

MEDEDELING REDACTIE

In verband met de naderende vakanties heeft de redactie gemeend, dat het wenselijk is thans een dubbel nummer te laten verschijnen. Dit nummer is dus het gecombineerde nummer 6 en 7. Nummer 8 zal medio oktober verschijnen.

EROSIE EN TRANSPORT VAN GESTEENTEN DOOR GLETSCHERS EN LANDIJS.

door A.P. Schuddebeurs

Wel iedere zwerfsteenverzamelaar in ons land heeft te maken met de stenen, achtergelaten door het landijs, gletscherafzettingen dus. Over het algemeen weten de verzamelaars wel, dat ze met gletscherafzettingen te maken hebben. Met behulp van handboeken enz. wordt getracht naam en herkomst van de gesteenten vast te stellen. Vragen we verder naar de wijze, waarop het gesteente-transport heeft plaats gehad, of en hoe de gletschers in staat waren vaste en losse gesteenten in zich op te nemen, dan laten de meest gangbare nederlandse handboeken ons in de steek. Daarom kan het nuttig zijn, over dit onderwerp iets meer mede te delen.

Bij een beschouwing als deze zal het nodig zijn te beginnen met een afbakening van de begrippen gletscher, gletscher-erosie en -transport, waarna deze achtereenvolgens bekeken zullen worden.

Allereerst dan: wat verstaan we onder gletschers? Volgens von Klebelsberg (3), uit wiens handboek veel geput is van wat volgt, kunnen we het begrip gletscher definiëren als volgt:

"Gletschers zijn massa's korrelige firn en ijs, die voortkomen uit sneeuwophoppingen en zich daarheen verplaatsen, waar ze afsmelten of verdampen kunnen. De sneeuw neemt daarbij de korrelstructuur aan, die firn van sneeuw en gletscherijs t.o.v. waterijs onderscheidt."

Gletschers ontstaan dus uit sneeuw. Iedere sneeuwvui zet een laag sneeuw af. De soort sneeuw verschilt, al naar de weersomstandigheden. Iedereen kent het onderscheid tussen droge en natte sneeuw. Het verschil wordt bepaald door temperatuur en vochtigheid van de lucht gedurende het sneeuwen. Het zijn altijd kleine, hexagonale ijskristallen die onmiddellijk, dus zonder vloeibaar tussenstadium, kristalliseren uit de waterdamp, die zich in de dampkringslucht bevindt. Bij lagere temperaturen, d.w.z. vele graden onder nul, en tegelijk een gering waterdampgehalte, ontstaan eenvoudige kristalvormen zoals prisma's, korrels, plaatjes en pyramiden. Ze leveren de droge poedersneeuw. Bij hogere temperaturen, d.w.z. slechts enkele graden onder nul, worden samengestelde, vertakte, vooral stervormige figuren gevormd. De kleine kristalletjes als van de poedersneeuw groeien dus tijdens de val aaneen tot aggregaten, vlokken.

In ons land blijft de sneeuw nooit langer liggen dan enkele dagen of weken. De sneeuw smelt dus al spoedig weg, terwijl een gedeelte verdampt. Anders is het gesteld in de hooggebergten en aan de polen, waar de sneeuw, gevallen boven de z.g. sneeuwgrens, blijft liggen. De sneeuwgrens is de lijn waarboven, gerekend over

langere tijd, meer sneeuw valt dan in dezelfde tijd verdampt of wegsmelt. Boven de sneeuwgrens ligt dus de z.g. eeuwige sneeuw. Deze sneeuw blijft echter niet precies liggen zoals hij gevallen is, maar ondergaat vormveranderingen, een diagenese of metamorfose dus, waarbij allereerst de vorm van de kristallen wordt uitgewist. Dit gebeurt door verwarming.

Ook op heldere winterdagen en vanzelfsprekend nog meer in de zomer smelt de sneeuw aan de oppervlakte weg "als sneeuw voor de zon". Onder invloed van van elders aangevoerde warme lucht of regen gaat het nog sneller. Waterdruppels zakken hierbij in de onderliggende, koudere sneeuw, bevriezen daar tot ijskorrels of ze worden opgenomen door naastliggende sneeuw- of ijskorrels om met deze samen te vriezen tot grotere korrels. Dit zijn dan de onregelmatige, rondachtige firnkorrels. Hoe vaker het opdoeien en weer bevriezen plaats vindt, hoe groter de firnkorrels worden en tegelijk ook zwaarder.

Vers gevallen sneeuw, die nog zeer los ligt, de z.g. "Wildschnee", heeft een s.g. van 0,01 - 0,04. Meestal is het s.g. van sneeuw $\pm 0,1$. Door het losse verband van de verse sneeuw ontstaat het vermogen enorme hoeveelheden water vast te houden, het retentievermogen. Normaal tot 40%, in extreme gevallen zelfs tot 75% van het eigen gewicht kan de sneeuw aan water opslorpen.

Firnkorrels hebben afmetingen van onderdelen van tot enkele millimeters en een s.g. van 0,4 tot 0,75. Ze zijn dus reeds belangrijk zwaarder dan sneeuw, maar nog niet zo zwaar als ijs. Hoe onregelmatiger de korrelvorm, hoe groter ook het retentievermogen.

Bij aanhoudend vriezen en weer dooien gaat de firnvorming steeds verder. De grotere korrels groeien ten koste van de kleine welke in de minderheid komen. Zodoende verijst de oppervlakte meer en meer, er wordt een korst gevormd van firnijs, de "Harst" met een s.g. van 0,85.

Met de afzetting van nieuwe sneeuwlagen gaat een verhoging van de belastingdruk gepaard. Firn zowel als sneeuw worden hierdoor in elkaar, en de lucht er tussen uit geperst, de kleur gaat over van "sneeuw wit" in meer grijze tinten, de korrels groeien, sinteren tesamen of worden door een fijnere, dichte massa, het firncement, met elkaar verbonden. Tenslotte wordt ook dit firncement opgebruikt bij de korrelgroei, de lucht wordt steeds verder uitgeperst, uit het grijs-witte firnijs ontstaan aan de onderzijde reeds kleinere of grotere "Gletscher Flecken" van groenachtig tot blauwgroen gletscherijs. Dit gletscherijs onderscheidt zich principieel van waterijs. Het eerste is opgebouwd uit grove, van eittot vuistgrote ijskorrels, gescheiden door de fijnst denkbare capillaire ruimten. Waterijs daarentegen is altijd samengesteld uit ijskristallen, loodrecht op het wateroppervlak.

De definitie van v. Klebelsberg volgend zijn we dus van sneeuw via firn op het gletscherijs gekomen. Toch is dit nog geen gletscher, immers de beweging ontbreekt nog, althans theoretisch. Feitelijk echter zullen de mogelijkheden voor de beweging van het gletscherijs wel haast steeds aanwezig zijn. Bijna overal in de natuur waar zich gletscherijs kan vormen, zal de ondergrond, waarop de gletscher rust, min of meer afwijken van de horizontaal, m.a.w. er zijn altijd wel oneffenheden en kleinere of grotere hellingen aanwezig. Laboratoriumproeven hebben uitgewezen, dat reeds een zeer geringe helling - n.l. $0^{\circ} 40'$ - voldoende is om zelfs star ijs aan het glijden te brengen. De gletscherijsmassa is echter meestal niet zo star, maar eerder dik-stroperig, plastisch. Om precies te zijn: even plastisch als glas bij 500°C . Zo kan, tegelijkertijd met de diagenese, de sneeuw-firn-ijsmassa in beweging raken naar beneden en naar buiten tengevolge van de zwaartekracht, de druk en de eigen plasticiteit. Zover de omgeving het niet belet, vloeit het geheel uit tot een platte koek. We hebben

Foto Schuddebeurs

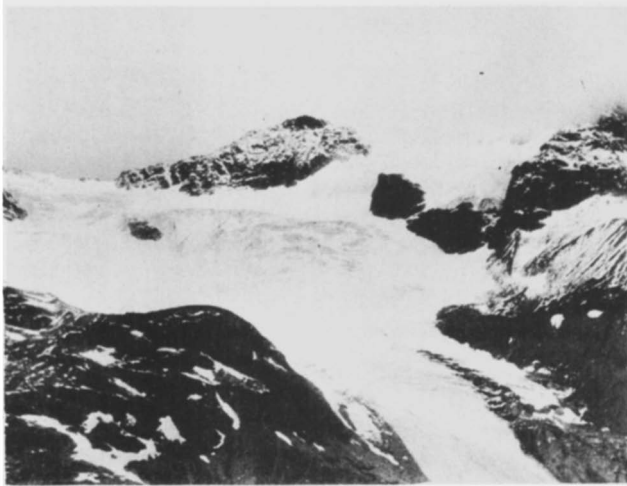


FOTO I

Grote Vermuntgletscher, Silvrettagebiet.
Op de achtergrond het witte Firnveld, waarboven
nog enkele rotsen uitsteken.
Rechts onder de gletschertong.
Midden links een bultrots.

dus niet alleen met glijden te maken, maar zelfs met vloeien.

Hoe is nu deze betrekkelijke vloeibaarheid in overeenstemming met het in onze ogen starre, harde wezen van het ijs?

Zoals bekend gaat water in ijs over bij een temperatuur, lager dan 0°C . Hoe lager de temperatuur, hoe harder en onverzettelijker het ijs. We weten echter ook, dat dit alleen het geval is bij normale druk van de dampkringslucht en dat verhoging van druk het voortduren of ontstaan van die aggregatietoestand bevordert, waarin de stof het kleinste volume inneemt. En - zoals bekend is - neemt het volume van ijs bij smelten af. Nu is er bij toenemende dikte van het sneeuw-ijspakket zeker sprake van drukvermeerdering. De huidige Alpengletschers zijn hier en daar 200, zelfs 300 m. dik. Gedurende de pleistocene ijstijd moet dit zelfs 1000 m geweest zijn, terwijl in Scandinavië eveneens gedurende de ijstijd en thans nog wel in Groenland en aan de Zuidpool, ijsdikten berekend zijn van 2000 m en meer. Bij een gletscherdikte van 1 km zal de statische druk aan de onderzijde dus reeds zeer hoog zijn, n.l. 80 à 90 kg/cm^2 . Per kg/cm^2 drukvermeerdering wordt het vriespunt verlaagd met $0,00731^{\circ}\text{C}$. Veel is dit niet. Bij een druk van 200 kg/cm^2 - een druk die vroeger in Scandinavië of nu in Groenland voorgekomen kan zijn - bevriest water pas bij $-1,462^{\circ}\text{C}$. Men zal geneigd zijn te denken, dat het in zo'n dikke ijsmassa veel kouder is, maar dat is niet het geval. Temperatuurschommelingen als gevolg van jaargetijden, bezonning enz., dringen tot hoogstens 18 m diepte in de gletschers door. Nog dieper is de temperatuur vrijwel constant en altijd hoger dan de gemiddelde jaartemperatuur van de omgeving. Bij de huidige Alpengletschers is de temperatuur op 18 m diepte $0,012^{\circ}\text{C}$; op 82 m diepte $0,062^{\circ}\text{C}$. Met andere woorden: binnen in de gletscher zijn de temperatuur- en drukverhoudingen zodanig, dat het ijs ternauwernood ijs blijft en zich

eerder plastisch voordoet dan star. Aangenomen wordt, dat de bij de beweging van de gletscher vrijkomende wrijvingswarmte oorzaak is van deze, de overige omstandigheden in aanmerking genomen, hoge temperaturen, welke dus ook boven het vriespunt kunnen uitkomen. In de gletschers komt dan ook nog heel wat water voor, genoeg om lange en manshoge tunnels gevuld te houden.

De gletschers bestaan niet alleen uit sneeuw, firn en ijs. Altijd worden er meer of minder losse stenen in aangetroffen van zeer grote tot de kleinste afmetingen, alles door elkaar als pruimen en krenten in de pudding. Soms krijgt men de indruk, dat de massa zelfs meer steen dan ijs bevat, vooral aan de bovenzijde waar 's zomers heel wat ijs weggesmolten kan zijn en als smeltwaterbeekjes aan de oppervlakte wordt afgevoerd, onderwijl een gedeelte van het fijnere slib meevoerende. De grovere stukken blijven dan min of meer aaneengesloten liggen (Foto 2).

Hoe komt al dit gesteentemateriaal in de gletscher? Het antwoord op deze vraag kunnen we het beste zoeken bij de gletscher zelf.

Stellen we ons een landschap voor, dat - door welke oorzaken dan ook - zachtjesaan vergletschert. De sneeuwgrens is hier dus in de loop der jaren gedaald, er is firn en ijsvorming opgetreden en de gletscher zet zich, gedwongen door de zwaartekracht, in be-



Foto Schuddebeurs

FOTO II

Gross Glockner, Tirol

Op de voorgrond de door gesteentestof zwarte gletscher, waarin een smeltwaterbeekje. De witte vlakken op de gletscher zijn putjes, gevormd door in het ijs zakkende stenen. Links en rechts metershoge puinhopen, afkomstig van bergstortingen.

weging op zoek naar de laagste plaatsen in het landschap. Als regel zullen dit vooral bestaande beek- en rivierdalen zijn, gevormd door de erosie vóór de verijzing, reeds aanwezige afwateringssystemen dus. De gletscher zal hierbij regionen kunnen bereiken, die onder de sneeuwgrens liggen, wanneer de beweging in korter tijd plaats vindt dan voor afsmelting nodig zou zijn. In dit geval steken de gletschers als langere of kortere tongen uit het firnveld en liggen tussen niet verijsde hogere dalranden of zelfs uitstekende bergtoppen of ruggen in (Foto 1). Gesteentepuin van deze hogere delen kan gemakkelijk op de gletscher geraken. Bergstortingen en lawines kunnen flinke hoeveelheden ineens meebrengen (Foto 2). Kleinere hoeveelheden worden voortdurend door de vorstwerking losgewrikt, vallen omlaag of worden door waterstromen naar de gletscher vervoerd. Via scheuren in het ijs kan gesteente binnen in de gletscher komen en ook nog op andere wijzen.

De snelheid van de gletscherbeweging is niet altijd en overall gelijk. Snelheidsvermeerderingen en afremmingen elders brengen wervelingen, knedingen teweeg, die zich ook aan de oppervlakte doen gelden, zodat ook hierdoor stenen in dieper gelegen lagen van de gletscher terecht kunnen komen. Ook zullen zwaardere brokken in het ijs kunnen zakken en daardoor omsloten worden (regelatatie). Stenen, gelegen aan de oppervlakte, absorberen bij bezonning meer warmte dan het ijs, staan door geleiding deze warmte weer af aan het ijs, dat hierdoor plaatselijk smelt, zodat ook hierdoor de stenen iets dieper komen te liggen. Toch wordt al met al de kans, dat de stenen nabij de oppervlakte blijven, groter geacht.

Bij plateaugletschers, zoals nu in Noorwegen en op IJsland voorkomen en meer nog bij landijsuitbreidingen, waarbij weinig of geen gebergten of "nunataks" boven de gletschers uitsteken, worden eveneens enorme gesteentemassa's getransporteerd en aan de uiteinden gedeponerd. Deze kunnen uiteraard niet op de gletschers gevallen zijn en moeten dus op andere wijze zijn opgenomen.

Tijdens de eerste wereldoorlog heeft men in Zuid-Tirol stellingen, zelfs loopgraven en tunnels gemaakt in de gletschers. Firn en ijs bleken toen grotendeels met de rots vergroeid te zijn. Deze verbindingen waren soms zo vast, dat van de grensstrook geslagen stukken gedeeltelijk uit ijs, gedeeltelijk uit steen bestonden. Het ijs zet zich niet alleen aan de buitenzijde van de rots vast. In spleten, voegen en scheuren dringt smeltwater, dat later bevriest. Hier zou men kunnen zeggen, dat de gletscher in het gesteente dringt. Deze met ijs doorspekte en aan de gletscher vergroeide gesteentepartijen zullen vroeger of later door de bewegende gletscher losgebroken en meegesleurd worden, om ergens in de grondmoraine terecht te komen. Aan het nieuwe grensvlak herhaalt zich het proces, zodat deze grensvlakken voortdurend naar buiten verplaatst worden. Stroomde de gletscher eerst in reeds aanwezige, min of meer V-vormige rivierdalen, dan zullen als gevolg van het verleggen van de grensvlakken de V-dalen langzaam aan een U- of trogmodel krijgen (Foto 3). Het ondermijnen van de grensvlakken onderaan zal allicht gevolgd worden door afbreken van overhangende gesteentepartijen, zodat de U-vorm nog duidelijker wordt door de steile wanden van het dal.

De eroderende, uitwiggende werking van de vorst is een gevolg van de volumevermeerdering, die water ondergaat bij bevrozing. Deze bedraagt 9%. In afgesloten ruimten, waarin zich bevrozend water bevindt, tracht het ijs toch dit groter volume in te nemen en drukt met grote kracht tegen de wanden. Het stukvriezen van metalen waterleidingen kent iedereen en geeft een staaltje van de hierbij optredende krachten. Is een spleet eenmaal met ijs gevuld, dan gaat de uitzetting door bij dalende temperatuur. Bij -5° C. wordt de spanning reeds opgevoerd tot 648 kg/cm^2 , bij -10° C. is dat 1175 kg/cm^2 .



FOTO III

Trogdal van de Vermunt,
gezien vanaf de Gorfenspitze bij Galtür, Tirol.

Foto Schuddebeurs



FOTO IV

Door het landijs gepolijste
bultrots in de Hammergrat
niet op Bornholm.

Op den duur is geen enkel gesteente tegen dergelijke spanningen bestand. Zandsteen, kalksteen en dolomiet hebben een drukvastheid van 200 tot 1200 kg/cm². Granieten brengen het verder, n.l. tussen 800 en 2500 kg/cm². Bazalt is wel het beste tegen druk bestand en verdraagt 4000-5000 kg/cm² voor het bezwijkt. Deze waarden gelden echter alleen bij proefnemingen in droge toestand op een droge onderlaag. Zijn de gesteenten doordrenkt met water en rusten ze op een natte, als smeerlaag werkende ondergrond, dan daalt de drukvastheid tot de helft en minder. Bij herhaald bevriezen en dooien zullen ook vermoeidheidsverschijnselen optreden.

Aan de grensvlakken tussen ijs en rots, aan de onder- en zij-kanten van de gletscher dus, hebben we behalve met drukkende, wrikkende en uitwiggende krachten ook met afschuivende krachten te maken. De schuifvastheid van de gesteenten is volgens F. Rinne (6) slechts gemiddeld $\frac{1}{4}$ van de drukvastheid. Een van opzij werkende kracht breekt dus veel eerder het gesteente af, dan druk het doet verbrijzelen.

Of al deze in laboratoria gevonden waarden ook precies zo gelden diep onder een dikke, bewegende ijslaag, waar vele omstandigheden zich voortdurend wijzigen, is moeilijk te bewijzen. Zeker is, dat ze een zeer belangrijke rol zullen spelen. En begrijpelijk wordt ook, dat de aan de bewegende, schuivende gletscher vastgevroren rots misschien wel eerder zal breken, dan dat het ijs loslaat. Dat reeds gescheurde, min of meer los liggende blokken meer kans hebben uitgebroken te worden dan volkomen homogene gesteente partijen, zal duidelijk zijn. Toch komt ook dit laatste voor, al is de wijze, waarop dit gebeurt, niet onomstreden.

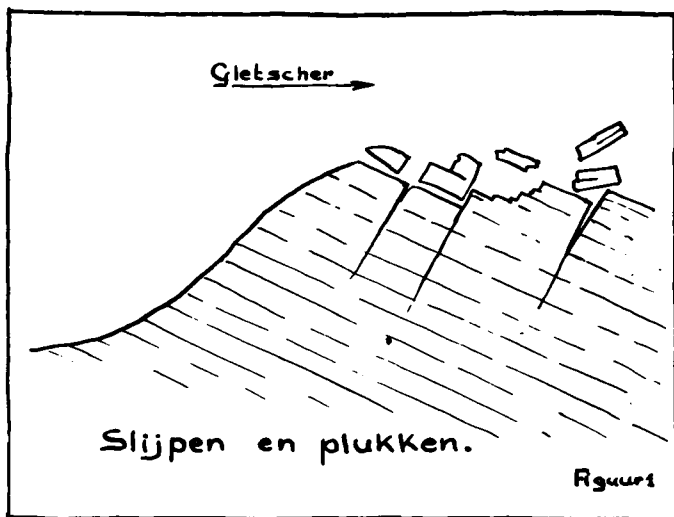
Vermeld moet worden, dat lang niet iedere geoloog bovenstaande zienswijze zal onderschrijven. Niemand minder dan de bekende Zwitserse geoloog Albert Heim geloofde niet in gletschererosie, afgezien van wat slijpen en krassen vermogen te doen. Bekend is ook de uitspraak van Davies (1) :

"in jedem Falle ist es klar dass ein Gletscher von 2000 m Mächtigkeit mit der Zeit auch das untere Ende seines Troges bis zu einer Tiefe von 1000 oder 1500 m unter den Meeresspiegel erodieren wird - wenn er überhaupt erodiert."

Hier worden enkele waarden genoemd, die een indruk geven van de sterkte van gesteenten bij verschillende laboratoriumproeven. Vergelijken we deze met de trek- en drukvastheid van ijs, dan valt op, dat deze waarden veel lager liggen, n.l. de drukvastheid 25 kg/cm² en de trekvastheid 7 tot 8 kg/cm². Granieten hebben een trekvastheid tussen 24 en 81 kg/cm². Over het algemeen is de trekvastheid van gesteenten $\frac{1}{8}$ tot $\frac{1}{60}$, in doorsnee $\frac{1}{30}$ van de drukvastheid.

Hieruit zou de gevolgtrekking gemaakt kunnen worden dat het ijs vaak gedwongen is z'n prooi los te laten voordat deze bezwijkt. Iedere ketting breekt immers in z'n zwakste schakel en te begrijpen is dan ook, dat onder geologen getwijfeld wordt of de gletscher het vermogen bezit door vastvriezen de meer stevig verbonden gesteenten los te rukken.

Laten we eerst de erosieverschijnselen van de gletscher bezien die wel algemene erkenning hebben gevonden. Als nummer één komt dan de slijpende, polijstende invloed, die de gletscher op zijn ondergrond uitoefent door middel van de in het ijs verpakte stenen. De ondergrond bekrast en polijst evengoed de losse brokken als andersom, afhankelijk van de relatieve hardheid. De duidelijkste gletscherkrassen vindt men op kalksteen. Bij de stollingsgesteenten vindt men meer en mooier ontwikkelde krassen en polijstvlakken op dichte en fijnkorrelige gesteenten zoals porfieren, dan op de grofkorrelige granieten (Foto 4). Gekraste zwerfstenen vinden we zo nu en dan op de Veluwe, algemener in Drente, terwijl de



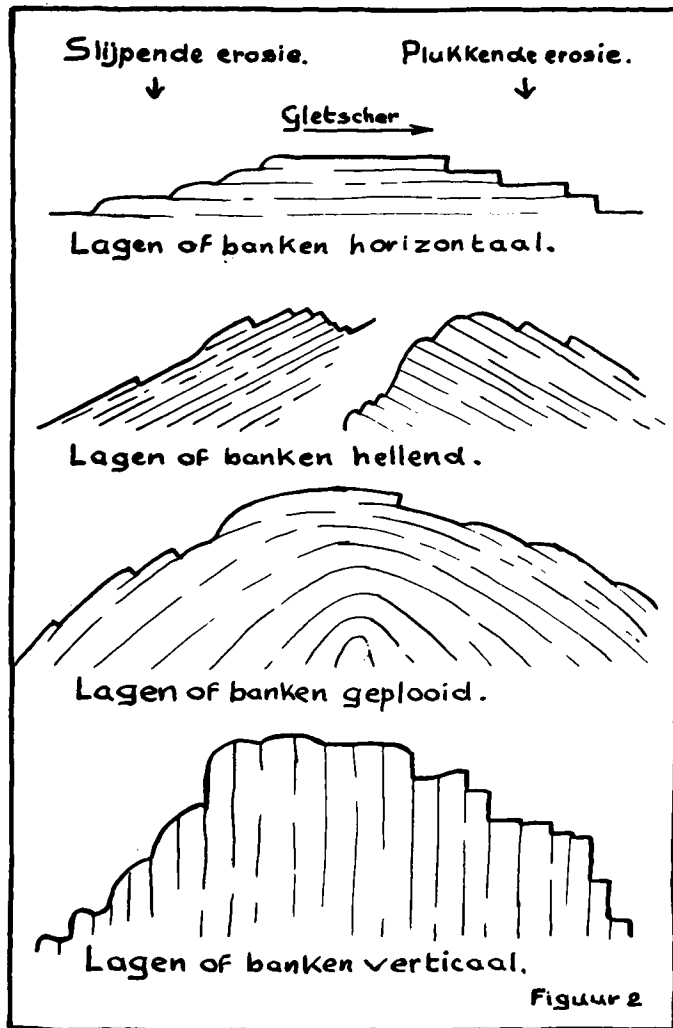
mooiste voorbeelden worden aangetroffen in dikke lagen beschermende keileem, zoals in Groningen en in de N-O polder.

In het gebergte vinden we de mooiste polijstvlakken aan de zijden en op de bodem van trogdalen en ook op plaatsen waar de ondergrond een hindernis bood tegen de voortschuivende gletscher. Over het algemeen dus op plaatsen waar de druk aanzienlijk was (de loefzijde). Juist door de betrekkelijk hoge druk zal hier het grensvlak tussen gletscher en rots meestal uit water bestaan. Met slib vermengd, geeft dit water een uitstekend polijstmiddel. Direct voorbij de hindernis zal de druk geringer worden en het ervoor vrijgekomen water zal hier allicht weer bevroren. Daar het gesteentepakket hier geen "steun in de rug" heeft, is op dergelijke plaatsen de kans op uitbreken door aanvriezen het grootst, vooral wanneer oude scheuren het verband reeds hebben aangetast (figuur 1 en 2. Men zie ook de foto op blz. 112 van Grondboor en Hamer, nov.-dec. 1956). Tot zover, kan men wel zeggen, is men het eens over het eroderend vermogen van de gletschers.

Intussen kan het bij het krassen en schuren vrijkomende materiaal niet anders dan uiterst fijn zijn en dit proces heeft ons, althans direct, zeker geen zwerfstenen van formaat opgeleverd. Indirect misschien nog wel, zoals we zullen zien.

In ieder vast gesteente bestaan wel hardheidsverschillen, hetzij primair of secundair. De "zachtere" delen zullen allicht meer en sneller afgeslepen worden dan de "hardere". Uitstekende veldspaatogen, kwartsribbels en gangen zullen vaak meer weerstand bieden en hoe meer ze dat doen, des te meer kans lopen deze hardere uitsteeksels om uitgebroken te worden.

Uitstekende delen vormen uiteraard een rem tegen de gletscherbeweging. Bij deze beweging speelt niet alleen de statische druk van het ijspakket een rol, maar ook de enorme massa, die vóór de stuiting in beweging is, waarbij gelijk met deze beweging gerichte krachten kunnen ontstaan, die een veelvoud vormen van de verticale statische druk.



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, die dezelfde snelheid heeft, dan kan het stootblok beschadigd, misschien zelfs vernietigd worden. Welnu, op analoge wijze kan in de gletscher een op de ondergrond stuitend blok de locomotief zijn, die op een bepaald punt drukt, waarbij de opstuwende gletschermassa de rol van de trein uit ons voorbeeld overneemt. Dat een blok, op een uitstekende richel of knobbel stotend, deze kan afbreken, mogen we - dunkt mij - wel aannemen.

Zou een dergelijk stotend blok nog meer kunnen doen dan een klein uitsteekseltje afbreken?

Geen onzer zal een steen willen stukslaan met de blote vuist.

We nemen een hamer of - minder fraai - een andere steen en bereiken we ons doel niet met één klap, dan volgen er meer. Men zal mij tegenwerpen, dat de hamerslag alleen effect heeft, wanneer we de hamer eerst opheffen en dan met een flinke snelheid op de steen laten komen. Dat het ijs in staat zou zijn een steen op te heffen over een aanzienlijke hoogte is niet aannemelijk, maar toch zit er iets meer in deze gedachte.

Beweeg een stuk vlakgom over papier of uw gespannen duim van u af over een tafelblad, met een stevige druk. De beweging, die dan ontstaat, is niet gelijkmatig en rechtlijnig-schuivend, maar een trillende golflijn, danst a.h.w. met zeer kleine sprongen over de onderlaag, deze op regelmatige afstanden aantikkend. Denk nu eens in de plaats van uw veerkrachtige hand en arm aan de plastische, dus eveneens veerkrachtige ijsmassa en daarin opgenomen een stevig blok. Laat dit blok stuiten op of vastvriezen aan de ondergrond. De gletschermassa drukt tegen dit blok in de bewegingsrichting. Zolang het blok niet meegeeft loopt de druk op tot deze voldoende is om het blok los te maken en zelfs even op te lichten om op het volgende punt even voorbij z'n vorige standplaats, weer neer te drukken. Het proces kan zich dan herhalen, enz. Het resultaat wordt een voortbeweging met schokken als boven. Als product van deze roffel worden de "Parabolrisse" aangezien (Foto 5).

Volgens Ljunger (4), door wie ook de naam "Parabolrisse" aan het verschijnsel is gegeven, zijn deze gebogen, vrijwel parallel verlopende littekens algemeen in vroeger verijsde gebieden. Een van de dekplaten van het hunnebed te Diever vertoont ze, wanneer na een droge periode algen en korstmossen ze niet teveel bedekken. Ze zijn hier zichtbaar als gebogen lijnen of krassen, in het midden enkele millimeters diep, 10 à 20 cm lang en 12 tot 20 mm van elkaar verwijderd. Op de zwerfsteen, afgebeeld op foto 5, zijn

Foto Schuddebeurs

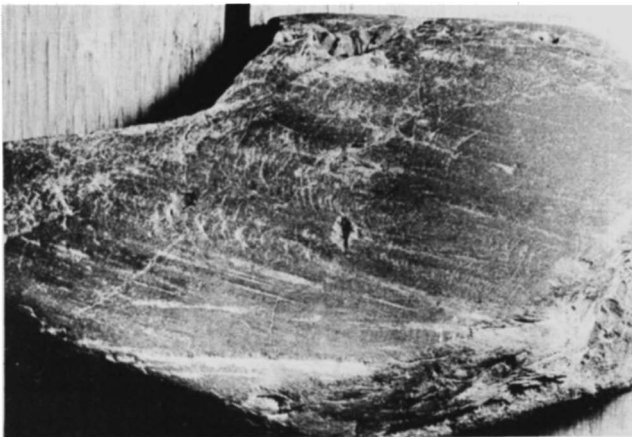
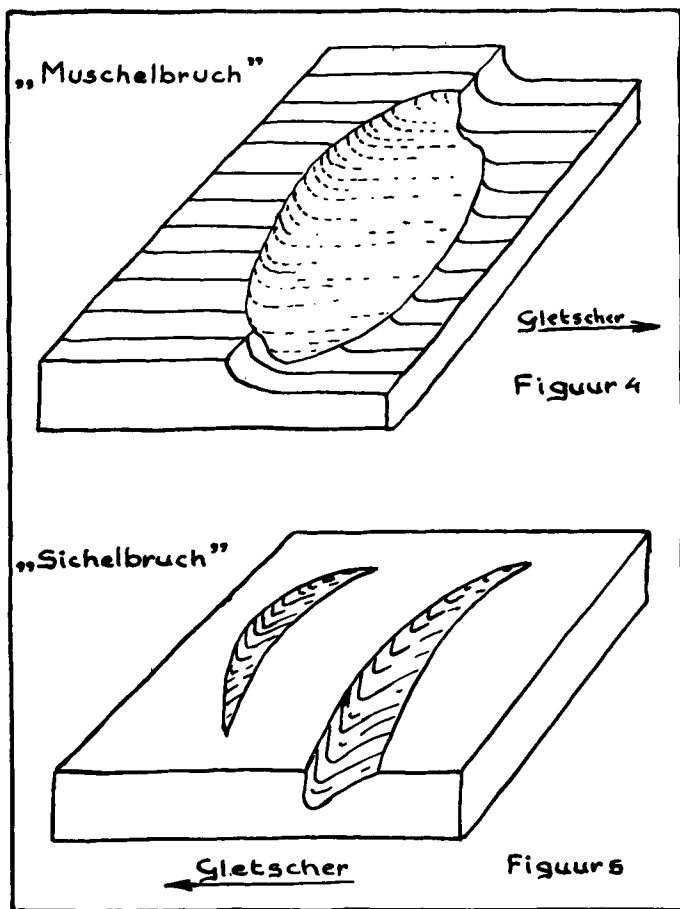


FOTO V

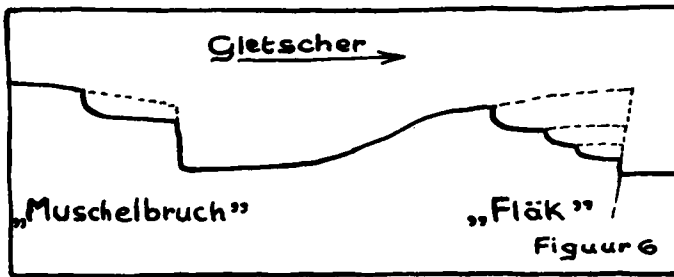
Kwartsiet zwerfsteen van Duurswoude (Fr.).
Op de linkerhelft van de zwerfsteen zijn boven elkaar 3 series van "Parabolrisse" zichtbaar. Op de rechterhelft zijn ze gedeeltelijk uitgewist door jongere gletscherkrassen.



ze veel kleiner, ondieper en staan ze 1 à 2 mm uiteen.

Wanneer een stotend blok in staat is op een gesloten, vlakke ondergrond deze krassen aan te brengen, die zich ongetwijfeld ook in de diepte enigermate voortzetten, dan kan dit het begin van het einde voor zo'n rotsvlak betekenen. Doorstaat een materiaal de eerste stoot zonder letsel, dan zal het ook de volgende, met gelijke kracht aangebrachte stoot doorstaan. Is echter enig defect ontstaan, dan zal een volgende stoot dit defect verergeren. Zo kan men zich voorstellen, dat herhaalde aanvallen tot breuk, doorgaande scheuren leiden, waarna de uitwiggende werking van de vorst voor verder loswrikken kan zorgen.

Een stoot of, wat op hetzelfde neerkomt, een toenemende druk, kan dan ook een randpartij afdrukken (figuur 4) waardoor, eveneens volgens Ljunger, de "Muschelbruch" (schelpvormige breuk) ontstaat. Bij zo'n randpartij heeft het gesteente dus geen "steun in de rug". Herhaling hiervan geeft een samengestelde Muschelbruch, waarvoor Ljunger de zweedse naam "Fläk" invoerde (figuur 6). Verder kan een "Sichelbruch" (sikkelvormige breuk) ontstaan wanneer een blok, drukkend of stotend op een plat vlak, het niet laat bij een scheurtje of een Parabolriss, maar een flinke hap ineens uit



de vlakke, gesloten rotsgrond perst (figuur 5). Beide soorten glaciale breuken komen voor vanaf centimeters tot meters grootte. Ljunger geeft van beide soorten tal van foto's.

Ljunger, die niet erg gelooft in de mogelijkheid, dat in ongescheurde rotsgrond bovenbeschreven breuken kunnen ontstaan door aanvriezen alleen, zegt tenslotte:

"Hiermede is niet ontkend, dat op plaatsen, waar zowel "de topografische als de structurele verhoudingen buitengewoon gunstig zijn, het aanvriezen een Fläk tot "stand kan brengen - voor het geval dat een blok dit "niët reeds eerder deed."

Er zijn dus verschillende mogelijkheden voor de gletscher om ook vastverbonden gesteenten los te werken, welke men aan de achtergebleven littekens heeft kunnen herkennen. Men heeft ook gepoogd te berekenen hoe groot de resultaten van de gletschererosie zijn per jaar. Zo berekende Hess, dat door de Hintereisferner (Tirol) jaarlijks door slijpen en breken tesamen 1,5 cm gesteente van onder de gehele gletscher werd weggevoerd. Bij andere gletschers worden weer grotere of kleinere bedragen genoemd.

Hoe zal het nu gaan, wanneer de gletscher op zijn weg losse gesteenten ontmoet? Zou het opnemen hiervan niet veel gemakkelijker zijn en zijn ook hiervan sporen te vinden?

Zoals boven gezegd, zal de gletscher bij voorkeur gebruik maken van bestaande afwateringssystemen. Deze zullen, als overal, reeds erosieprodukten als zand en stenen bevatten. De gletscher drukt tegen dit puin en schuift het op tot een wal, die zelfs hoger kan worden dan de gletscher dik is en aldus een behoorlijke weerstand vormt, welke de gletscher misschien zelfs belet voort te schuiven. Gevolg hiervan zal een plaatselijke verdikking zijn, want de toevloed uit het firnveld gaat voort. Bij voor de gletscheruitbreiding gunstige omstandigheden - voldoende sneeuwval en voldoende lage temperatuur - zal de druk voorwaarts het tenslotte winnen en de gletscher glijdt over de opgestuwde wal, neemt de inhoud ervan in zich op en sleurt deze mede. Deze gesteenten maken nu deel uit van de grondmoraine.

Uiteraard valt het niet mee een scherpe grens te trekken tussen gletscher en grondmoraine, resp. grondmoraine en vast gesteente. Er zullen immers altijd wel enkele stenen betrekkelijk hoog boven de ondergrond in de gletscher liggen, terwijl aan de onderzijde van de gletscher ijs in allerlei spleten en scheuren in het overigens vaste gesteente dringt. Men zou de grondmoraine dus kunnen beschouwen als een breksie met ijs als bindmiddel. Evenzo kan men een overreden rivier- of oudere gletscherafzetting zien als een conglomeraat met ijs als bindmiddel.

De lagere temperatuur, nodig voor gletscheruitbreiding, zal

zich niet alleen in het eigenlijke gletschergebied doen gelden, maar ook nog in de naaste omgeving. Er is dus veel kans, dat de bodem nabij de gletscher, zover deze bodem uit losse gronden bestaat, tot op zekere en misschien zelfs tot op aanzienlijke diepte is bevroren op het tijdstip dat de gletschers dit terrein overschrijden. Waar dit gebeurt, wordt de grens grondmoraine-ondergrond verlegd tot op de diepte waar de ondergrond niet bevroren is. Welk bezwaar kan er nu nog zijn tegen de veronderstelling dat de beweging van de gletscher wordt overgebracht op de nieuwe grondmoraine? In principe is er, meen ik, geen bezwaar. De vraag is alleen weer welke krachten het winnen: de stuwkracht van de gletscher of de weerstand die de ondergrond biedt tegen deze beweging. Dat de gletschers deze strijd in bepaalde gevallen gewonnen hebben, wordt bewezen door de glaciale schollen.

Schollen van enkele meters grootte vond Gripp in de "stuikmorainen" van IJsland, Spitsbergen en Nova-Zembla. Deze stuikmorainen liggen daar als een sterker bewogen variant van de stuwwal. De eerste zijn behalve opgestuwd ook nog samengeperst tot plooiën, er zijn schubben over elkaar geschoven als dekbladen, de plooiën zijn overgekipt enz. enz. De stuikmorainen vormen soms wallen van honderden meters lengte en aanzienlijke hoogte, waarbij er meerdere achter elkaar kunnen liggen. De opgenomen schollen bestonden soms uit oudere gletscherafzettingen, soms ook uit marine sedimenten, die wel geplooid waren, maar toch was de oorspronkelijke gelaagdheid nog herkenbaar en de schol in z'n verband gebleven. Deze schollen moeten over enkele kilometers afstand verplaatst zijn. Dat het verband behouden bleef, kan alleen verklaard worden uit de vastbevroren toestand van de schollen.

Vanzelfsprekend zullen ook voor het opnemen van schollen de structuur van het gesteente en de morfologie van het landschap vóór de vergletschering van grote invloed zijn. Op zichzelf staande opwelvingen in het landschap zonder "steun in de rug", hardere uitsteeksel op wekere ondergrond of rondom uitgesneden laagpakketten bieden goede aangrijpingsmogelijkheden voor de gletscher. Het losrukken van grote schollen zal het best lukken bij betrekkelijk grote snelheid van de gletscher.

In de afzettingen van het landijs zijn schollen gevonden van formidabele afmetingen. Petersen gaf in 1924 een overzicht van + 450 in Noord-Duitsland gevonden schollen. De grootste zijn kilometers lang en breed en tot 20 meter dik. Een zeer bijzondere is de schol van Steinitten in het vroegere Oost-Pruisen, bestaande uit miocene, oligocene en een senone onderlaag. De omtrek van deze schol is 4 bij 8 km. Bij Rostock werden tertiaire schollen tot 50 m dikte aangeboord en in de buurt van Stralsund een krijtschol van 100 m dikte.

De afmetingen van deze schollen zijn dus vele malen groter dan die van het grootste ooit gevonden zwerfblok. Ook uit Rusland worden vele en zeer grote schollen gemeld.

Over het algemeen wordt aangenomen dat de schollen niet over zeer grote afstanden verplaatst kunnen zijn, zonder uit elkaar te raken. Ook bij hechte gesteenten of in bevroren toestand is er kans op verbrokkeling. Vele schollen staan schuin of verticaal in de keileem, te zien aan de oorspronkelijke gelaagdheid en geven zo een bewijs temeer van de ontzaglijke krachten, door de gletschers ontwikkeld.

In Nederland zijn eveneens glaciale schollen gevonden en wel door de Waard in de N-O polder (7). In dit geval zijn het schollen van rode keileem, stammend uit de Mindelijstijd, die door de gletschers van de Riss-ijstijd ergens in Duitsland opgenomen moeten zijn en midden in de grijze Risskeileem terechtgekomen. Behalve aan de kleur zijn deze schollen vooral te herkennen aan de zwerfsteeninhoud, waarbij de Rapakivigesteenten domineren. Later

heeft de Waard ook dergelijke schollen aangetoond in Groningen en Drente. De reusachtige grootte van hun verwanten in Duitsland en Rusland bereiken onze Mindelschollen lang niet. Maar als we bedenken dat ze, hemelsbreed gemeten, tenminste 300 km verplaatst moeten zijn, mogen we ons wel verbazen, dat er nog schollen van tientallen meters intact gebleven zijn.

Aan het einde van deze kleine inleiding over enkele onderdelen van de glaciële geologie nog een opmerking.

Ongetwijfeld zullen er aan dit betoog wel enkele foutjes kleven. Maar ook al zou men de beste verhandelingen over dit onderwerp lezen, dan nóg krijgt men geen begrip en zeker geen gevoel voor de gletschers en hun geologie. Ga het veld in om de grootsheid, de macht en vooral de schoonheid van de gletschers te zien. Kennismaking met het eeuwige ijs zal geen amateur of vakgeoloog berouwen.

Groningen, mei 1958.

Literatuur

1. DAVIES, H.W. "Die erklärende Beschreibung der Landformen", Duitse vertaling van Ruhl. Jaartal?
2. FABER, Dr. F.J. "Van zondvloed tot landijs". Zutphen 1949.
3. KLEBELSBERG, Prof. R. von. "Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie" 1e Bd. Weenen 1948.
4. LJUNGER, Dr. E. "Morphologie v.d. Schwedische Skagerrakküste". Bull. Geol. Inst. Uppsala 1924.
5. PETERSEN, G. "De Schollen der norddeutschen Moränen in ihrer Bedeutung für die diluvialen Krustenbewegungen". Fortschr. der Geol. und Pal. nrg, 1924.
6. RINNE, Dr. F. "Gesteinskunde" 12e druk, Leipzig 1940.
7. WAARD, Dr. D. DE. "Glacigeen Pleistocéen. Een geol. detailonderzoek in Urkerland, N-0 polder." Verhand. Geol. Mijnb. kund. Gen. Geol. Serie XV 1949.

H