

ENKELE NIEUWE RESULTATEN EN EEN OVERZICHT VAN HET ONDERZOEK NAAR DE AARD VAN STEENORIËNTATIE IN KEILEEM

M. RAPPOL *

SAMENVATTING

Ten minste twee belangrijk verschillende ijsbewegingsrichtingen kunnen voor het nederlandse Saalien worden afgeleid. Ze gaan samen met aanzienlijke verschillen in de keileempetrografie. Gedurende een eerste fase van glaciatie stroomde het ijs in zuidwestelijke richting en deponeerde vooral Zuid-Baltisch materiaal, daarna werd Oost-Baltisch en Oost-Centraal-Baltisch materiaal afgezet tijdens een ijsbeweging in zuidoostelijke richting. Een dergelijke reconstructie vindt steun in de resultaten van steenoriëntatiemetingen in keileem.

INLEIDING

Het meten van de steenoriëntatie in keileem (grondmorene) is een belangrijk hulpmiddel bij de reconstructie van stroomrichtingen in reeds lang verdwenen landijs en gletsjers. De overeenkomst in de oriëntatie van langwerpige stenen in keileem en de bewegingsrichting van het ijs werd al in de vorige eeuw opgemerkt, maar pas door RICHTER (1932) en HOLMES (1941) door middel van systematisch onderzoek aangetoond. Sindsdien vormt dergelijk onderzoek een standaardmethode bij het onderzoek van glaciogene afzettingen, vooral in de gebieden welke bedekt zijn geweest door de Pleistocene ijskappen van Noord Europa en Amerika.

In Nederland is de methode echter weinig toegepast, hetgeen vooral een gevolg zal zijn van de negatieve resultaten welke door de eerste onderzoekers werden verkregen. Tot voor kort werd aangenomen dat het Saalien keileem in Nederland, onder meer als gevolg van ont-

kalking en kryoturbatie, geen voorkeursrichting in de steenoriëntatie bezit welke overeenkomt met de ijsbewegingsrichting. Recent onderzoek heeft echter aangetoond dat dit slechts gedeeltelijk het geval is en dat, wanneer men ongestoorde grondmorene bemonstert, er wel degelijk voorkeursrichtingen aanwezig zijn welke met de lokale of regionale stroomrichting van het landijs samenhangen (RAPPOL 1983). In dit artikel wil ik deze resultaten beknopt samenvatten en enkele nog niet gepubliceerde gegevens daaraan toevoegen.

Bij het tot stand komen van dit artikel ben ik dank verschuldigd aan: Kier van Gijssel voor hulp in het veld, Kick Hemker voor de programmering en het gebruik van het rekentuig, en Chris Gnabilié en Han van Maaren voor de reproductie van de figuren.

DE GEVOLGDE METHODE

In een ontsluiting werden een of meerdere plekken uitgezocht welke geschikt werden geacht voor het bepalen van de steenoriëntaties, dat wil zeggen, onder de gekryoturbeerde zone en meestal vlak boven de ondergrens van het keileem. Ook plaatsen met sterk gestoorde structuren als gevolg van glaciale deformatie werden in het algemeen gemedan.

De oriëntatie en helling van de lengte-assen van i.h.a. 40 langwerpige steentjes werden ingemeten met een normaal kompas op 5° nauwkeurig. De lengte van de steentjes varieerde tussen 2 en 10 cm en alleen steentjes waarvan de langste as $1.4 \times$ langer is dan de grootste breedte werden geselecteerd. In de diagrammen zijn de meetresultaten ingetekend op de onderste bolhelftprojectie met Schmidt-net verdeling, terwijl ten behoeve van de zichtbaarheid ook een roosdiagram wordt gegeven met een klasse-interval van 10° .

Oriëntatie en sterkte van de resulterende driedimensionale vectoren zijn bepaald met behulp van een eigenwaarde methode, enigszins gewijzigd naar MARK (1973).

* Geological Survey of Canada,
Terrain Sciences Division,
601 Booth Street, Ottawa, Ontario,
Canada K1A 08

Ten tijde van de metingen (1979-1984) was de afwijking van de magnetische pool ten opzichte van het echte noorden rond 4° W (merk op dat in RAPPOL 1983: 155, wat dit betreft een onjuiste opgave wordt gedaan). In de diagrammen en kaart is deze correctie niet verwerkt; ze komt neer op een rotatie van ongeveer 4° tegen de loop van de wijzers van de klok in.

BESPREKING VAN VROEGERE ONDERZOEKINGEN

DE WAARD (1945) heeft de methode als eerste in Nederland beproefd, en geeft het resultaat van twee monsters van ieder 50 langwerpige steentjes uit een keileemput op de Aardjesberg bij Hilversum. Zijn diagrammen laten een duidelijke voorkeursoriëntatie zien in de richting NW-ZO. De Waard leidt hieruit een lokale ijsbewegingsrichting naar NW af, welke moet zijn beïnvloed door het aanwezige stuwwalreliëf. Vervolgens heeft DE WAARD (1949) veel metingen verricht in de keileemvoorkomens van de Noordoostpolder. Hoewel hier lokaal wel voorkeursrichtingen werden gemeten, verschilden deze in oriëntatie van plaats tot plaats. De meeste metingen gaven echter een meertoppig of richtingsloos resultaat. Een eenduidige relatie met de ijsbewegingsrichting ter plaatse kon dus niet worden aangetoond. Volgens DE WAARD (1949: 135) kan dit het gevolg zijn van stuwings na afzetting of van het oppersen van grondmorenemateriaal in spleten aan de basis van een stagnerende ijsmassa, zoals dat wel door GRIPP (1929) is beschreven.

LIGTERINK (1954) maakt melding van een duidelijke voorkeursrichting van de lengteassen van langwerpige stenen in een veld bij Emmen. Zijn bepaling is echter niet kwantitatief en komt in richting ook niet overeen met latere bepalingen in deze omgeving (RAPPOL 1983). Het is daardoor moeilijk de betekenis van Ligterink's waarneming te duiden.

Hierna hebben BOEKSCHOTEN & VEENSTRA (1967) zich met het verschijnsel bezig gehouden. Ook zij vonden geen voorkeursrichtingen welke aan een lokale ijsbeweging gekoppeld konden worden. Naast stuwings, worden ontkalking en krypturbatie na afzetting genoemd als storende factoren. Uit de beschrijvingen blijkt dat zeker een deel van de metingen werd verricht in de gekrypturbeerde zone, welke in het algemeen de bovenste 1,5 m van het keileemprofiel omvat. Het mag niet

verwonderlijk heten dat in deze sterk gestoorde zone de eventueel eerder aanwezige voorkeursrichting is verdwenen.

Wat betreft ontkalking als maakselverstorend proces, kan het volgende worden opgemerkt. Het 'normale' keileem, waar niet ont kalkt, bevat meestal minder dan 7% CaCO_3 -equivalent carbonaten in de fractie kleiner dan 2 mm. De fijn-grind fractie bevat tot 30% sterk kalkhoudende gesteentefragmenten, maar maakt op zich slechts enkele procenten van de totale keileemmassa uit. Het oplosbare bestanddeel zal in het algemeen zeker minder dan 10% van het totale keileemmateriaal omvatten. Deze zal gelijkmatig over de keileem verdeeld zijn en, tenzij het om grote kalksteenblokken gaat, mag verwacht worden dat het keileemmaaksel niet noemenswaard verstoord zal worden als gevolg van de afvoer van de oplosbare bestanddelen en de daarop volgende inzakking. Bovendien zal in een dergelijk geval de inzakking aan de basis van de keileem zeer gering zijn, en alleen bovenin het profiel mogelijk van belang zijn als gevolg van het cumulatieve effect. Daarbij dient ook vermeld te worden dat geregeld wordt waargenomen dat de keileemstructuur na ont kalking toch niet is ingezakt. Vooral waar het keileem onder het grondwaterniveau heeft gelegen worden de plaatsen, waar zich voorheen sterk kalkhoudende gesteentefragmenten bevonden, vaak terug gevonden als holten, met onderin een drapering van zeer fijn niet-oplosbaar residu.

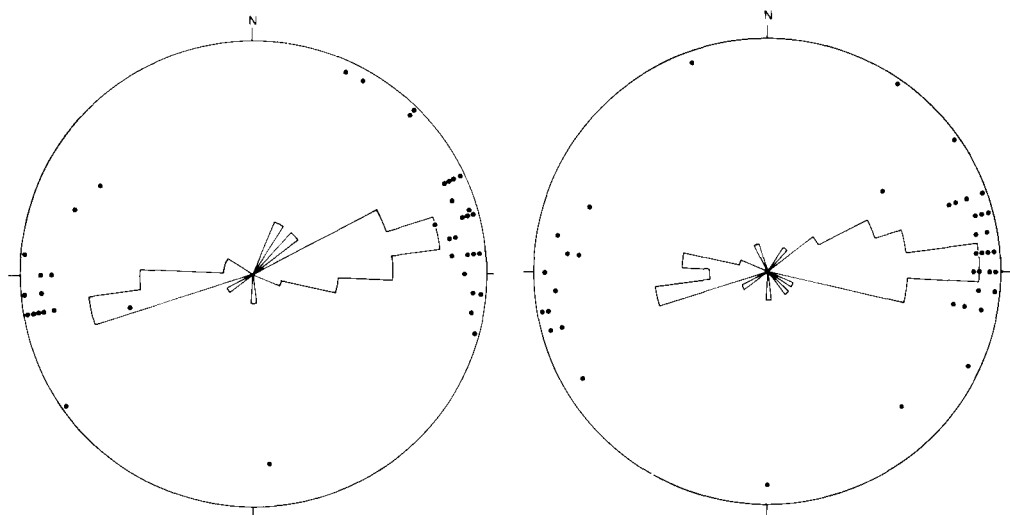
Al met al lijkt er weinig reden om een verre gaande desorganisatie van het keileemmaaksel als gevolg van ont kalking te verwachten, te meer daar resultaten van onderzoekers in noord Duitsland (o.a. RICHTER 1950, EHLERS 1978, SCHRÖDER 1978) hier ook niet op wijzen, en bovendien omdat de resultaten verkregen door de schrijver in Nederland wel degelijk een relatie aangeven tussen steenoriëntatie in ont kalkte keileem en de ijsbewegingsrichting welke mede op grond van gegevens van andere aard kan worden verondersteld (RAPPOL 1982, 1983).

De negatieve resultaten verkregen in de keileemplekken van de Noordoostpolder (DE WAARD 1949, BOEKSCHOTEN & VEENSTRA 1967) blijven toch merkwaardig. Stuwings en/of schuifdeformatie vanuit verschillende opeenvolgende richtingen zijn hier mogelijk toch de oorzaak van. Glaciodynamische structuren in het keileem worden wel beschreven door de Waard.



Fig. 1: Vertikaal staande stenen in de gekryoturbeerde zone van het keileem in de groeve Winterkampen bij Markelo. Dit verschijnsel wordt meestal toegeschreven aan vorstwerking.

Fig. 2: Steenoriëntatiediagrammen voor het keileem in de groeve Markelo-Winterkampen. Het linker diagram geeft het resultaat van een serie metingen op een diepte van 1,5 m o.m., rechts op 3,5 m diepte.



ENKELE NIEUWE RESULTATEN

Markelo

De groeve Winterkampen bij Markelo (Overijssel) wordt aangemerkt als de type-localiteit van het Markelo keileem-type (ZANDSTRA 1983a, pers. meded.). Een zwerfsteentelling van de heren Schuddebeurs en Jager werd opgenomen in ZANDSTRA (1983b). De resultaten geven hier een overwegend Zuid-Baltisch zwerfsteengezelschap aan (Hesemann Formule: 2260). Er zijn eigenlijk twee groeves, direct naast elkaar gelegen, waarvan de oostelijke grotendeels is overstort en ingevuld. Er werden hier nog wel keileemdiktes van meer dan 5 m waargenomen. In de westelijke groeve is het keileem iets dunner (2-5 m), en geheel ontkalkt. Het keileem wordt gekenmerkt door een gering percentage vuursteen en kwarts in het fijne grind. Ook wat betreft korrelgrootte-verdeling en zware-mineralen-samenstelling ligt het keileem tussen de vuursteen-rijke en vuursteen-arme keileemtypen van Nederland in (RAPPOL & STOLTENBERG 1985).

Het keileem is sterk geband van uiterlijk, met variaties in kleur en textuur tussen de verschillende lagen. Aan de basis kan veel gesorteerd materiaal van de ondergrond zijn opgenomen, waar zich een zone met afwisselende lagen zand en keileem bevindt, dan wel een lokaal morene tot 1.5 m dik. Aan de bovenzijde is het keileem over een dikte van ruim 1 m gekryoturbeerd. In deze zone werden veel vertikaal staande stenen waargenomen (fig. 1), een verschijnsel dat ook wel elders werd opgemerkt.

Op twee plaatsen werd de steenoriëntatie bepaald (fig. 2). Beide diagrammen geven overwegend grofweg oost-west gerichte steenoriëntaties aan, met een lichte voorkeur voor een helling in oostelijke richting.

BOEKSCHOTEN & VEENSTRA (1967) hebben zes steenoriëntatiemonsters gemeten in groeves bij De Hocht, ca. 1 km ten noordoosten van Winterkampen. Hun monsters gaven allen een meertoppig resultaat, maar vaak toch met de belangrijkste richting gelijk aan die, zoals gegeven in fig. 2. Verstoring als gevolg van kryoturbatie is waarschijnlijk de oorzaak voor de onduidelijke resultaten verkregen door genoemde auteurs.

Op grond van de regionale morfologie kan een lokale ijsbeweging in westelijke richting worden verondersteld. De groeve ligt juist ten westen van de poort tussen de stuwwallen Herikerberg en Apenberg, welke op grond van stuwingsmetingen door MAARLEVELD (1953) door een kleine, zich naar west strekkende lob lijken te zijn gestuwd. Waarschijnlijk is dezelfde ijsbeweging verantwoordelijk voor de oost-west gerichte steenoriëntatie in het keileem.

Hoogersmilde

Bij de zandzuigerij van de firma Roelfsema in Hoogersmilde (Drente) is een zwerfsteentelling verricht door ZANDSTRA (1972), met als resultaat een Hesemann Formule van 3340, een sterk gemengd gezelschap dus. In de zomer van 1983 werd een profiel aan de zuidzijde van de in

gebruik zijnde zuigplas bemonsterd. Het profiel bestond uit 30-40 cm dekzand, gelegen op ± 3 m keileem waarvan de bovenste 1,5 m zandinsluitels bevatte als gevolg van kryoturbatie; onder het keileem, op een diepte van 3,3 m onder het maaiveld. Juist onder de toenmalige waterspiegel werd fijn zand aangeboord, vermoedelijk behorende tot de vroeg-Saalien Eindhoven Formatie (TER WEE 1979: profiel E-E').

In het keileem bevat de fractie 3-5 mm tussen de 11,5 en 22,5% vuursteen (6 monsters), hetgeen met het resultaat van de zwerfsteentelling duidt op het Heerenveen keileem-type in de classificatie van ZANDSTRA (1983a).

De steenoriëntatiemeting werd verricht op een diepte van ongeveer 2,3 m onder het maaiveld, dus onder de gekryoturbeerde zone. Het diagram zoals gegeven in fig. 3, laat zien dat de meeste langwerpige stenen in een noordoostelijke richting hellen, waaruit een ijsbeweging in zuidwestelijke richting valt af te leiden.

Fig. 3 toont ook het resultaat van een meting verricht aan keileem ontsloten in een zuigput bij Opende, noordoost van Drachten (zie RAPPOL 1983). Er werden hier slechts 25 steentjes ingemeten, hetgeen de sterk onregelmatige vorm van het roosdiagram gedeeltelijk verklaart. De berekende eigenwaarden en gemiddelde richting zijn echter statistisch significant, terwijl de gevonden richting gecontroleerd kon worden aan deformatiestructuren onder het keileem. Ook hier duidt het richtingsonderzoek op een ijsbeweging in zuidwestelijke richting.

Fig. 3: Steenoriëntatiediagrammen voor het keileem in de groeve bij Hoogersmilde (links) en keileem bij Opende (rechts).

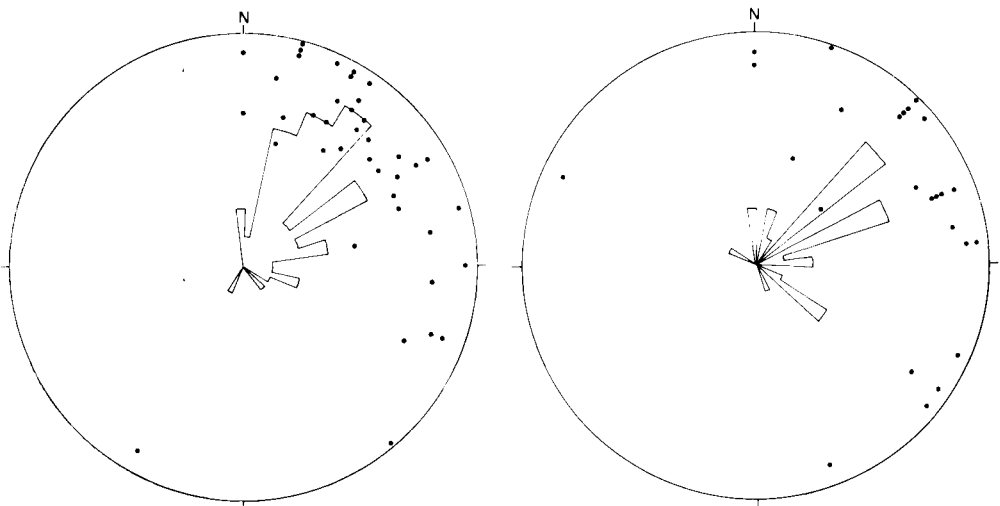




Fig. 4: Met keileem opgevulde vorstwig aan de basis van het keileem ontsloten bij Klazienaveen. Onder het keileem fijnzandige afzettingen vermoedelijk behorende tot de Elsterien Peelo Formatie. Aansteker geeft schaal. Deze plek is hierdoor ongeschikt voor steenoriëntatiemetingen.

Klazienaveen

Werkzaamheden aan de beschoeiing van de Verlengde Hoogetveense Vaart tussen Erica en Klazienaveen in de zomer van 1983, ontsloten een dwarsdoorsnede van de westelijke flank van de rug Klazienaveen-Emmerschans. Deze rug vormt de oostelijke aftakking van de Hondsrug in zuidoost Drente.

Het profiel is gedeeltelijk onthoofd door veenafgraving en/of bewerking van een andere aard, waarbij het keileem direct aan het oppervlak is komen te liggen. Aan de bovenzijde is het keileem over een dikte van minimaal 1 m gekryoturbeerd en vermengd met dekzand. De keileemdikte neemt in oostnoordoostelijke richting toe, van minder dan 1,5 m tot meer dan 3 m dicht bij het centrum van de rug. In het westelijke traject was het keileem ongeschikt voor bemonstering aangezien ze geheel door periglaciale processen was gestoord. Op één plek werd een vorstwig aangetroffen welke tot onder de basis van de keileem

doorliep en van bovenaf met keileem was opgevuld (fig. 4).

Het keileem is grijs van kleur, ontkalkt, en bevat 5-15% vuursteen in de fractie 3-5 mm (10 monsters). Op een plek werd een lens rood, vuursteen-vrij keileem aangetroffen, dicht tegen de basis van het grijze keileem (RAPPOL 1984). Bovendien werd in de zomer van 1984 een nieuw profiel bemonsterd, waar 1,5 m vuursteen-arm keileem op ruim 1 m vuursteen-rijk keileem lag. Het blijkt dus dat over zeer korte afstand de petrografische eigenschappen van het keileemprofiel zeer drastisch kunnen wisselen. Van de lokatie is geen zwerfsteentelling bekend, maar gezien de ligging binnen het Hondsrug complex en de grind en zware mineralen samenstelling (RAPPOL 1984) moeten we hier wel met keileem behorende tot de Assen groep (ZANDSTRA 1983a) te doen hebben (zie SCHUDEBEURS & ZANDSTRA 1983). De steenoriëntatiemeting werd verricht op ongeveer 1 m onder de gekryoturbeerde zone. De langwerpige gesteentefragmenten duiken overwegend in een richting juist oost van noord (fig. 5), hetgeen een lokale ijsbeweging in een zuidelijke richting suggereert.

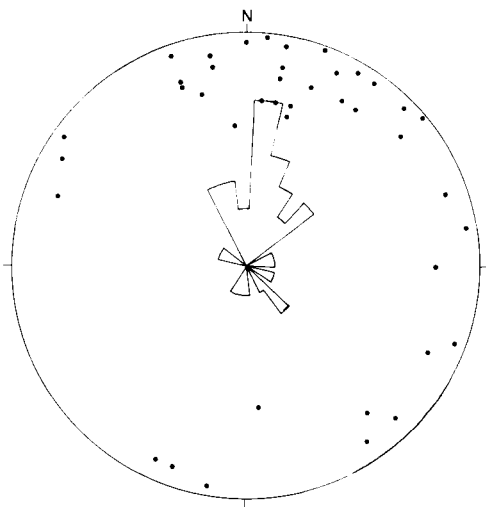


Fig. 5: Steenoriëntatiediagram voor het keileem bij Klazienaveen.

Stuwwal van Ootmarsum

De resultaten kunnen ook wel eens tegenvalen. In mei 1984 werden twee ongestoorde keileemprofielen aan weerszijden op de flank van de stuwwal van Ootmarsum bemonsterd, te weten in een ontsluiting langs de Onderbeek, juist ten zuiden van de oude Gemeentegroeve bij Vasse en

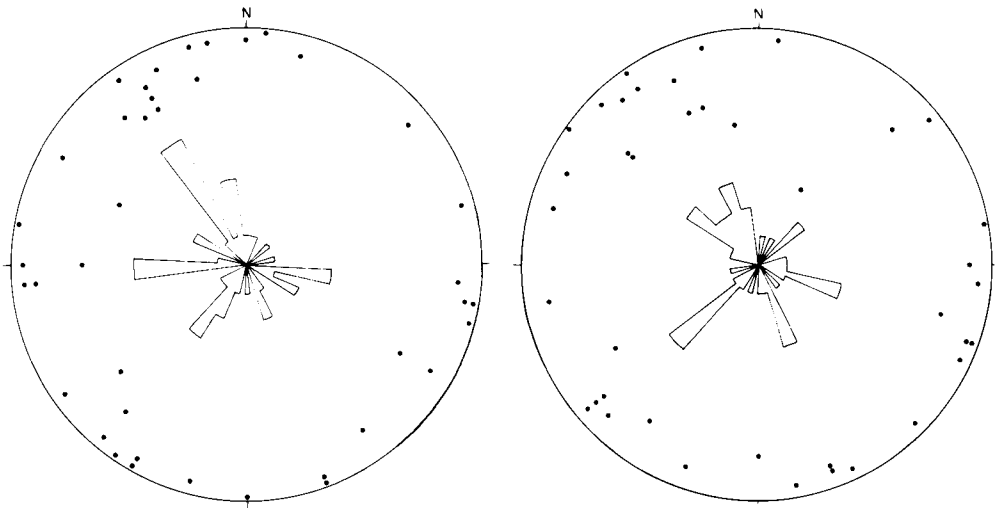


Fig. 6: Steenoriëntatiediagrammen voor het keileem op de stuwwal van Ootmarsum. Links: Onderbeek, rechts: Ootmarsum.

in een kleine ontsluiting ten noordwesten van Ootmarsum, genoemd in VAN MOURIK (1979). De resultaten zijn weergegeven in fig. 6 en vertonen een meertoppige verdeling. De berekende gemiddelde richtingen moeten worden beschouwd als betekenisloos. Eerder werd in de Gemeentegroef bij Vasse een steenoriëntatiemeting verricht (RAPPOL 1983). Deze duidt op een ijsbeweging in oostzuidoostelijke richting, waarbij vermoed wordt dat deze richting wel beïnvloed zal zijn door het aanwezige stuwwalreliëf.

Het keileem in dit gebied is zeer zandig en bevat extreem veel kwarts (50-70%) in het fijne grind, als gevolg van opname van lokaal materiaal tijdens overrijding van de stuwwal. In de ontsluiting bij Ootmarsum werd ook een kleine lens rood, vuursteen-vrij en kwarts-arm keileem aangetroffen tegen de basis van het bruingrijs, vuursteen-rijk keileem, hetgeen doet vermoeden dat we hier nog met de Emmen-groep van ZANDSTRA'S (1983a) classificatie te maken hebben (zie ook ZANDSTRA 1976: fig. 7).

OVERZICHT EN DISCUSSIE

De verkregen meetresultaten zijn statistisch verwerkt volgens een eigenwaarde methode (RAPPOL, in voorbereiding). In fig. 7 zijn de resulterende eigenvectoren voor de maximale clustering ingetekend naar lokatie, waarbij de lengte van de pijl een maat is voor de 'sterkte' van de vector. Vier metingen geven een zeer verspreide ligging der lengteassen aan en de resulterende

gemiddelde richting, zoals deze is ingetekend, moet als betekenisloos worden beschouwd. Drie metingen op het Drents Plateau ten westen van het Hondsrug complex geven een ijsbeweging in zuidwestelijke richting aan. Deze richting komt overeen met de morfologische lineatie en drainagerichting in dit gebied (EDELMAN & MAARLEVELD 1958), terwijl ook de positie van stuwwalachtige vormen en ondiepe glaciale bekkens aan de zuidzijde van het plateau op een ijsbeweging in zuidwestelijke richting wijzen (TER WEE 1983). Het keileem op de bemonsterde plekken behoort steeds tot het Heerenveen-type, zoals onderscheiden door ZANDSTRA (1983a). Deze richting wordt hier opgevat als de oudste gefossiliseerde Saalien ijsbewegingsrichting in Nederland.

Binnen het Hondsrug complex van zuidoost Drente vinden we richtingen welke variëren tussen zuidoost en zuidzuidwest. De strekking van de ruggen in het Hondsrug complex is $N15^{\circ}W-Z15^{\circ}O$, welke binnen de aangegeven variatie valt. Op grond van de beschikbare gegevens lijkt een laatste ijsbeweging in een richting evenwijdig aan de strekking van de ruggen aannemelijk (RAPPOL 1983, 1984). Deze ijsbewegingsrichting moet jonger zijn dan die van het westelijk gelegen Drents Plateau, op grond van het feit dat de lineatie van het Hondsrug complex de lineatie van het Drents Plateau ten westen van de Hondsrug afsnijdt, terwijl ook de samenstelling van het keileem wijst op een latere fase van afzetting voor de Hondsrug keileem oftewel Emmen-groep (RAPPOL 1983, ZANDSTRA 1983a: fig.

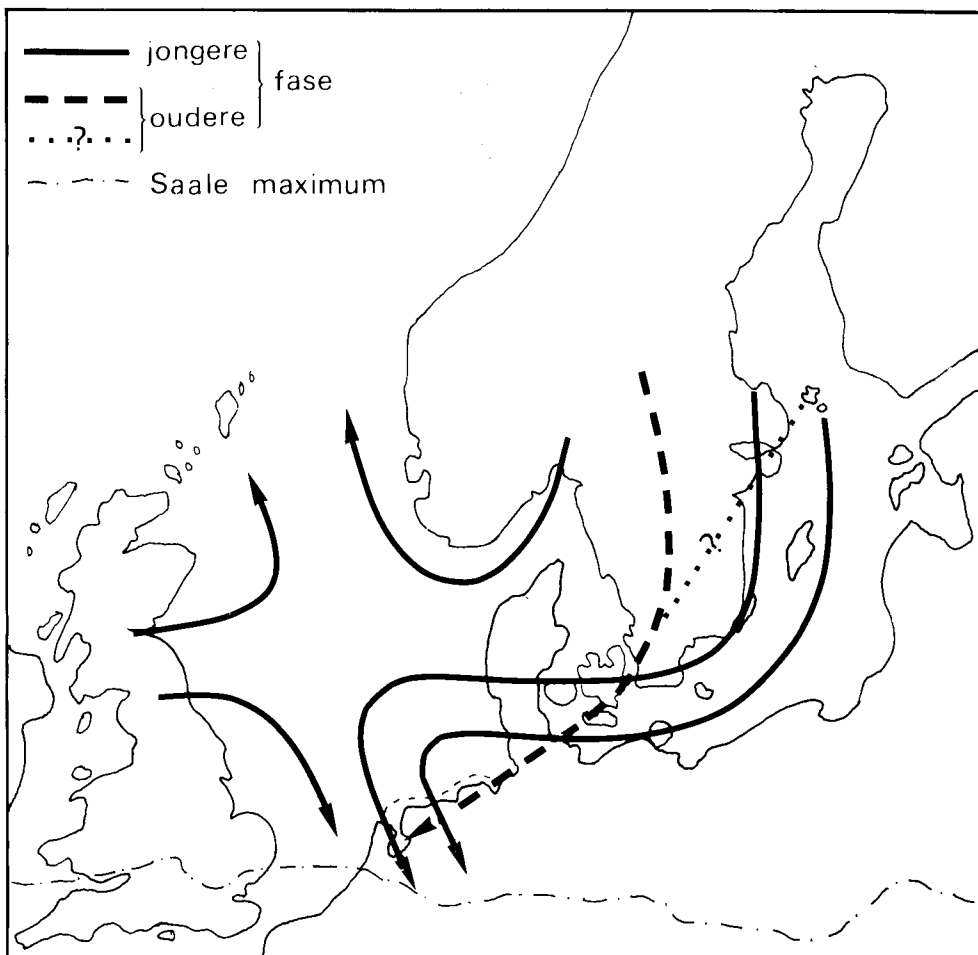


Fig. 7: De lokale ijsbewegingsrichting in Nederland zoals afgeleid uit de gemiddelde steenoriëntatie in keileem. De lengte van de pijl is een maat voor de sterkte van de resulterende vector, zoals berekend volgens de eigenwaarde methode (MARK 1973). 1. Emmerschans, 2. Erica, 3. Klazienaveen, 4. Weiteveen, 5. Opende, 6. Wijnjewoude, 7. Hoogersmilde, 8. Vasse-

Gemeentegroeve en -Onderbeek, 9. Ootmarsum, 10. Losser, 11. Markelo, 12. Winterswijk-Ratum, 13. Lunteren. De onderbroken pijl bij Erica geeft de gemiddelde richting welke werd bepaald aan structuren ontstaan door schuifdeformatie in het bovenste deel van het keileemprofiel.

369). Ook de zuidoostelijke ijsbeweging in het gebied van de Gelderse Vallei wordt hier beschouwd als een iets latere stroomrichting dan de zuidwestelijke van het Drents Plateau, waarbij het aannemelijk is dat ze synchroon is aan die van de Hondsrug. Figuur 8 illustreert dit model, dat in eerste instantie het model van EHLERS (1981, 1983) volgt, maar daar van af wijkt ter verklaring van de ijsbeweging in zuid(zuid)oostelijke richting voor het Hondsrug en Gelderse Vallei gebied. De ombuiging in stroomrichting ten noorden van Nederland gedurende de latere fase van glaciatie is mogelijk een gevolg van een

interactie tussen de Fennoscandische en Britse ijskappen. Iets dergelijks is ook al eens door DUBOIS (1902) verwoord, maar dan in een context die in die tijd nauwelijks steekhoudend was (zie JONKER 1905).

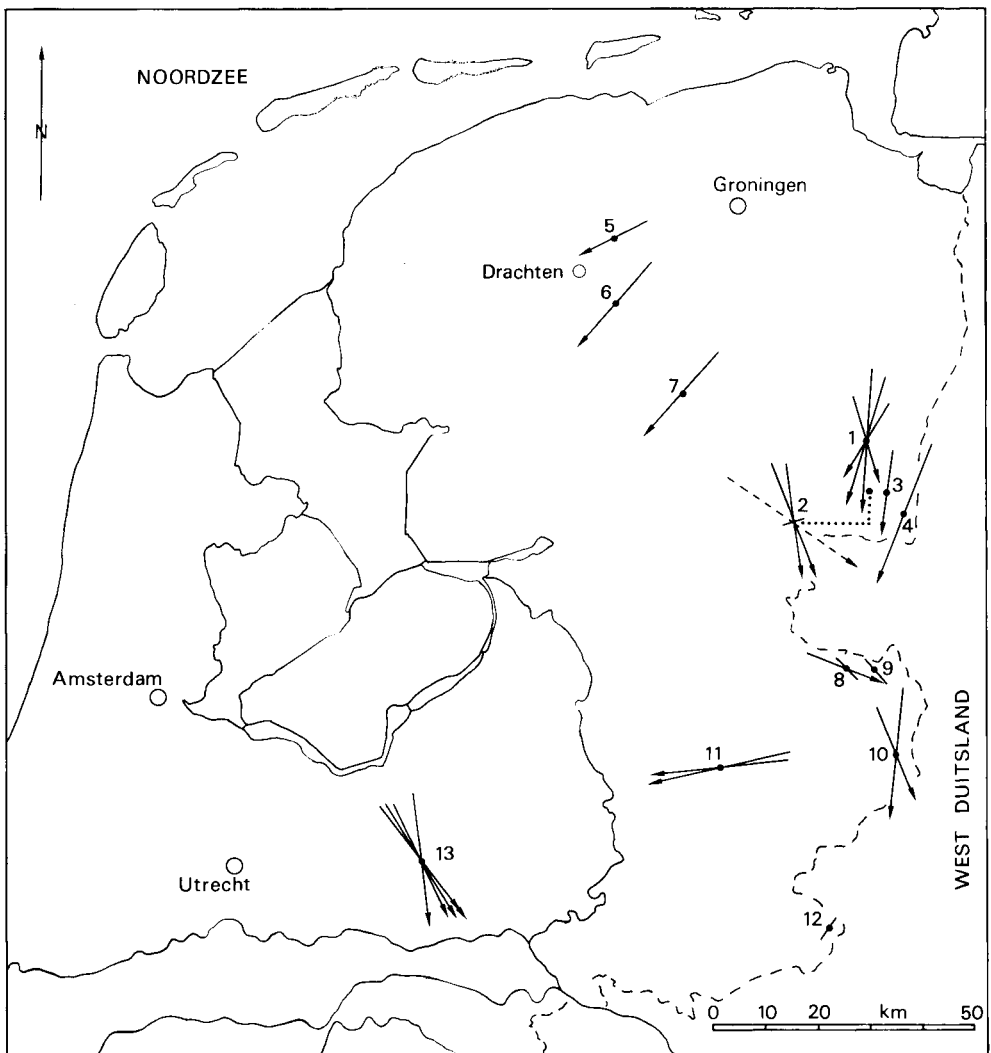
Voor Oost-Nederland is de situatie nog erg onduidelijk. De richting bij Markelo staat loodrecht op die welke werd gevonden bij Losser, terwijl BURCK (1950) vooral aanwijzingen vond voor ijsbeweging naar zuidwest en RÖMER (1972) grote verschillen in de lokale ijsbewegingsrichting vermoedt als gevolg van het relatief grote lokale reliëf. Nader onderzoek in dit

gebied is gewenst. Dit laatste geldt uiteraard niet alleen voor dat deel van Nederland. Er blijven steeds en steeds weer nieuwe glaciale verschijnselen die niet binnen een simplistisch glaciatiemodel zijn te vangen, hetgeen de mogelijkheid schept tot het naast elkaar bestaan van verschil-

lende modellen, allen op de lange duur even onwaarschijnlijk. Het summier geschetste model van fig. 8 heeft zeker nog ondersteuning door nader onderzoek, waarna het heel wel mogelijk is dat de kwestie toch weer ingewikkelder blijkt te zijn.

Fig. 8: Saalien ijsbewegingsrichtingen voor twee opeenvolgende fasen van de ijsbedekking in Nederland. Tijdens de vroegste fase werd vooral Zuid-Baltisch (Heerenveen-groep) materiaal afgezet bij een ijsbewegingsrichting naar het zuidwesten. Vervolgens werd Oost-Centraal-Baltisch (Rhenen-groep) en Oost-Baltisch (Emmen-groep) materiaal afgezet in resp. het Gelderse Vallei en Hondsrug gebied, nadat de ijsscheiding in Scandinavië zich in oostelijke richting verplaat-

ste (zie ook EHLERS 1983). Het voorkomen van Oost-Baltische keileem behorende tot de Voorst-groep in het bovenste deel van de Heerenveen-groep blijft problematisch; mogelijk vertegenwoordigt dit een overgangsfase. Er zijn geen aanwijzingen voor deglaciatie tussen de verschillende fasen. Voor details betreffende de samenstelling van de diverse keileem-groepen, zie ZANDSTRA (1983a).



SUMMARY

At least two important and different directions of ice movement can be derived for the Saalian ice cover of The Netherlands, which are associated with considerable differences in till petrography. During an early phase of glaciation, ice movement was to the southwest with deposition of till consisting predominantly of South-Baltic material. During a younger phase, East-Baltic and East-Central-Baltic material was deposited by ice moving in a southeasterly direction. This reconstruction finds support in the results of clast-fabric analyses of the tills.

ZUSAMMENFASSUNG

In der Saale-Eisbedeckung der Niederlande sind zumindest zwei wichtige und verschiedene Eisbewegungsrichtungen zu unterscheiden, welche mit einer ganz verschiedenen Geschiebelehm-petrographie zusammengehen. Während eine erste Phase gab es eine Eisbewegung in südwestliche Richtung und Ablagerung von Geschiebelehm der vorherrschend südbaltisches Material enthält; während eine jüngere Phase war die Eisbewegung in südöstliche Richtung, mit Ablagerung von ostbaltischem und ostcentralbaltischen Material. Eine derartige Rekonstruktion lässt sich durch Geschiebeeinregelungsmessungen bestätigen*).

* Met dank aan mevrouw A.C.H.M. Niessen voor de correctie.

LITERATUUR

- BOEKSCHOTEN, G.J. en VEENSTRA, H.J., 1967: Over stenenoriëntatie in het nederlandse Pleistocene. *Geol. Mijnbouw* 46, p. 195-205.
- BURCK, H.D.M., 1950: De bewegingsrichting van het landijs in oostelijk Midden-Nederland. *Publ. Ned. Geol. Ver.* 8, p. 34-43.
- DUBOIS, E., 1902: De geologische samenstelling en wijze van ontstaan van den Hondsrug in Drenthe. *Versl. Kon. Ned. Akad. Wetensch.* 11, p. 43-50 en 150-152.
- EDELMAN, C.H. en MAARLEVELD, G.C., 1958: Pleistozän-geologische Ergebnisse der Bodenkartierung in den Niederlande. *Geol. Jahrb.* 73, p. 639-684.
- EHLERS, J., 1978: Die quartäre Morphogenese der Harburger Berge und ihre Umgebung. *Mitt. Geogr. Ges. Hamburg* 68, 181 pp.
- EHLERS, J., 1981: Problems of the Saalian stratigraphy in the Hamburg area. *Med. Rijks Geol. Dienst* 34, p. 26-29.
- EHLERS, J., 1983: Different till types in North Germany and their origin. In: Evenson, E.B., Schlüchter, C.H. en Rabassa, J. (red.). *Tills and Related Deposits*, p. 61-80. Balkema, Rotterdam.
- GRIPP, K., 1929: Glaciologische und geologische Ergebnisse der Hamburgischen Spitzbergen-Expedition 1927. *Abh. naturwiss. Ver. Hamburg* 22, p. 145-249.
- HOLMES, C.D., 1941: Till fabric. *Geol. Soc. Am. Bull.* 52, p. 1299-1354.
- JONKER, H.G., 1905: Some observations on the geological structure and origin of the Hondsrug. *Roy. Acad. Sci. Proc. Meet.* June 24, 1905, p. 96-104.
- LIGTERINK, G.H., 1954: De Hondsrug en het dal van de oer-Eems. *Tijdschr. Kon. Ned. Aardr. Gen.* 71, p. 105-121.
- MAARLEVELD, G.C., 1953: Standen van het landijs in Nederland. *Boor en Spade* 6, p. 95-105.
- MARK, D.M., 1973: Analysis of axial orientation data, including till fabrics. *Geol. Soc. Am. Bull.* 84, p. 1369-1374.
- MOURIK, J.M. van, 1979: Een model voor fysisch-geografisch veldpracticum in het VWO. *Geogr. Tijdschr.* 13, p. 211-227.
- RAPPOL, M., 1982: Elongated-clast fabric of Saalian till in The Netherlands. *Int. Rapp. Fys.-Geogr. Bodemk. Lab., Univ. Amsterdam* 14, p. 49-60.
- RAPPOL, M., 1983: Glacigenic Properties of Till. *Studies in glacial sedimentology from the Allgäu Alps and The Netherlands. Publ. Fys.-Geogr. Bodemk. Lab., Univ. Amsterdam* 34, 225 pp.
- RAPPOL, M., 1984: Till in southeast Drenthe and the origin of the Hondsrug complex, The Netherlands. *Eiszeitalter u. Gegenwart* 34, p. 7-27.
- RAPPOL, M., in voorbereiding: Clast fabric of till and debris flows compared for different environments.
- RAPPOL, M., en STOLTENBERG, H.M.P., 1985: Compositional variability of Saalian till in The Netherlands and its origin. *Boreas* 14, p. 33-50.
- RICHTER, K., 1932: Die Bewegungsrichtung des Inlandeises, rekonstruiert aus den Kritzten und Längsachsen der Geschiebe. *Z. f. Geschiebeforschung* 8, p. 62-66.
- RICHTER, K., 1950: Die Entwicklungsgeschichte der Täler zwischen Lathen und Verden/Aller. *Geol. Jahrb.* 65, p. 641-656.
- RÖMER, J.H., 1972: Waarnemingen over de beweging van het landijs in Overijssel. *Grondboor en Hammer* 26, p. 175-181.
- SCHRÖDER, 1978: Geomorphologische Untersuchungen im Hümmling. *Göttinger Geogr. Abh.* 70, 113 pp.

- SCHUDEBEURS, A.P. en ZANDSTRA, J.G., 1983: Indicator pebble counts in the Netherlands. In: Ehlers, J., (red.), *Glacial Deposits of North-West Europe*, p. 357-360. Balkema, Rotterdam.
- WAARD, D. de, 1945: Bijdrage tot de kennis van het glaciële Diluvium in Het Gooi. *Verh. Ned. Geol.-Mijnbouw. Gen., Geol. Ser. 14*, p. 551-555.
- WAARD, D. de, 1949: Glacigeeen Pleistoceen. Een geologisch detailonderzoek in Urkerland (Noord-oostpolder). *Verh. Ned. Geol.-Mijnb. Gen. Geol. Ser. 15*, p. 70-246.
- WEE, M.W. ter, 1979: Toelichting bij de geologische kaart van Nederland 1:50.000. Blad Emmen West (17 W) en Blad Emmen Oost (17 O). 218 pp. Rijks Geol. Dienst, Haarlem.
- WEE, M.W. ter, 1983: The Saalian glaciation in the northern Netherlands. In: Ehlers, J., (red.), *Glacial Deposits in North-West-Europe*, p. 405-412. Balkema, Rotterdam.
- ZANDSTRA, J.G., 1972: Notities over heidegrond en hun ontginning en twee nieuwe zwerfsteentellingen in Drente. *Grondboor en Hamer* 26, p. 3-14.
- ZANDSTRA, J.G., 1976: Sedimentpetrographische Untersuchungen des Geschiebelehrs von Emmer-schans (Drenthe, Niederlande) mit Bemerkungen über eine Typeneinteilung der Saale Grundmoräne. *Eiszeitalter u. Gegenwart* 27, p. 30-52.
- ZANDSTRA, J.G., 1983a: Fine gravel, heavy mineral and grain-size analyses of Pleistocene, mainly glacial deposits in the Netherlands. In: Ehlers, J., (red.), *Glacial Deposits in North-West Europe*, p. 361-376. Balkema, Rotterdam.
- ZANDSTRA, J.G., 1983b: A new subdivision of crystalline Fennoscandian erratic pebble assemblages (Saalian) in the central Netherlands. *Geol. Mijnbouw* 62, p. 455-469.