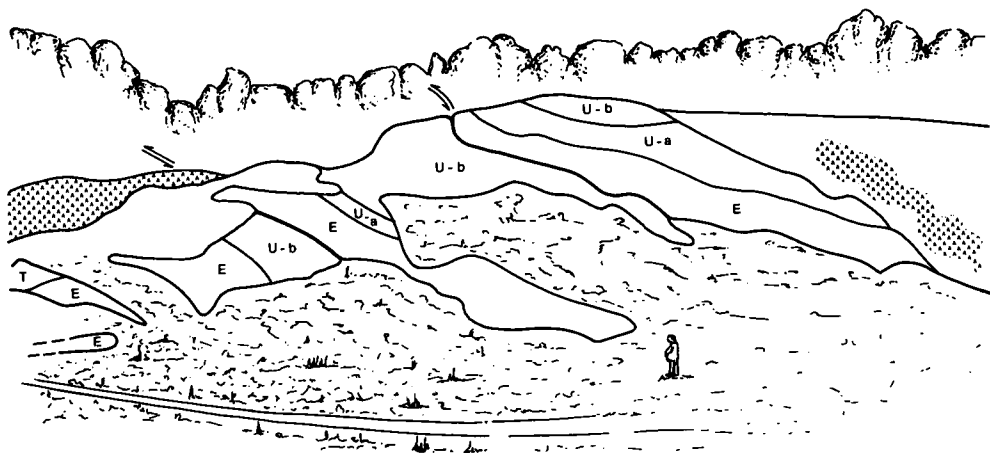


Fig. 4: De Steeg: groeve in de Hullekesberg met 3 opschuivingen; naar het oosten hellend. T = Twente Formatie; E = Enschede Formatie; U-a en U-b = Urk Formatie. Dikke lijnen = schuifvlakken; pijlen = relatieve verplaatsing. Tekening Ellen Koot, Amersfoort.

Figuur 4 geeft er een schematisch beeld van. Een drietal schubben met hellingen van $\pm 30^\circ$ naar het oosten, laten weer het samengaan van de Formaties van Enschede en Urk zien. De Enschede Formatie varieert rond een dikte van 17 meter terwijl de dikte van de Formatie van Urk (waarin men Urk-a en Urk-b onderscheidt) $9\frac{1}{2}$ tot 15 meter bedraagt. Ook hier weer het beeld van overschuivingen.

HET GLETSJER - STUWWALLEN - COMPLEX

In het artikel over de groeve bij Hattem is gesteld dat de vorming van de stuwwallen is veroorzaakt door de verticale druk, die een ijstong in het IJsselgebied op de achtergrond zou hebben uitgeoefend. In de nederlandse literatuur komen weliswaar toespelingen op de samenhang van een eventuele gletsjertong en de stuwwallen voor, maar een duidelijke stellingname is zeldzaam; denkkelijk omdat men het voor-zich-uitschuiven (bulldozereffect) door het landijs, komende uit oost of noordoostelijke richting, niet geheel uit wil sluiten. De opvattingen over de permafrost spelen hierbij vermoedelijk ook een rol. Toch noemde BOERMAN in 1919 reeds de verticale druk als mogelijke oorzaak van het ontstaan van stuwwallen. In recente tijd is VAN DER WATEREN (1981, 1985) een voorstander van deze opvatting. Ook ik meen dat dit 'model' de genetische samenhang van de verschijnselen duidelijker en mogelijk op meer juiste wijze verklaart dan met de tot dusver gevolgde theoriën mogelijk is.

Uitgezonderd de oostelijke gebieden van Overijssel en Gelderland en in de provincie Limburg, is ons land jong en vlak, waardoor er bij ons niet zo'n vertrouwdheid met tektonische verschijnselen bestaat als dit in de ons omringende landen het geval is. Ook in Grondboor en Hamer zijn maar weinig artikelen verschenen die zich met tektoniek bezig houden. Binnen dit platte land vielen de heuvelachtige gebieden op: duinen, Utrechtse Heuvelrug, Veluwe, Hondsrug enz. Deze zijn vooral als morfologische eenheden gezien. Dat het geologisch oog dit soms anders ziet zal verderop blijken.

Van invloed is ook geweest het beeld van het steeds maar opschuivende ijs, massaal over Nederland komend, waarbij het 'harde' ijs de zachte sedimenten voor zich uit zou hebben geschoven. Hier rijst dan meteen de vraag waarom er niet veel meer stuwwallen worden aangetroffen. Gletsjerijs blijkt echter niet zozeer te schuiven, dan wel te vloeien. De voortbeweging van een gletsjer berust op een ingewikkeld stelsel van processen; vrijwel alle manieren van verplaatsing, zoals deze bekend zijn uit de studie van metamorfe gesteenten, zijn in een gletsjer aan te treffen: rekristallisaties van de ijskristallen, deformaties in de kristalroosters, verplaatsingen binnen het ijslichaam langs inwendige schuifvlakken zijn een paar voorbeelden hiervan. Zelfs op hellingen van 30° , zoals deze o.a. in de Alpen voorkomen, is de voortbeweging van een ijsveld maar voor 10 à 20% aan schuiven te wijten en voor 80 à 90% aan vloeien. In ons land zal dus de schuifactor klein zijn geweest.

In de literatuur heeft vermoedelijk de mening van HUIZINGA (1945) een rol gespeeld; deze

Tabel II Richtingen van de schubben in stuwwallen.

Westelijk van het IJsseldal	Oostelijk van het IJsseldal
Hatterm $\pm 70^\circ$ oostwaarts	Archemerberg 45 tot 70° westwaarts
Hullekesberg 30° oostwaarts	Haarlerberg 20 tot 40° westwaarts

schrijver wordt nogal veel aangehaald (zie fragmenten uit de literatuur). De duidelijkste aanwijzing voor een tektonisch effect van een gletsjertong zien we in de hellingen van de schubben die tot stuwwallen werden. In Tabel II zijn deze samengevat.

De richting van schubhellingen zijn van meer punten bekend (zie o.a. MAARLEVELD 1981), maar we beperken ons hier tot de besproken plaatsen. We zien dat ze alle naar het IJsseldal zijn gericht, in overeenstemming met de figuren 4 en 5 uit HOMBURG (1986). Kijken we naar het tweede van de geologische dwarsprofielen uit ZAGWIJN en VAN STAALDUINEN (1975), dan zien we dat, met uitzondering van de Utrechtse Heuvelrug, zowel in de Veluwe als in de kleinere stuwwallen die meer oostelijk zijn gelegen, de schubben in twee tegengestelde richtingen zijn getekend. Het linker deel van elke stuwwal helt naar het westen, de rechter helft oostwaarts. Volgens het 'tektonische model' vormen twee halve stuwwallen en het tussenliggende gletsjerdal een genetische eenheid; zie ook fig. 6. De ge-

vormde stuwwallen hebben de uitvloeit van het gletsjerijs in de breedte verhinderd. Hier zijn op natuurlijke wijze de eerste 'dijken' in ons land ontstaan!!

Het is mede aan de stuwwallen te danken dat de gletsjertong zo ver in één richting door kon gaan. Tot Nijmegen betrof dit al een lengte van ± 90 km. Volgens het kaartje van TER WEE (1962, opgenomen in HOMBURG 1986) staat de gletsjer nog ongeveer 60 km langer getekend tot bij Krefeld (m.i. betrof het hier niet alleen ijs van de gletsjertong maar was er ook aanvoer vanuit oostelijke zijde). Tot dusver hebben we een eenvoudig en ogenschijnlijk duidelijk beeld opgeroepen: een gletsjertong die door verticale druk opschuivingen langs de flanken veroorzaakt; de opschuivingen (stuwwallen) dammen de gletsjer in, waardoor deze alleen in zuidelijke richting voort kan gaan. Er zijn echter wat vragen te stellen. Eén er van is hoe het grote verschil in dikte van de schubben bij Hatterm (60 à 80 m) en van de Archemerberg (20 à 30 m) is te verklaren, terwijl ze toch vrijwel recht tegenover elkaar

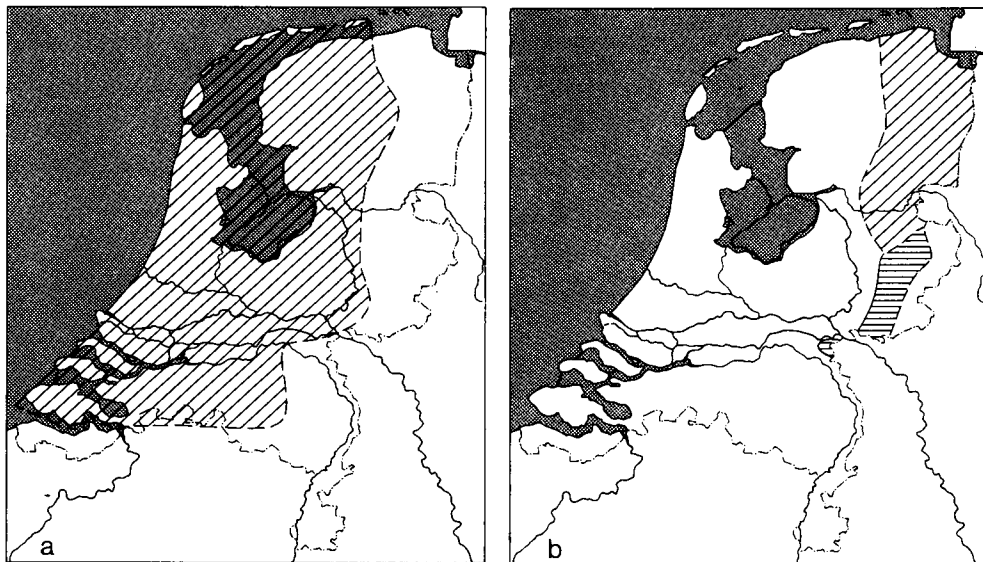


Fig. 5: Geografische verbreiding van de formaties; a = Maassluis Formatie (marien); b = Scheemda Formatie: schuine arcering = rivierafzetting; horizontale arcering = naast elkaar voorkomen van de Scheemda- en de Kiesel-ooliet Formaties. Tekening Ellen Koot, Amersfoort.

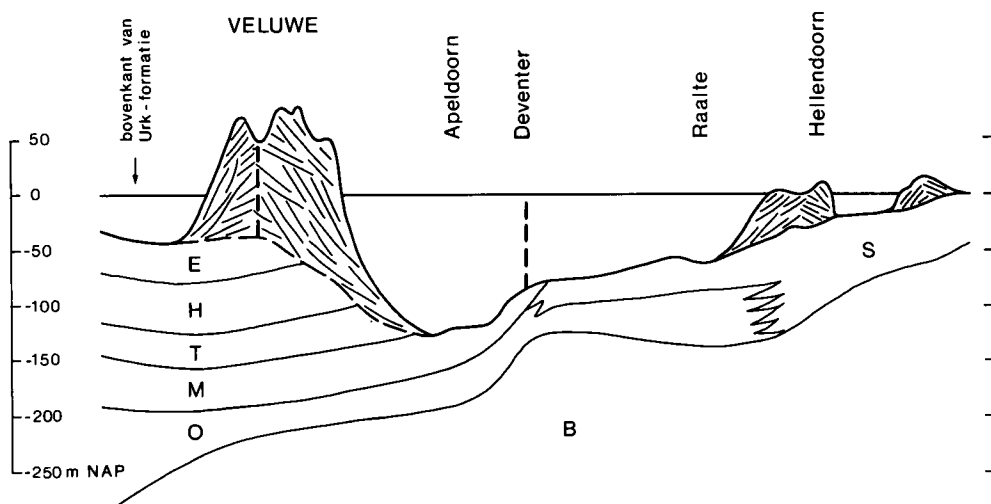


Fig. 6: Doorsnede van het IJsselbekken en de stuwwallen. Vertikaal 100 x verhoogd, waardoor de verschillen sterker opvallen. Deel van de geologische doorsnede uit ZAGWIJN en VAN STAALDUINEN 1975. E = Enschede Formatie; H = Harderwijk Formatie; T = Tegelen Formatie; M = Maassluis Formatie; O = Oosterhout Formatie; S = Scheemda Formatie; B = Breda Formatie. In dit deel is geen Urk Formatie meer aanwezig; de bovenste horizontale lijn geeft het oppervlak aan van de Urk afzetting vóór de komst van het ijs. Alle afzettingen die jonger zijn dan de Urk Formatie zijn weggelaten. Vertikale stippellijnen: zie tekst. Tekening Ellen Koot, Amersfoort.

liggen. De tabel op pag. 103 toont de stratigrafie van deze punten.

Wat opvalt is dat, waar er bij Hattem sprake is van de Formaties van Tegelen, Maassluis en Oosterhout, er bij de Archemerberg alleen sprake is van de Formatie van Scheemda. De verbreedingskaarten van de Formaties van Urk, Enschede, Harderwijk en Tegelen staan op figuur 2 in HOMBURG (1986). Figuur 5a en 5b laten de verbreiding zien van de Maassluis Formatie en de Scheemda Formatie. De grens van de Formatie van Oosterhout loopt wat oostelijker, vrijwel parallel aan de Formatie van Tegelen. Merk op dat de oostgrens van de Formaties van Tegelen en van Maassluis daar ophouden waar de afzetting van de Formatie van Scheemda begint. Figuur 6 geeft hiervan een beeld. Van het bovengenoemde geologische profiel is een gedeelte nagetekend dat loopt langs de lijn Veluwe-Apeldoorn-Deventer-Raalte-Vriezenveen. Hoewel deze lijn ongeveer 30 km zuidelijker verloopt dan de lijn Hattem-Archem is ze m.i. toch te gebruiken, aangezien ze evenwijdig lopen. Bovendien loopt de grens tussen enerzijds de Formaties van Tegelen en Maassluis, anderzijds die van Scheemda in een noord-zuid richting. Er zijn twee verschillen. Eerstens is bij Archem tussen de Formaties van Scheemda en Enschede de Formatie van Harderwijk te zien; deze is bij Raalte afwezig (vergelijk de stratigrafische tabel met het profiel van figuur 6.) Ook de palaeogeografische kaarten van deze Formaties laten dit verschil zien.

Het tweede onderscheid betreft de diepte van het glaciële bekken; de diepte is bij Deventer groter dan 125 meter, terwijl het ter hoogte van Hattem tussen de 100 en 125 meter ligt; zie fig. 7. Het onderscheid tussen de twee 'lijnen' lijkt mij niet essentieel voor de mogelijke verklaring van de verschillen in schubdikte aan beide zijden van het gletsjerbekken. We zien aan de Hattem-zijde het schuifvlak van de schubben onder in de Formatie van Tegelen, een zeer kleirijke afzetting, waarin zich kennelijk het eerst de gunstige omstandigheden tot een wrijvingsloze schuifzone voordeden, ook al was dit op een diepte van ± 80 meter. De afwezigheid van de schuifweerstand is blijkbaar belangrijker dan het gewicht (= dikte x s.m.) van de verplaatste gesteentekolom.

Kijken we nu naar de lagen langs de lijn Raalte-Vriezenveen: daar is het noordelijkste deel van de stuwwal bij Nijverdal aangesneden. De Harderwijk-, Tegelen- en Maassluis-lagen zijn daar niet afgezet. De grindhoudende zanden van Urk rusten op de Enschede Formatie: overwegend grove, ook grindhoudende zanden met enkele dunne zwakzandige kleilaagjes. Hieronder vinden we de Scheemda Formatie, die uit fijne en grove witte zanden bestaan, maar soms ook kleiig fijn zand. We zien aan deze zijde eigenlijk alleen zanden, meer of minder grof, met hoofdzakelijk in de Formatie van Enschede enkele dunne, zandige klei- of leemlaagjes. Het zullen waarschijnlijk deze leemachtige laagjes zijn geweest, die als schuifvlakken hebben gediend.

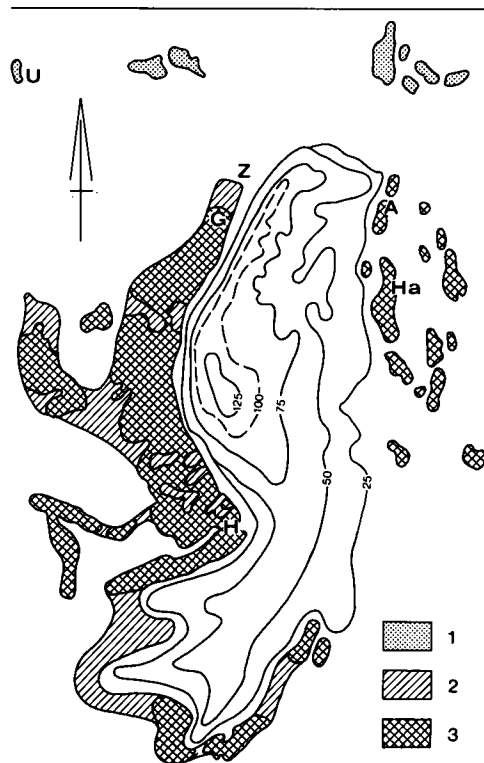


Fig. 7: Diepte van het glaciale bekken in het gebied van de IJssel met stuwwallen en keileem (eindmorene). Naar de kaart over Glaciale Verschijnselen in het Saalien (ZAGWIJN en VAN STAALDUINEN 1975). 1 = gestuwde keileem aan het oppervlak; 2 = stuwwal bedekt door jonger materiaal; 3 = stuwwal. U = Urk; Z = Zwolle; G = Gemeentegroeve Hattum; A = Archemerberg; Ha = Haarlerberg; D = Deventer; H = Hullekesberg. Tekening Ellen Koot, Amersfoort.

Niet elke Archemer schub is langs hetzelfde laagje opgeschoven; vandaar de nogal uiteenlopende dikten van de schubben (30 tot 40 meter). We kunnen vermoedelijk wel aannemen dat het verschil in dikten van de schubben van Hattum en Archem sterk is bepaald door de ondergrond. Figuur 6 laat tevens zien dat het door de gletsjer veroorzaakte bekken asymmetrisch is; m.i. ook een gevolg van het verschil in schubdikte. Er is aan één kant veel meer materiaal weggeglipst.

Van de fysische toestand van het ijs weten we vrijwel niets, al wordt er straks over gespeculeerd. Echter één ding is zeker: de snelheid waarmee de laagpakketten werden verplaatst kan nooit groter geweest zijn dan het tempo waarin het gletsjerijs zich in verticale zin heeft bewogen, m.a.w. ijs en sedimenten-pakketten verplaatsen zich tegelijkertijd en in dezelfde mate. De ver-

vormbaarheid van gletsjerijs hangt voornamelijk af van de temperatuur, de dikte van het ijspakket en de eventuele interne gelaagdheid binnen de gletsjer; hiervan weten we weinig.

De doorsnee van figuur 6 kan ons nog wat informatie geven. De horizontale lijn op deze tekening is niet het zeeniveau of het N.A.P., maar geeft de bovengrens van de Formatie van Urk aan; dat was immers het toenmalige bodemoppervlak vóór de komst van het ijs. Er zijn twee verticale stippellijnen: één in het 'Veluwe-massief', de andere in het gletsjer-bekken bij Deventer getekend. Ze geven bij benadering de grenzen aan tussen enerzijds de opgeschoven schubben van de Veluwe, resp vanuit de Gelderse Vallei en vanuit het IJsselbekken; tevens welk gedeelte van het materiaal uit dat IJsselbekken resp. naar links of naar rechts is verplaatst. We kunnen nu het rechter gedeelte van de Veluwe dat boven de Urk-lijn uitsteekt vergeleken met het verdwenen gedeelte uit het bekken links van de stippellijn. Door overtrekken op millimeterpapier en tellen van de hokjes is te berekenen hoeveel van de uit het bekkendeel verdwenen sediment er nog op het Veluwedeel boven de Urk-lijn ligt. Dat blijkt ongeveer 40% te zijn, dus 60% van het oorspronkelijke bekkenmateriaal is afgevoerd door erosieprocessen (overschuivend ijs, smeltwaterstromen, wind). Dat percentage kan wat kleiner zijn, want er is geen rekening gehouden met het erosieve uitdiepen van het bekken door het gletsjerijs. Hoewel het nattevingerwerk is, geeft deze methode toch een resultaat dat niet geheel ongeloofwaardig aandoet. Zou er bijv. uit zijn gekomen dat 20 of 90% erosief zou zijn verdwenen, dan zou ik het resultaat zodanig wantrouwen, dat ik deze werkwijze in het geheel niet zou hebben vermeld.

GLETSJER, GLETSJERTONG EN PERMAFROST

Het pleistoceen duurde van 2½ miljoen tot 10.000 jaren voor heden. Daarbinnen vielen de ijstijden, waarvan alleen tijdens de derde glaciële periode, het Saalien, de ijskap ons land halverwege bedekte (± 150.000 tot 100.000 jr). Dit Saalien was in de eerste tijd wel koud, maar een echte ijsbedekking was er in het eerste kwart à derde deel van het Saalien vermoedelijk nog niet. De ijsbedekking duurde in ons land dus 'slechts' zo'n 35.000 jaren. Ook binnen dit tijdsbestek waren er temperatuur-fluctuaties. Er wordt aangenomen dat de eerste grens van het optrekkende ijsveld, voorzover in de bodem herkenbaar, ongeveer liep langs de lijn Castricum - Hoorn - Urk - Ootmarsum. (JELGERSMA en BREEUWER 1975, ZAGWIJN 1974, PANNEKOEK, 1982; fig. 27-51). Langs die lijn zijn resten van een eindmorene ge-

vonden, hetzij aan of dicht onder het oppervlak, hetzij in boringen. Eindmorene, d.w.z. een zone waarin gedurende een (on)zekere tijd de aanvoer van ijs min of meer in evenwicht was met de hoeveelheid ijs welke afsmolt. Het is dus mede een temperatuurgrens, uiteraard met de jaarlijkse fluctuaties. Gemiddeld zal de nul-graden-lijn parallel zijn geweest met deze morenezone. ZAGWIJN (1974) veronderstelt dat er op een aantal plaatsen langs die lijn snelle gletsjers zijn geweest, of juist: gletsjer-golven (glacier surge). Hiertoe moet aan minstens twee voorwaarden zijn voldaan: hogerop moet het ijsveld een ongebruikelijke dikte hebben gehad en, het ijs tussen dat gebied en de rand van het ijsveld moet in een instabiele toestand zijn geweest. Beide voorwaarden zijn afhankelijk van klimaatsfactoren. Een ijsveld wordt niet alleen onderhouden door gletsjerijs vanuit noordelijker streken, maar ook door sneeuwval. Als gedurende een zekere tijd in Noord-Nederland veel sneeuw is gevallen, onder invloed van iets strengere winters en/of een grotere vochttoevoer, waardoor het ijspakket plaatselijk ongebruikelijk dik is, en deze gevolgd wordt door een periode met gemiddeld iets hogere jaartemperatuur, waardoor het ijs over de gehele dikte na verloop minder ver onder nul komt, wordt dit ijs in sterkere mate vloeibaar en dus mogelijk instabiel. Onder die omstandigheden kan zich het verschijnsel van een gletsjergolf voordoen.

Ook bij de huidige gletsjers is er verschil van snelheid. Hoewel de ijstroom het gehele jaar doorgaat, fluctueert het met de seizoenen. Normaal is dat er op alle niveau's evenwicht blijft binnen de bewegende ijsmassa's. Bij het ontstaan van een gletsjergolf is de plaatselijke beweging van het ijspakket zo groot, dat het niet in een even sterke mate vanuit de omgeving kan worden aangevuld. Achter de snel voortgaande 'golf' ontstaat een hiaat in de aanvoer. Een gletsjergolf uit zich aan de rand van een ijsveld als een gletsjertong. ZAGWIJN (1974) noemt vier plaatsen waar gletsjertongen zouden zijn opgetreden, n.l. bij IJmuiden, Haarlem, Amsterdam en Flevoland/Amersfoort. Mijns inziens is dit ook in het gebied van de IJssel het geval geweest. Dat zijn er een vijftal over een breedte van ± 120 km. In de Geovaria in het vorige nummer van Grondboor en Hamer wordt over snelle gletsjers in Alaska geschreven, alwaar er 20 zijn waargenomen over een afstand van 400 km; een aardige overeenkomst met onderlinge afstand betreft, ook al is het gletsjertype verschillend.

Er zijn een paar redenen om ook voor het IJsselbekken een gletsjergolf aan te nemen.

Alle gewone landijsbewegingen en ijstromen tonen een min of meer gelijkmatige vloeijing. De snelheid hiervan wordt, naast de temperatuur,

vooral bepaald door de helling van het oppervlak van het ijsveld en veel minder tot nauwelijks door het reliëf van de bodem. De helling van het oppervlak is zeer klein; het verval bedraagt enkele meters per kilometer ijsveld (fig. 8a). Bij een ijsgolf is er sprake van een dikke ijsmassa die zich aanzienlijk sneller verplaatst, waarbij het ijs zich vanaf het beginpunt tot de ijsrand als een 'blok' kan gedragen. Hierbij blijft de grote dikte van het pakket over langere afstand behouden. Zie het schema van figuur 8 b, c en d.

Op grond van het diepste punt in het IJsselbekken en hoogste punt van de Oost-Veluwe stuwwallen werd de dikte van het gletsjerijs berekend op ± 225 meter. Uitgaande van de dikte van de opgeschoven schubben is in het vorige Hattem-artikel een hoogte van het ijs in het IJsselbekken op 400 à 500 meter geschat (VAN DER WATEREN 1985, HOMBURG 1986). De laterale verschuiving vindt immers plaats via een schuifvlak op een diepte van ongeveer 80 meter. De ijsgolf kan heel goed een dikte van ± 450 meter bereiken hebben. Omdat er na het snelle wegvloeiën van de golf geen aansluitende aanvoer van ijs uit het 'achterland' volgde, kwam vermoedelijk de snelle ijstong in de buurt van Deventer tot stilstand; zie fig. 8. Gewone gletsjers aan de rand van landijs, dat tot het gematigde type behoort (en daartoe kunnen we de saalsche ijsrand in ons land ook rekenen), kunnen snelheden van enkele decimeters tot enige meters per week bereiken. Bij snelle gletsjers kunnen deze bewegingen 20 tot 35 maal sneller zijn; dat kan dus variëren van 2 tot 300 meter per week. Ter vergelijking: het hoog-polaire type verplaatst zich slechts 1 meter per jaar. Na de ijsgolf moet er een periode gevolgd zijn waarin eerst in het achterland het evenwicht in het ijsveld moest worden hersteld tot er weer een geleidelijk verloop van het gletsjer-oppervlak was bereikt, ditmaal tot Deventer reikend. Pas daarna kon de gletsjertong zich weer verder uitbreiden, echter nu met de snelheid van een - onder die omstandigheden - normale snelheid van de ijstroom (zie fig. 8d). Deze twee verschillende dikten en snelheden van de zuidwaarts vloeiende gletsjertong zouden volgens mij een verklaring kunnen zijn voor het onderscheid dat er tussen de Hattem/Archem stuwwallen enerzijds en anderzijds de meer zuidelijk gelegen stuwwallen: Hattem/Archem meer opschuivingen onder een grote hellinghoek, Haarler/Hullekesberg van het type overschuiving over een kleinere hellinghoek; zie Tabel II.

En in dit verband mogelijk belangrijk effect van de ijsgolf is, dat niet alleen in betrekkelijk korte tijd door het dikke ijspakket een grote verticale druk op de laagpakketten werd uitgeoefend, maar dat door de korte tijd waarin dit ont-

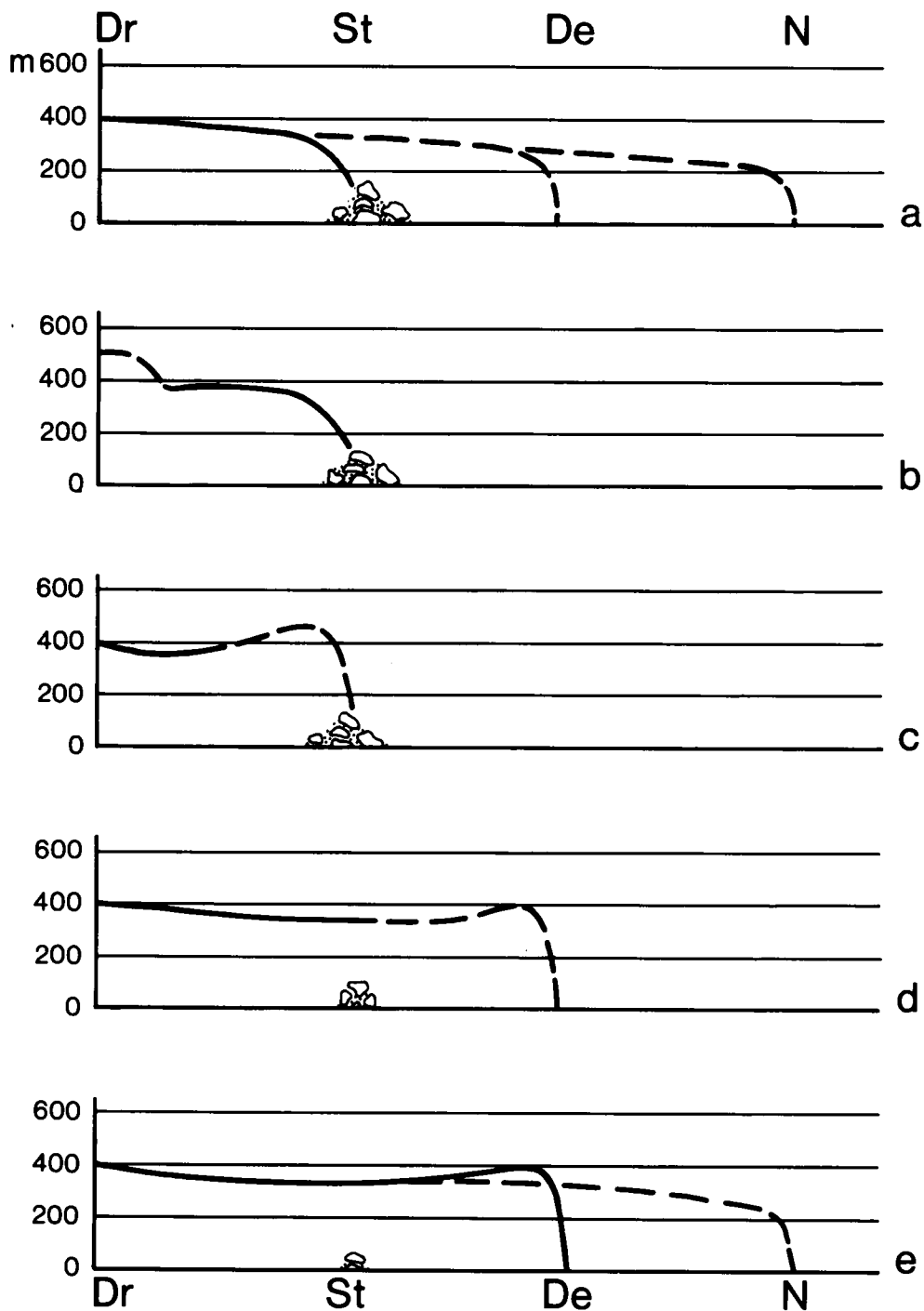


Fig. 8: Schematische tekening over het voortbewegen van gletsjerijs en van een ijsgolf over aangenomen afstanden. Dr = Drachten; St = Staphorst, met getekende eindmorene; De = Deventer, eind van de golf; N = Nijmegen. In a zien we de normale uitvloeit van gletsjerijs, dalend van 400 tot 225 m. dikte bij Deventer; b t/m d: verplaatsing van een ijsgolf; bij Deventer nog 400 meter dik; e: na herwinnen van evenwicht gaat de ijsberg voorbij Deventer op normale wijze verder. Tekening Ellen Koot, Amersfoort.

stond het poriënwater in de sedimenten geen gelegenheid kreeg om weg te sijpelen. Bij het voortschuiven met de gewone snelheid is er wellicht wel gelegenheid voor het poriënwater om, althans gedeeltelijk, te ontwijken.

Er is bij dit 'concept' geen rekening gehouden met de volgende fase toen het zich uitbreidende ijsveld vanuit het noordoosten en oosten over Twente, de Achterhoek en Salland kwam, noch met de ijsbedekking van het Veluwegebied vanuit het noorden. In deze laatste regio is het ijsdek niet erg dik geweest, noch heeft het er lang gelegen; of juist: er is vrijwel geen grote, doorgaande aanvoer van ijs geweest, anders zou het aantal zwerfstenen er wel groter zijn. Bovendien is aan de zuidzijde van de Veluwe, voorzover mij bekend, geen sprake van een eindmorene.

Ook het volgende hangt samen met de gletsjertong. Ik laat de eventuele invloed van de periglaciale smeltwaterstromen en de zgn. Oer-Vecht achterwege: ik weet er te weinig van af. Hetzelfde geldt voor de Oer-Rijn, voor zover deze noordwaarts door het Oer-IJsseldal stroomde, als onderdeel van een veel breder rivierstelsel. Wel meen ik met anderen, dat deze rivierarm niet zeer diep geweest zal zijn. Weliswaar daalde al tijdens eerdere glaciaties het zeeniveau, maar tegelijkertijd was er een uitbouw van de delta, zodat de helling van de bodem ongeveer gelijk zal zijn gebleven. Bij een daling van het zeeniveau van ± 100 meter en een westwaartse verschuiving van de kustlijn van ± 900 meter, geeft dat een gemiddelde helling van 1 meter op 9 km. De huidige rivierbodem van de Rijn vervalt met 1 meter per 25 km. Betrokken op de huidige Rijn zal er een iets grotere insnijding van de rivier zijn geweest dan er op dit moment is; er is echter weinig insnijding nodig om van een helling van 1 op 9000 meter tot 1 op 25.000 meter te komen. De niet-diepe rivierbedding kan de weg van de gletsjertong enigszins beïnvloed hebben. Gezien de verhouding van het enige honderden meters dikke ijspakket en een geschatte diepte van de rivierbedding van omstreeks 10 meter, zal dit noch op de snelheid, noch op de richting van de ijstong veel invloed hebben gehad.

Een grotere invloed wordt in de literatuur toegeschreven aan de permafrost: een bodem welke het gehele jaar bevroren blijft. Dat zou dus een min of meer brede strook vóór het landijs betreffen, dus ten zuiden van de lijn Castricum - Ootmarsum. Ongetwijfeld was er een permafrost onder de ijskap, maar die gaat ons nu niet aan. Ook zal een deel van de bodem 's winters bevroren zijn geweest, echter niet diep, d.w.z. minder dan 10 meter. Van een permafrost die meerdere tientallen meters diep zou zijn doorgedrongen is m.i. in de tijd voordat de gletsjertongen ontstonden geen sprake. Vrijwel alle gegevens in de lite-

ratuur over permafrost betreffen waarnemingen uit Canada, Siberië, Spitsbergen en dergelijke. Dat zijn gebieden die zeer lange tijd onder het ijs bedolven zijn geweest: ijs dat gedurende enige duizenden jaren overal bezig is zich sterk terug te trekken. In ons geval betreft het een zone die vóór het zich uitbreidende ijs was gelegen; een zone bovendien waarin de gemiddelde temperatuur zich om of boven de nul graden bevond (anders was daar geen eindmorene). Zoals we hebben gezien (RUTTEN 1960) werd een diepe permafrost nodig geacht om de structuur van de schubben gedurende hun verplaatsing intact te houden. Men kon zich niet voorstellen dat zoiets met onverkitte sedimentaire pakketten mogelijk zou zijn. Uit o.a. grote aardverschuivingen is het behoud van de interne sedimentaire structuren bekend, mits de dikte en het oppervlak maar groot genoeg was. Het gaat in ons geval om een minimale dikte van 25 meter en oppervlakten van enkele vierkante km's.

Omdat een bevroren laag een ongeveer driemaal grotere schuifweerstand heeft dan niet bevroren sediment, zou de permafrost net tot boven de schuiflaag zijn doorgedrongen. Vanwaar dan het verschil in schubdikte (= diepte in horizontale toestand) tussen Hattem en Archem? Ook zijn in de Tegelen Formatie in Hattem verplooiingen te zien die zijn ontstaan tijdens de opschuivingen. Deze structuren kunnen in een bevroren bodem niet ontstaan. Verder zou het doorbreken vanaf het schuifvlak tot aan het oppervlak van de bodem, zeker als het om tientallen meters dikke opschuivende lagen gaat, veel meer energie vragen. Nogmaals: er was dus m.i. weinig of geen permafrost ten tijde van de actie van de gletsjertongen. De meeste periglaciale verschijnselen, waaronder permafrost, ijswiggen en solifluctie, zijn in ons land vooral bekend uit het Weichselien, dus uit een tijd met terugtrekkend landijs.

NAWOORD

Er zijn de laatste jaren wat andere ideeën gekomen over het ontstaan van stuwwallen. Vooral de glaciaal-tektonische benadering door VAN DER WATEREN is de aanleiding geweest hierover in het Hattem-artikel te schrijven. Hierop doorgaande zijn er steeds meer aspecten bij gekomen. Deze zijn, met het dal van de IJssel als centrum, zoveel als mogelijk in samenhang tot dit 'concept' uitgegroeid.

Voor het bezoek aan de veldlokaties was weinig vereist: schop, loupe, kompas met clinometer, kaarten, potlood, notitieboekje en toestel; dus niet echt kostbaar.

Gelukkig is er nogal wat literatuur, al kost het soms moeite om het in handen te krijgen.

Maar: leve het copierapparaat. Er kon natuurlijk alleen gebruik worden gemaakt van gegevens die gepubliceerd zijn. Ongetwijfeld zullen er bij de Rijks Geologische Dienst en de verschillende universiteiten diverse verslagen en rapporten zijn die voor ons niet toegankelijk zijn, rapporten die feiten of meningen bevatten, die of aanvullende gegevens kunnen verschaffen, of in tegenspraak zijn met dit 'concept'. In dat geval hoop ik kritiek of aanvullingen te mogen ontvangen. Beter

nog is het als deze reacties in de vorm van een artikel voor Grondboor en Hamer zouden komen, dit tot genoegen van de leden en de redactie.

Behalve aan de schrijvers van de diverse artikelen - die meer deden dan ik - gaat mijn dank naar Drs. C. Staudt, directeur van de Rijks Geologische Dienst voor de toestemming tot overname van een aantal figuren uit publicaties van deze dienst. Dr. J.H. Baker was zo vriendelijk de engelse tekst te corrigeren.

SUMMARY

A study has been made of glacial structures in the IJssel region, now a tributary of the river Rhine, Central Netherlands. The vertical pressure exerted by a 450 m thick glacial tongue in the Saalien caused lateral displacement and upthrusting of the underlying soft rocks. The differences between the left and right lateral ice-pushed ridges are explained by the different lithologies of the substrata fig.6. The slopes of the ridges in the northerly part dip 45-70°, while in the south the slopes dip 20-40°. We postulate that the glacier tongue started as a glacial surge. After restoration of the internal balance the glacier tongue continued as a normal icestream. Deep permafrost is a common associate of retreating land-ice. Since we have an expanding glacier, the permafrost should have been shallow, or absent.

LITERATUUR

- Atlas van Nederland. 1985: deel 13: Geologie.
- BOERMAN, 1919: Smeltwateruggen en duinrijen op de Veluwe. Handel. 17e Ned. Natuur- en Geneeskundig Congres.
- CROMMELIN R.D. en MAARLEVELD, G.C., 1949: Een nieuwe geologische kaartering van de Zuid-Veluwe. Tijds. Kon. Ned. Aardr. Gen. 66, 41-56.
- DOPPERT, J.W.CHR. e.a., 1975: Formaties van het Kwartair en Boven-Tertiair in Nederland. In: ZAGWIJN en VAN STAALDUINEN. p. 11-56.
- HOMBURG, C.J., 1986: Hattem: tektoniek in Midden-Nederland. Grondboor en Hamer 40, 151-162.
- HUIZINGA, T.K., 1945: Geologie en grondmechanica. Verh. Geol. Mijnb. Gen. van Nederl. en Kolon.; Geol. Ser. XIV 259-276.
- JELGERSMA, S. en BREEUWER J.B., 1975: Toelichting bij de kaart glaciële verschijnselen gedurende het Saalien. In: ZAGWIJN en VAN STAALDUINEN. p. 93-103.
- JONG, J.D. DE 1952: On the structure of the pré-glacial Pleistocene of the Archemerberg. Geol. en Mijnb. N.S. 14, 86-90.
- JONG, J.D. DE 1955: Geologische onderzoeken in de stuwwallen van oostelijk Nederland. Meded. Geol. Sticht. N.S. 8, 33-58.
- JONG, J.D. DE 1967: The Quaternary of the Netherlands. In: K. Rankama 1967: The Quaternary. Vol. 2, 301-426.
- KEILHACK, K., 1915: Das glaziale Diluvium der mittle-ren Niederlande. Jb. Königl. preusz. geol. L.A. 36, 458-497.
- MAARLEVELD G.C., 1981: The sequence of ice-pushing in the Central Netherlands. Meded. Rijks Geol. Dienst 34, 2-6.
- PANNEKOEK, A.J. en STRAATEN. L.M.J.U. VAN 1982: Algemene geologie. 3e druk.
- RUTTEN, M.G., 1960: Ice-pushed ridges, permafrost and drainage. Am. J. Science 258, 293-297.
- TESCH, P., 1927: De glaciële kneding. Tijdschr. Kon. Ned. Aardr. Gen. 2e serie, 44, 325-334.
- TEUNISSEN, D., 1961: Het Midden-nederlandse heuvelgebied. Diss 1961. In N.G.V. bibliotheek.
- THOME, K.N., 1959: Das Inlandes am Niederrhein. Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf. 4, 197-246.
- WATEREN, D.F.M. VAN DER 1981: Glacial tectonics at the Kwintelooyen Sandpit, Rhenen, The Netherlands. Meded. Rijks Geol. Dienst 35, 252-268.
- WATEREN, D.F.M. VAN DER 1985: A model of glacial tectonics, applied to the ice-pushed ridges in the Central Netherlands. Bull. geol. Soc. Denmark. 34, 55-74.
- WEE, M.W. TER 1962: The Saalien glaciation in the Netherlands. Meded. Geol. Sticht. N.S. 15, 57-76.
- ZAGWIJN, W.H., 1974: The palaeogeographic evolution of the Netherlands during the Quaternary. Geol. en Mijnb. 53, 369-385.
- ZAGWIJN, W.H. en STAALDUINEN. C.J. VAN 1975: Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland.
- ZANDSTRA, J.G., 1971: Geologisch onderzoek in de stuwwal van de oostelijke Veluwe bij Hattem en Wapenveld. Meded. Rijks Geol. Dienst, N.S. 22, 215-260.