

SPOREN VAN GLACIAAL TRANSPORT OP ZWERFSTENEN

A.P. Schuddebeurs*

Stenen met gletscherkrassen zijn een 'must' voor iedere amateurgeoloog, schreef Prof. Boekschoten in zijn bewerking van P. VAN DER LIJN's Keienboek (1973). Gelukkig is het verwerven van zo'n 'must' althans in Noord-Nederland niet moeilijk. In vrijwel iedere hoop stenen die bij de bewerking van de akkers opzij wordt geworpen is wel een gekraste steen te vinden. Die krassen zijn vooral op fijnkorrelige en dichte gesteenten zoals kwartsieten, porfieren en helleflinten te zien. Waar de grondmorene nog kalkrijk is, zullen stellig ook fraai bekraste kalkstenen te vinden zijn. Deze maken duidelijk dat het keileem weinig verweerd is. Vooral in zulke frisse keilemen zijn ook veel grofkorrelige granieten en gneizen met mooie slijpvlakken te vinden.

Gletscherkrassen vormen het bewijs, dat de stenen door gletschers - in ons land door het landijs - werden vervoerd. De in het ijs opgenomen stenen schuiven over het gletscherbed en afhankelijk van de relatieve hardheid werd het gletscherbed of de steen gekrast. Deze verklaring is ons wel vertrouwd. Toch kwam er wel iets meer bij kijken.

Er mag van worden uitgegaan, dat de grondmorene vanaf het beginpunt behalve rotsblokken, keien en grind ook veel kleinere korrels bevatte zoals zand en klei. Als die als polijstmiddel optredende korrels het hardste zijn, worden bedding en zwerfsteen bekrast. Meestal zullen bedding, stenen en slijpmiddel afslijten. Zo wordt het gehalte fijnkorrelig materiaal gaandeweg vergroot ten koste van het grovere. Hoe snel dat kan gaan bewezen BOULTON en VIVIAN (1973) tijdens een experiment met een IJslandse gletscher. Daarin wisten ze onderin marmeren blokken te plaatsen. Nadat de gletscher 9,5 m was voortgeschoven bleek 1 mm van de basaltbedding en gemiddeld 3 mm van de marmerblokken afgeschuurd te zijn.

De meeste gletscherkrassen verlopen parallel aan de lengteas van de keien; een aanwijzing te meer voor de bewegingsrichting van het ijs ter

plaatse. Immers in ongestoord keileem liggen de lengteassen van de zwerfstenen veelal in dezelfde richting als de beweging van het gletscherijs is geweest. Er worden echter ook zwerfkeien gevonden die meer dan één gekrast vlak hebben. Soms vormen twee gekraste vlakken een stompe hoek. Als de krassen dan op beide vlakken in dezelfde richting lopen ligt de veronderstelling voor de hand, dat zo'n steen alleen wat gekanteld is. Dat is echter lang niet zeker. Er worden namelijk ook stenen gevonden die aan drie zijden gekrast zijn. In doorsnee gezien benadert hun vorm vrij goed een driehoek met min of meer bijgeronde punten. Vier- en zelfs vijfzijdig afgeslepen stenen komen eveneens voor, al zijn ze zeldzamer.

Duitsers noemen zulke meerzijdig gekraste keien 'Kantengeschicbe' of ook wel 'Fazettengeschicbe', waarop de richting van de gletscherkrassen per vlak kan verschillen. Moet nu worden aangenomen, dat die stenen alsmaar over het gletscherbed gekanteld zijn of is er iets anders aan de hand geweest? Hoe zouden we ons dat kantelen van die stenen moeten voorstellen, stevig vastgevroren en bedolven onder een enorme dikke laag ijs als ze zijn?

Wie in de Alpen een gletschertong - dat is het eind van de gletscher juist voor het ijs smelt - beklimt, krijgt wellicht de indruk dat zich in die grauwe massa nauwelijks ijs bevindt, zoveel stenen liggen er op elkaar gestapeld.

Toch blijkt er dan genoeg ijs te zijn om er een spekglad geheel van te maken. Hoger klimmend wordt allengs een steeds wittere wereld bereikt. Eerst zien we hier en daar nog een steen of donkere banden gesteentestof, maar verder omhoog is meestal alleen ijs, fiern of sneeuw te vinden. Onderzoek bevestigt die indruk. SUGDEN en JOHN (1977) delen mee, dat in de zogenaamde warme gletschers in de Alpen waarbinnen een aanzienlijke waterhuishouding bestaat, aan de basis wel 55% puin aanwezig kan zijn. Maar misschien is het beter de omstandigheden in het pleistocene landijs te vergelijken met die op Groenland of Antarctica. Daar bestaan koude

* Dennenlaan 2, 9331 CK Norg

gletschers waarin zich weinig of geen water bevindt, ook niet aan de basis. Deze vervoeren weinig, sommige zelfs helemaal geen morenemateriaal. De Barnegletscher in Victorialand bijvoorbeeld bevat volgens ANDREWS (1972) in z'n geheel voor slechts 0,05 volumeprocenten gesteentepuin, terwijl dat aan z'n basis kan variëren van 5 tot 8%. Uiteraard kunnen zulke gehalten aanzienlijk beïnvloed worden door lawines en vooral door bergstoringen. Daarmee kunnen enorme hoeveelheden puin bovenop de gletscher terecht komen en voor een deel ook erin.

Ongetwijfeld zullen de stenen in de grondmorene elkaar raken en dat zal niet erg zachtzinnig gebeuren. Het erop rustende ijs betekent een enorme belasting, zeker onder het drie of zelfs vier km dikke landijs. Die hoge statische druk op zichzelf hoeft echter nog niet tot deformatie van de stenen te leiden. Granieten doorstaan een druk die drie tot acht maal hoger is eer ze verpulveren en bazalten een nog hogere. Daarbij komt, dat ijs weker wordt naarmate de druk hoger is en dan de neiging vertoont om obstakels heen te gaan. Het is evenwel zeker, dat de stenen en rotsblokken in de gletscher kleiner worden. De vraag rijst: op welke wijze?

De meeste gletschers bewegen. In gebergten veroorzaakt de zwaartekracht het voortschuiven tot in veel lagere dalen. Zelfs op een horizontale ondergrond zal het ijs zich vanaf de dikste centra naar de dunnere buitenrand bewegen. De snelheid waarmee dat gebeurt wordt bepaald door:

- temperatuur en dichtheid van het ijs;
- de verschillen in ijsdikte;
- het beladen zijn met puin;
- de morfologie c.q. de topografie van de ondergrond; het gletscherbed;
- de zwaartekrachtversnelling.

Deze invloeden hebben tot gevolg dat gletschers zich nooit over hun volle lengte, breedte of dikte met dezelfde snelheid zullen voortbewegen.

Gletschers zijn opgebouwd uit ijspakketten of lamellen. Ook de lamellen kunnen onderling verschillen in snelheid en in richting. Het over elkaar schuiven van die lamellen gaat betrekkelijk gemakkelijk. De afschuifspanning van ijs is, afhankelijk van de temperatuur, tussen een halve en twee bar, wat nagenoeg overeenkomt met een druk van 0,5 à 2 kg/cm². Deze afschuifspanning welke de maximale kracht bepaalt die het ijs op de vaste rotsbodem kan uitoefenen is stellig niet



Fig. 1: Gletscherkrassen en paraboolkrassen op kwartsietische zandsteen. Vindplaats? Foto K. Hulshof. Verz. Drents Museum, Assen.

groot genoeg om fris, onverweerd gesteente af te schuiven. Geheel anders wordt het echter wanneer er veel stenen in het ijs zijn opgesloten.

Bekend is, dat de met morene doorspekte lamellen moeilijker in versnelling raken dan die van louter ijs. Zo'n ijs-gesteentemengsel is ook veel moeilijker te vervormen dan zuiver ijs en tevens af te remmen. Niettemin gebeurt dit alles. Al eerder (SCHUDEBEURS 1958) gebruikte ik de volgende vergelijking:

Een losse locomotief zal bij een niet te grote snelheid door een stootblok tot staan gebracht kunnen worden. Komt achter de locomotief een lange trein met dezelfde snelheid, dan kan het stootblok beschadigd, misschien zelfs vernietigd worden. Wel nu, op analoge wijze kan in de gletscher een op de ondergrond stuitend blok de locomotief zijn die op een bepaald punt drukt, waarbij de gletscher massa de rol van de trein uit ons voorbeeld overneemt.

Dat deze vergelijking niet erg mank gaat beweest MC CALL (1960). Hij berekende, dat een granietblok van 1 m³ in de gletscher een voortschuivende kracht kan ontwikkelen van 50.000 kg. Met enig voorbehoud nam hij aan dat die kracht eventueel voldoende zou zijn om een uitsteeksel van 16 cm dikte van de vaste rots af te schuiven. Deze horizontaal in het ijs werkende krachten nemen niet gelijkmatig toe omdat, zoals hiervoor reeds gezegd, het ijs weker wordt bij toenemende druk. Maar de op het geheel van ijs en morene werkende krachten nemen wel toe, naarmate de grootte van de blokken en de hoeveelheid stenen toeneemt. Al deze berekeningen en overwegingen gaan uit van de veronderstelling, dat de snelheid van de gletscher constant is. Maar er treden, zij het met horten en stoten en kort van duur, veel grotere krachten op.

Hoe dat horten en stoten uitwerkt op het gletscherbed werd het eerst door LJUNGER (1924) verklaard. Naar zijn mening zijn de series achter elkaar geplaatste paraboolvormige barsten (Paraboolrisse, crescentic fractures) veroorzaakt door rotsblokken die niet geheel rechtlijnig maar lichtgolvend met heel kleine sprongen werden voortgestuwd. Gegeven een blok, vastgevroren aan het gletscherbed. Er wordt door de gletscher massa druk op uitgeoefend. Toenemende druk bevordert die aggregatietoestand waarbij de stof het kleinste volume inneemt: ijs wordt dan water. Het blok komt los, kan vooruitschieten tot het opnieuw vastvriest of op een obstakel stuit waarna het proces zich herhaalt (fig 1). De zo door het ijs gevormde paraboolbarsten kunnen minder dan een mm tot enkele dm's uit elkaar staan; ze kunnen enkele mm's tot een halve m breed zijn en



Fig. 2: Sikkalbreuken op kwartsietische zandsteen van Westerlee. Foto K. Hulshof. Verz. schrijver.

een maximale diepte van meerdere cm's bereiken. Niet zelden zijn ze min of meer uitgewist door jongere gletscherkrassen.

Volgens een zelfde principe maar op wat grovere schaal, zijn de sikkalbreuken (Sichelbruche, crescentic fractures) ook in series achter elkaar gevormd (fig. 2). Meestal op zichzelf staan de schelpvormige breuken (Muschelbruche): veel dieper littekens door het schuivend ijs veroorzaakt. Ze komen voor in grootten van enkele cm's tot enkele meters. LJUNGER (1924) nam aan, dat ze voornamelijk ontstaan wanneer een blok een randpartij afdrukt. Onder de zwerfstenen zien we ze vooral in vuursteen (fig. 3) waarbij bezwaarlijk van een randpartij kan worden gesproken. Daarbij komt nog, dat vooral in dunne, platte vuurstenen zulke schelpvormige breuken worden aangetroffen, soms aan beide zijden.

Twee of drie achtereenvolgende schelpvormige breuken, steeds een etage lager, noemde Ljunger 'fläk', (figuren 4, 5 en 6). We mogen aannemen dat Ljunger dat woord heeft afgeleid van 'fläkka up'; dat is uit elkaar scheuren.

Ljunger baseerde zijn mening over al deze door het ijs aangebrachte littekens in vaste rotsen op waarnemingen in Zweden, de Alpen en de Andes. Mij lijkt het echter aan geen twijfel onderhevig, dat niet alleen gletscherbeddingen en de direct daarop liggende stenen de verbrijzelen- de werking van het ijs hebben ondergaan, maar dat ook de keien hoger in de grondmorene een zelfs meerzijdige druk van hun buurman onder-

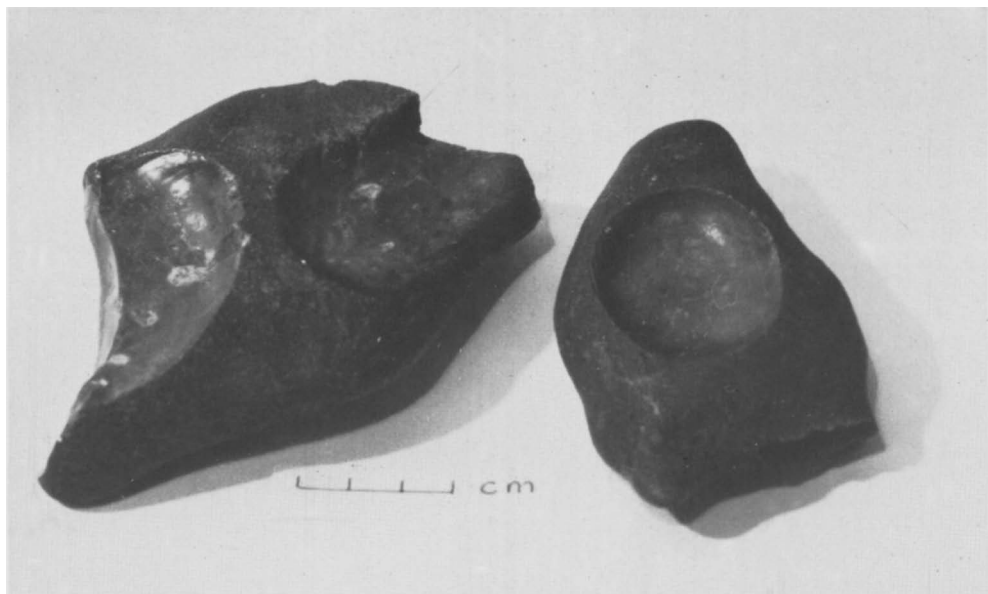


Fig. 3: Schelpvormige breuken in vuurstenen met aan de breukrand kleinere beschadigingen van erop drukkende stenen. Ook aan de achterzijden zo'n breuk. Zwerfsteen van Norg. Verz. schr.; resp. van Blesdijkerveld, verz. H. Jager. Foto K. Hulshof.

vonden. Afhankelijk van de richting waarin de grootste druk wordt uitgeoefend en van de mogelijkheden tot uitwijken zullen de stenen zich niet altijd met de gletscher meebewegen. Daarom vertonen ze dikwijls de sporen van de ijsdruk aan meer dan één kant en in verschillende richtingen. Druk van opzij bevordert het over elkaar schuiven van stenen en van gedeelten daarvan. Omdat de afschuifspanning van veel gesteenten, zelfs van ongelaagde, volgens RINNE (1940) gemid-



Fig. 4: Bontzandsteen - zwerfsteen van Ankum, B.R.D., waarbij de gelaagdheid het ontstaan van fläks bevorderde. Verz. schr. Foto M. Huizinga.



Fig. 5: Kwartsietische zandsteen van Zeyerlaar, Vries. Grootste afmeting 34 cm. Aan twee zijden gletscher- en paraboolkrassen in vrijwel gelijke richting en uitzonderlijke combinaties van fläks. Verz. schr. Foto H. Jager.

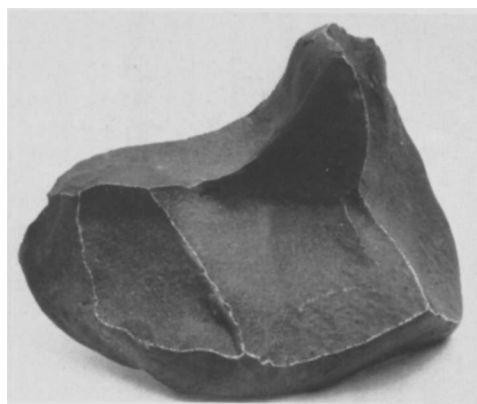


Fig. 6: Zelfde zwerfsteen als fig. 5. Breukranden ter verduidelijking wit gemaakt. Foto H. Jager.

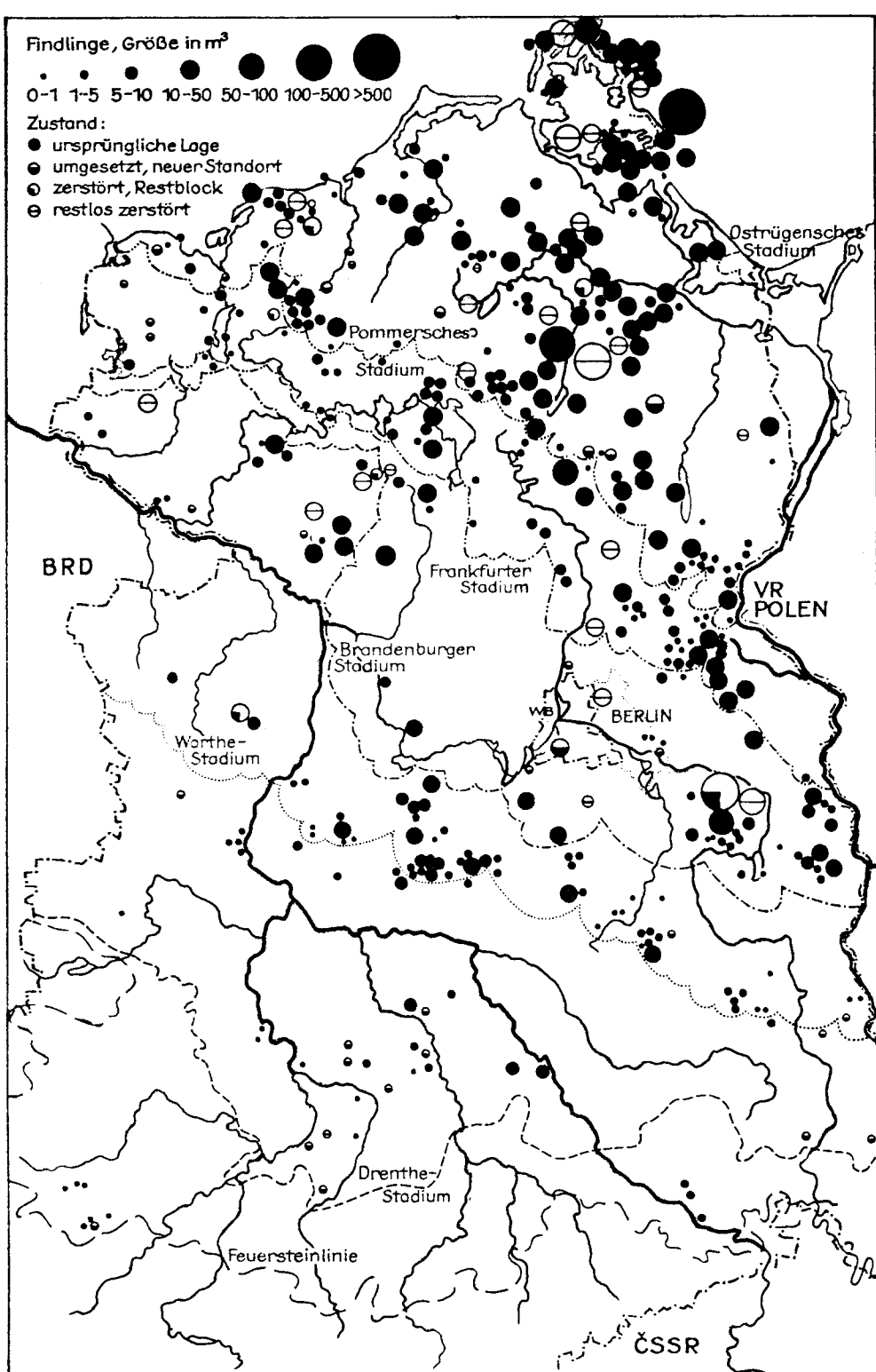


Fig. 7: Het voorkomen van grote zwerfblokken in de D.D.R. Van noord naar zuid nemen aantal en stukgrootte af, ook in de morenen van de laatste (=Weichel) ijstijd. Vereenvoudigd naar Schulz 1968.

deld slechts $\frac{1}{4}$ is van de drukvastheid heeft het horten en stoten en het heen en weer schuiven een veel destructiever invloed dan de statische druk.

Hierboven werd aan de hand van diverse details per steen nagegaan wat glaciaal transport van stenen zoal inhoudt. Men kan het probleem echter ook op geheel andere wijze benaderen. Men telt dan op regelmatige afstanden van het moedergesteente hoeveel daarvan afkomstige zwerfstenen nog aanwezig zijn in verhouding tot de andere zwerfkeien en hoe groot ze zijn. In VAN DER LIJN's Keienboek (1973, blz. 144) is daarvan een voorbeeld gegeven wat de Dalazandsteen betreft. MAGNUSSON *et al.* (1963) noemen nog meer voorbeelden uit Zweden. SCHULZ (1968) toonde aan dat in de D.D.R. tussen Rügen en Silezië niet alleen de grootte van de zwerfblokken, maar ook het aantal grote blokken aanzienlijk kleiner wordt, min of meer evenredig met de afgelegde weg (fig. 7). SHAKESBY (1979) onderzocht de verkleining van zwerfstenen in Engeland op een heel aardige manier. Hij ging uit van de vaste rots van Essexiet en van een daar dichtbij gelegen voorkomen van Essexiet-porfieeriet bij Lennoxtown in Schotland. Ten zuiden daarvan zocht hij in de vele zonder metselspecie opgestapelde muurtjes om akkers, weiden en tuinen de overeenkomstige zwerfstenen. Ook deze massieve en zeer solide gesteenten bleken ras kleiner te zijn geworden, hoe verder ze van het moedergesteente aflagen. DUDZIAK (1980) vond ook in Polen van Noord naar Zuid steeds kleinere blokken. Hij wijst erop, dat zwerfblokken die, omringd door landijs, hoog in- of op de gletscher liggen, niet worden blootgesteld aan de schurende en verbrijzelende krachten die onderin optreden. Zulke blokken vertonen vaak nog de wrijfspiegels en andere breukvlakken die tijdens de gebergtevorming ontstonden.

Ook de gletscherbedding getuigt hier en daar nog van het feit, dat het ijs, gedwongen door een obstakel of door veranderingen in de ijsdikte in richting omkeerde (fig. 8). LJUNGER (1943) noemde daarvan meer voorbeelden.

Met het nodige geluk zijn nog andere voorbeelden van 'Inlandeischbeschädigung' gevonden. LIGTERINK (1954) vermeldde de vondst van twee op elkaar passende blokken ten Westen van de straatweg Odoorn-Borger. Ze waren ± 30 m in ONO/WZW richting van elkaar verschoven.

Een dergelijke vondst viel mij ten deel ten Zuiden van Norg langs de gemeentegrens tussen Norg en Vries (fig. 9). De brokken werden op ruim een km van elkaar verwijderd uit het keileem gegraven. (SCHUDEBEURS, 1982). De weg waarlangs ze van elkaar verwijderd werden ver-



Fig. 8: Sikkelbreuken in twee richtingen op rots aan de oever van het Tikenmeer, Småland. Foto Schuddebeurs.



Fig. 9: Twee aan elkaar passende gabbroïde zwerfstenen, door het landijs ruim 1 km van elkaar verwijderd. Verz. schr. Foto M. Huizinga.



Fig. 10: Drie vrijgelegde brokken van een blok in keileemprofiel, groeve Opende. Foto Dr. M. Rappol.



Fig. 11: De drie brokken van fig. 10 passen aan elkaar. Foto Dr. M. Rappol.

loopt N 15° W, d.w.z vrijwel loodrecht op die van Ligerinks vondsten. RAPPOL (1983) vond in Opeinde drie blokken van hetzelfde blok in een keileemprofiel met veel stenen, die over een korte afstand in ZW-richting waren verplaatst (fig. 10 en 11). Deze drie richtingen vallen binnen de uitersten die EDELMAN en MAARLEVELD (1958) en TER WEE (1962) vooral op morfologische gronden postuleerden voor de richtingen waarbinnen het landijs zich op Nederland heeft bewogen. SEIFERT (1954) beschreef de twee delen van een blok bij Fehmarn in Sleeswijk-Holstein die $\pm 1,5$ m t.o.v. elkaar verschoven zijn in de ijsbewegingsrichting. Een dergelijke vondst bij Hamburg werd door GRIPP (1932) vermeld.

Naar mag worden aangenomen bezit zo goed als geen enkele zwerfsteen aan het eind van z'n reis nog dezelfde afmetingen als bij het begin. Anders gezegd: wat wij in Nederland aan zwerfstenen vinden is slechts een pover restant van het aantal waarmee de reis begon.

Door Zandstra werd dat landijs eens 'de grootste transportonderneming aller tijden' genoemd. Die vervoerder stond er wel voor in dat iedere reiziger een plaatsje kreeg maar men kon geen ongevallenverzekering afsluiten. De premie daarvan zou onbetaalbaar geworden zijn.

We mogen echter niet uit het oog verliezen, dat zwerfstenen na aankomst op hun nieuwe ligplaats kans liepen verder beschadigd of zelfs vernietigd te worden. De grotere vuursteenknollen die met een lichte hamertik al in honderd scherven uiteen vallen moeten we zien als slachtoffers van aanzienlijke temperatuurwisselingen, die in relatief korte tijd optraden. Ook de beschadigingen in vuurstenen zoals in fig. 4 afgebeeld, werden tot voor kort steeds zo verklaard. Maar ook de mens verkleinde stenen. KRÜGER (1976) vestigde er reeds de aandacht op, dat niet altijd met zekerheid is uit te maken of beschadigingen het gevolg zijn van ijs-transport dan wel door mensen werden veroorzaakt. Ook BEUKER



Fig. 12: Slagkegel in vuursteen, door L.B. Bos gevonden te Opeinde. Verz. Natura Docet, Denekamp. Foto K. Hulshof.

(1983) betoogde dat. Of de slagkegel in de vuursteen van Opeinde (fig. 12) al dan niet een artefact is, moest een open vraag blijven.

De schrijver is dank verschuldigd aan de heren J.B. Beuker en P. Kooi, archeologen aan het Drents Museum te Assen, voor hun hulp en verhelderende discussie; verder aan de heer en mevrouw Veenfliet voor hun kritiek op het manuscript, aan de fotografen, aan mevrouw K. van Schalkwijk-von Henning die het typewerk voor haar rekening nam en aan mevrouw F.L. Raimond-Bouwman, die de Engelse samenvatting verzorgde.

Opmerking: alle in dit artikel beschreven en afgebeelde zwerfstenen zijn afgestaan aan het museum 'Natura Docet' te Denekamp en daar te bezichtigen.

SUMMARY

In this article are discussed the various ways erratic boulders can get damaged-cracked or scratched-while being transported by glaciers or landice. Multiply scratched or otherwise damaged erratic boulders have obtained their blemishes mostly by mutual contact rather than by their continuously sliding over the glacier floor.

LITERATUUR

- ANDREWS, J.T., en D.M. BARNETT, 1972: Analysis of strandline tilt directions in relation to ice centres and postglacial crustal deformation. Laurentide icesheet. *Geographic Annual*, S4.A. p.p. 1-11. Londen.
- BEUKER, J.B., 1983: Vakmanschap in vuursteen. De vervaardiging en het gebruik van vuurstenen werktuigen in de prehistorie. *Prov. Museum Assen*, p.p. 1-140, Assen.
- BOULTON, G.S., en R. VIVIAN, 1973: Underneath the glaciers. *Geographic Magazine* 45-4. p.p. 311-319. Londen.
- DUDZIAK, J., 1980: Dimension der erratischen Blöcke und deren Transportweite. *Der Geschiebe-Sammler* 14. 2/3. p.p. 79-90, Hamburg.
- EDELMAN, C.H., en G.J. MAARLEVELD, 1958: Pleistozän-geologische Ergebnisse der Bodenkartierung in den Niederlanden. *Geologisches Jahressbuch* 73, p.p. 639-684, Frankfurt.
- GRIPP, K., 1932: Merkwürdiges Schicksal eines Steinblockes. *Hamburger Nachrichten*.
- KRÜGER, F.J., 1974: Beobachtungen an einem pleistozänen Flintgeschiebe. *Aufschluss* 25, p.p. 627-631, Heidelberg.
- KRÜGER, F.J., 1976: Zerstörungsmerkmale an Flintgeschieben. *Aufschluss* 27. p.p. 139-146, Heidelberg.
- LIGTERINK, G.H., 1954: De Hondsrug en het dal van de oer-Eems. *Tijdschrift Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap* (2), 71, p.p. 105-121, Leiden.
- LIJN, P. VAN DER, 1973: Het Keienbock, 6e druk, bewerkt door G.J. BOEKSCHOTEN p.p. 1-361, Zutphen.
- LJUNGER, E., 1924: Morphologie von der Schwedische Skagerrakküste. *Bulletin Geologisches Institut, Uppsala*.
- LJUNGER, E., 1943: Isdelarstudies vid polcirkeln. *Geologiska Förening Föreläsningar*. Band 65, Stockholm.
- MAGNUSSON, N.H. et al., 1963: Sveriges geologi, 4e druk, p.p. 1-698, Stockholm.
- MC. CALL, J.G., 1960: The flow characteristics of a cirque glacier and their effect on glacial structure and cirque formation. In: LEWIS, W.V. (ed.) *Norwegian cirque glaciers*. Royal Geographic Society. Research Ser. 4, p.p. 39-62, Londen.
- RAPPOI, M., 1983: Glacigenic properties of till studies in glacial sedimentology from the Allgäu Alps and the Netherlands. Thesis. Univ. Amsterdam, p.p. 1-225.
- RINNE, F., 1940: *Gesteinskunde*, p.p. 1-428, Leipzig.
- SCHUDEBEURS, A.P., 1958: Erosie en transport van gesteenten door gletschers en landijs. *Grondboor en Hamer* 6/7, p.p. 129-142, Oldenzaal.
- SCHUDEBEURS, A.P., 1982: Zwerfsteentellingen in Noord-Nederland. *Mededelingen Werkgroep Tertiaire en Kwartaire Geologie*, p.p. 81-108, Leiden.
- SCHULZ, W., 1968: Die Verbreitung grosser Geschiebe im Bereich der D.D.R.. *Archiv Naturschutz und Landschaftsforschung* 8.3. p.p. 211-229, Berlin.
- SEIFERT, G., 1954: Das mikroskopische Korngefüge des Geschiebemergels als Abbild der Eisbewegung, zugleich geschichte des Eisabbaues in Fehmarn, Ost-Wagrien und dem Dänischen Wohld. *Meyniana Veröff. Geol. Inst. Univ. Kiel*. Bd 2, p.p. 124-184. Kiel.
- SHAKESBY, R.A., 1979: The pattern of glacial dispersal and comminution of rock fragments and mineral grains from two point sources. *Zeitschr. für Gletscherkunde und Glazialgeologie*. Bd. 15, H. 1, p.p. 31-45, Öhringen/Würt.
- STRAATEN, L.M.J.U. VAN *et al.*, 1982: *Algemene Geologie (vooral Hst. 27)*, 3e druk, p.p. 1-598 Groningen.
- SUGDEN, D.E. en B.S. JOHN, 1977: *Glaciers and landscapes. A geomorphological approach*. 2e druk, p.p. 1-376, Londen.
- WEE, M.W. TER, 1962: The Saalian glaciation in the Netherlands. *Mededelingen Geologische Stichting (Nicuwe serie)* 15, p.p. 57-76, Maas-tricht.