

WINDKEIEN EN KLIMAAT

L. H. Hoffland

Toen Heimans zijn heerlijke "Geologieboekje" schreef, presenteerde hij ons daarin de windkeien wel als een verrassend en merkwaardig verschijnsel, maar niet als een nog op te lossen probleem. Hij had voor deze presentatie ook werkelijk een goede grond. In woestijnen waren de windkeien al door mannen als Travers, Nathorst, Verworn, Cloos en Walther in hun wording bestudeerd. De onze, tot de noord-europese behorend en met vormen, die in grote lijn dezelfde zijn als van die welke in woestijnen worden gevonden, hadden ook al ruim een halve eeuw de aandacht getrokken. Gutbier, 1858, was de eerste, die ze signaleerde. Ze moesten ontstaan zijn in de koude, maar toch woestijnachtige situatie nabij het landijsfront, daar waar de keileem werd uitgeblazen en zo de grondstof leverde waaruit t.a.p. de loess ontstond. Niemand minder dan Albert Heim, formuleerde, 1887, na bestudering van de windkeien in Noordduitsland, de regel der facettering: "Die Zahl und Anordnung der Kanten und damit die Form der geschliffenen Pyramiden hängt ab von der ursprünglichen und wenig veränderten, Umrissform des Gesteinsstückes. Hat das Geschiebe, flach gelegt, im Grundriss annähernd die Gestalt eines Drie-, Vier-, oder Fünfeckes, so entstehen entsprechend drei, vier oder fünf pyramidale Kanten. Neen, wel zeer merkwaardig, maar zonder vraagtekens was voor Hermans dit fenomeen.

Toch was al voor de eerste druk van "Het Geologieboekje," 1913, de poort opengezet voor nieuwe discussies. Om te beginnen hadden Penck en Brückner, tussen 1901 en 1909, reeds de volledige uitgave beleefd van hun baanbrekende werk. "Die Alpen im Eiszeitalter." Daarin toonden zij het opzienbarende feit aan, dat de IJstijd niet slechts één ijsuitbreiding had te zien gegeven, maar tenminste vier glaciaaltijden, door interglacialen gescheiden. En zo kon nu, wat ons land betreft, overwogen worden in welke glaciaaltijd of -tijden hier de ijsbedekking plaats had en bij welke van die gelegenheden de windkeien geslepen waren. Als basis voor discussie kwam er later, 1929, en wel als gevolg van de ontdekking, door Gripp en zijn staf, van de periglaciale verschijnselen op Spitsbergen, nog de vraag bij, of onze windkeien echt wel dicht bij het landijsfront waren ontstaan, dan wel op grotere afstand daarvan, in het op bepaalde tijden ook wel koud-droge toendragebied. Deze vraag woog voor Nederland nog te zwaarder, nadat Oosting, 1936, in het voetspoor van Gripp, ook in ons land periglaciale vormen had gevonden en het daardoor al meteen duidelijk was, dat heel veel van het land, dat op de heuvelhellingen onze windkeien dekt, tot de periglaciale afzettingen van Würm-ouderdom behoort. En nog te meer kreeg deze vraag de nadruk, doordat met de ontwikkeling van het stuifmeelonderzoek, waaraan in ons land Florschütz zo'n bijzonder aandeel had, kwam vast te staan hoe fel in het Würmglaciaal, hier, op tenminste een paar honderd kilometer van het Landijsfront, nog de koude geweest was, terwijl overeenkomstige sporen van grote koude in rissglaciale afzettingen niet waren gevonden. Wij vinden dan ook bij Van der Vlerk en Florschütz, 1949, de gedachte, dat toen rissglaciaal het landijs ons land bereikte, het niet onmogelijk was, dat het hier binnendrong in een bebost gebied.

Naast deze discussie over tijd en plaats van de slijping, waarin aan de slijping zelf echter niet getwijfeld werd, was er

ook het denkbeeld opgedoken, dat onze windkeien geen windkeien, maar slechts toevallig daar op gelijkende, wat opgepoetste splijtstukken, diaklazen, zouden zijn. Het was Zu Leiningen geweest, die 1908, op grond van waarnemingen in de omgeving van Neurenberg, deze gedachte had uitgesproken en het is merkwaardig, dat een zo scherp waarnemer als onze Lorié, die zelf uitstekende windkeien heeft verzameld, in 1915 Zu Leiningen bijviel, Tesch, 1924, zich in dezelfde geest uitsprak en, 1933, ook Faber zich een voorstander van dit denkbeeld toonde.

Toch was vóór 1933 de kentering al weer in gang. In 1928 n.l. gelukte het Kuenen om, middels een kleine zandblaas windkeivormen te produceren uit min of meer afgeronde vormen als die van veel normale zwerfstenen. Bovendien werden tellingen verricht, waaruit bleek, dat windkeivormen tussen de stenen in rivierafzettingen en in keileem meestal vrijwel onvindbaar zijn, maar, dat daar tegenover in de gereduceerde grondmorene de windkeien zeer talrijk kunnen voorkomen, n.l. meer dan 50%. Door dit feit was het echt onmogelijk de windkeien in massa nog langer als toevalligheden te beschouwen. Faber, 1942, zegt dan ook, dat "echte windvlakkers er zeer zeker zijn" en zo kon dan ook met meer zin de discussie over tijd en plaats der slijping weer worden voortgezet. Het is niet de bedoeling en ook niet nodig, hier deze discussie, deze groei der denkbeelden hoe interessant ook, tot in onderdelen te volgen. Maar wel moeten toch enkele punten worden gememoreerd. Om dan te beginnen was er het gezaghebbende woord van Soergel, 1919. Dit luidde: "Vorstozzphase und Höhepunkt jeder Vereisung haben die Bedingungen zur Loessbildung erfüllt." Dit woord speelde ook voor de datering der windkeivorming een rol, omdat deze slijping evenals de loesvorming een bijzondere windwerking is, en deze twee, werkingen als twee uitingen van één klimaatstype en zo als ongeveer tegelijkertijd gebeurend, worden beschouwd. Nadat dus was vastgesteld, dat alleen riss glaciaal het landijs was doorgedrongen in ons land, moest de slijping tot windkeien van de stenen uit de grondmorene, die eerst bij de teruggang van het ijsdek vrijkwamen, wel gezien worden als eerst in begin tot maximum van het Würmglaciaal tot standgekomen, en dit werd dan ook door heel wat onderzoekers gedaan.

Deze visie stuitte echter op de volgende moeilijkheid. Veel rissglaciaal aangevoerde stenen worden n.l. al kant en klaar tot windkei geslepen aangetroffen in Würmglaciaal tot modder geworden grondlagen. In dit verband moet hier in het bijzonder genoemd worden het minitieuze onderzoek door Dücker, 1933, in Noord-duitsland verricht. Om de aanwezigheid van die windkeien in die kryoturbate modder te verklaren met behoud van hun slijping würmglaciaal, werd voor de slijping een nieuwe theorie opgesteld. Geopperd is namelijk, dat de wind niet meerdere facetten te zelfde tijd zou slijpen, maar achtereenvolgens en wel telkens één aan de dan naar de heersende wind gerichte zijde. Door de beweging der stenen in de kryoturbate bodem zouden zij nu eens met deze, dan weer met die zijde naar de heersende wind gekeerd opduiken en zo zouden juist in dat kryoturbate milieu de windkanters met meerdere facetten, ook zulke die naar onder zowel als naar boven toe geslepen zijn, kunnen ontstaan. Wij vinden dit kryoturbate milieu als in het bijzonder geschikt voor windkeivorming niet alleen genoemd bij Dücker, 1933, maar ook bij Cailleux, 1938, Woldstedt, 1954 en Maréchal et Maarleveld, 1955. Eescher, 1948, blijft echter bij de oude opvatting van slijping tijdens uitstuiving van drooggevallen velden. In overeenstemming met de herhaaldelijk geconstateerde relatie in ligging tussen rivierdalen en loessdekken, denkt hij echter minder aan uitwaaiing van keileem dan aan uitwaaiing van zand en stof uit droogliggende smeltwaterafzettingen. Het was o.a. Udluft, 1933, die op dit laatste punt, dit merkwaar-

dige aspect van de glaciaaltijden, n.l. op het dan lange tijd, haast droogleggen der rivierdalen, gewezen heeft,

Ondertussen was, al tientallen jaren voor 1955, de kiem voor een omzwaai van het denkbeeld t.a.v. de tijd der windslijping gelegd. Bij Kayser, 1923, b.v. vinden wij al een foto van een würmglaciaal grondmorene, die alsnog met loess overdekt is; Flint, 1947, signaleert würmglaciale keileem, die evenzo door loess is overdekt.

Bovendien echter was er nog een groot aantal andere waarnemingen, die de door Soergel gegeven voorstelling, dat de hevige werkingen van de wind tijdens uitbreidingsfase en maximum van een glaciaaltijd zouden zijn opgetreden, geheel onhoudbaar maakten. In het proefschrift van Teunissen, 1961, zijn deze waarnemingen zorgvuldig opgesomd en vinden wij ook de daaruit getrokken conclusie. Deze zegt, dat een glaciaaltijd, afgezien van een korte begin- en eindfase, bestaat uit twee delen n.l. een koude-oceanische fase, waarin de uitbreiding van het landijs onder de invloed van grote sneeuwval plaats heeft, terwijl dan buiten het landijs solifluctie en kryoturbatie machtig zijn; vervolgens een koudcontinentale fase, die even voor het landijs maximum inzet, waarin bij droogte en veel wind de windwerkingen hevig zijn en, ondanks nog grotere koude dan te voren, het landijsfront terug wijkt.

Hierbij aansluitend eerst enkele bodemprofielen. Als fig. 1 het al eerder gepubliceerde profiel in de Soesterduinen.

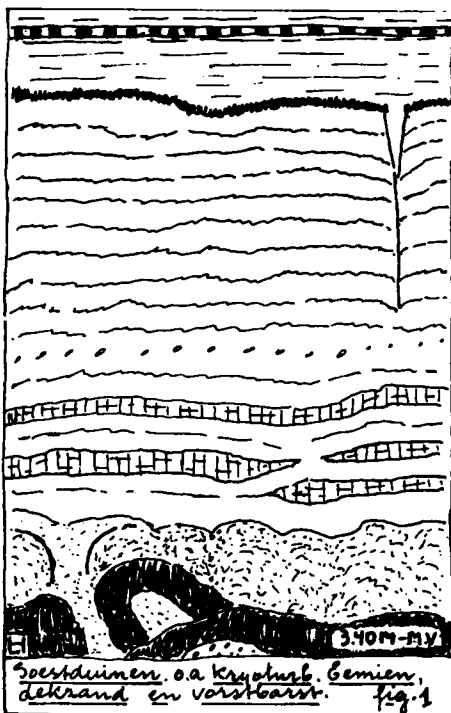
Onderin hevige kryoturbatie aangrijpend in fluvioglaciaal en Soesterleem (Eemien). Daarop volgend solifluctie, de veenlagen uiteentrekkend. Deze gevolgd door dekzandafzetting. Dit dekzand is in hoofdzaak aangevoerd door de wind, maar solifluctie spreekt nog zwak mee. Boven dit dekzand de allerodlaag en een vorstbarst omlaagpriemend in het dekzand.

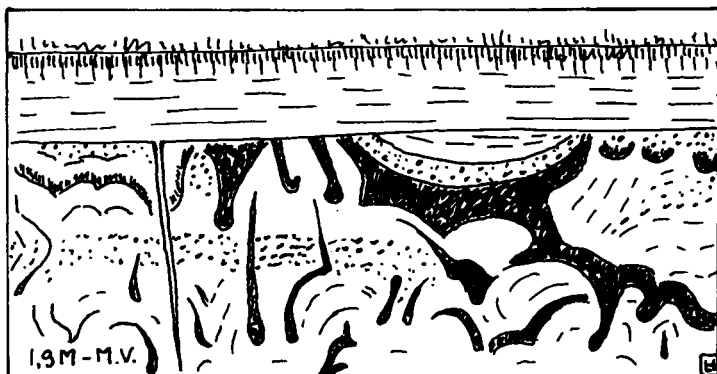
Als fig. 2 een profiel te Bilthoven, Een prachtig voorbeeld van kryoturbate vervormingen. Dit proces is tot rust gekomen bij volgende grotere koude, waarbij zelfs 's zomers de bovenlaag niet ontdooide en vorstbarsten omlaag konden dringen in de niet meer bewegende bodem.

Als fig. 3 een profiel te Rheden. Dit geeft de bedding te zien van een beek, die hogerop in de heuvels ontsprongen zal zijn aan de solifluctiebrei. Deze wijde niet diepe bedding is opgevuld met zand en grind, dat naar boven toe geleidelijk overgaat in de loessafzetting.

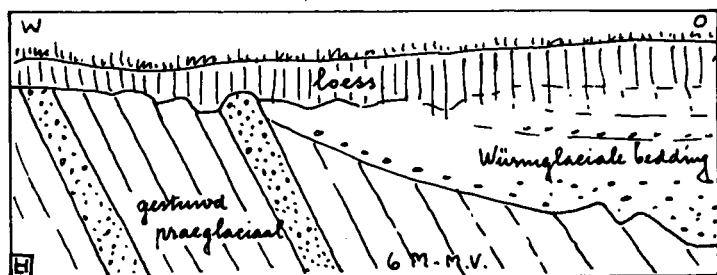
Als fig. 4 een profiel te Groesbeek, hier is een plooizadel aan één zijde door solifluctie geërodeerd. Hierdoor zijn ook de einden der doorsneden lagen vervormd. Zij zijn omlaag gebogen en tot staarten uitgerekte. "Staarten" - een term van Lorié. De solifluctie is gevolgd door loessafzetting.

Met het nu bekende, door deze profielen onderstreepte klimaatverloop, is de baan weer vrij voor de oude opvatting, dat de

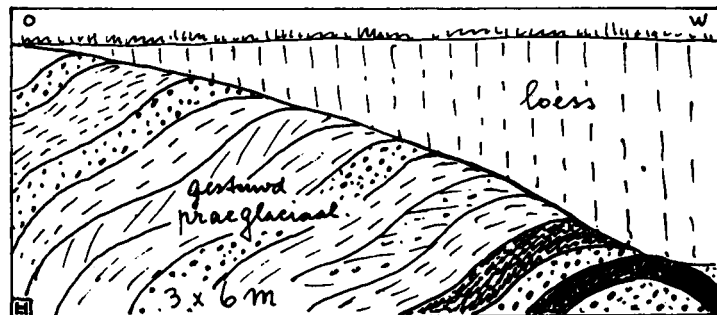




Bilthoven. Kryochate bodem met vorstbarst. fig. 2



Rheden. Halve dwarsdoorsnede over Würmgl. bedding. fig. 3



Groesbeek. Plooiradel getroedeerd door solifluctie. fig. 4

windkeien geslepen werden in dezelfde glaciaaltijd, waarin de stenen werden aangevoerd. Maar gevraagd kan worden, of in ons land het aantal rissglaciaal geslepen windkeien misschien maar beperkt is en de massale slijping toch pas in het zeer koude Würm heeft plaats gehad. En deze vraag is gesteld en met ja beantwoord, maar zonder dat de feiten waarop dit ja berust zijn gememoreerd, daarom is het nodig deze vraag opnieuw te bezien.

Merkwaardig genoeg kunnen wij om te beginnen, voor het antwoord teruggrijpen op twee al bijna veertig jaar oude publicaties n.l. Brooks, 1926, en Samuelson, 1926. Wij vinden daar bijzonderheden over Groenland en Spitsbergen. Brooks meldt, dat er op Groenland punten zeer nabij het landijs zijn waar, ondanks de zeer grote koude, een situatie als in woestijnen wordt aangetroffen. De droogte is er zo groot, dat door uitdamping van zeewater er zelfs

kleine salinen ontstaan. Brooks en Samuelson beide spreken ook van de valwinden, die van het ijsdek met enorme kracht omlaag komen. Samuelson merkt daarbij op, dat de kracht van deze valwinden eenmaal in de vlakte of boven zee gekomen, spoedig raakt uitgeput. Een belangrijke bijzonderheid van deze valwinden is, dat ze op een bepaalde plaats zeer constant dezelfde richting hebben. Uit deze publicaties, door meerdere anderen ondersteund, kan worden vastgesteld, dat hoewel de koude van het landijs, het periglaciale klimaat zich tot honderden kilometers ver van het landijsfront verwijderd in het voorland doet gevoelen, er dicht bij het landijsfront nog een fellere variant van dat klimaatstype, met nog heviger, intenser koude en droogte en zeer krachtige wind, lange tijd uit één richting, kan gevonden worden.

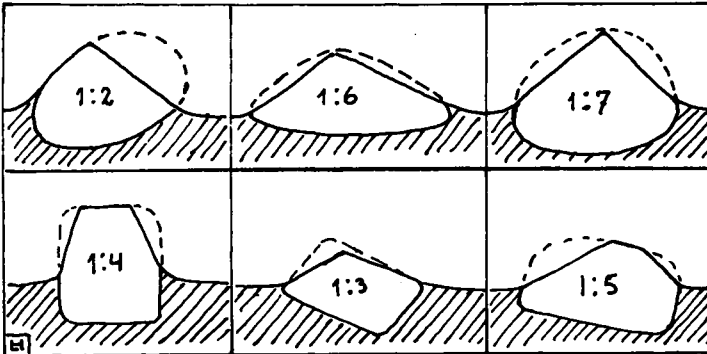


Fig. 5 Doornede van niet geheel blootgestoven exemplaren. Getekend de mogelijke vorm voor het slijpen.

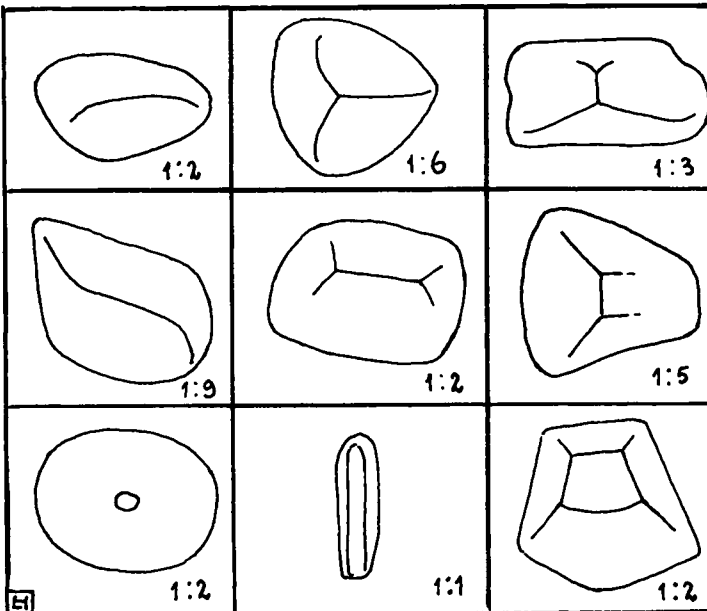
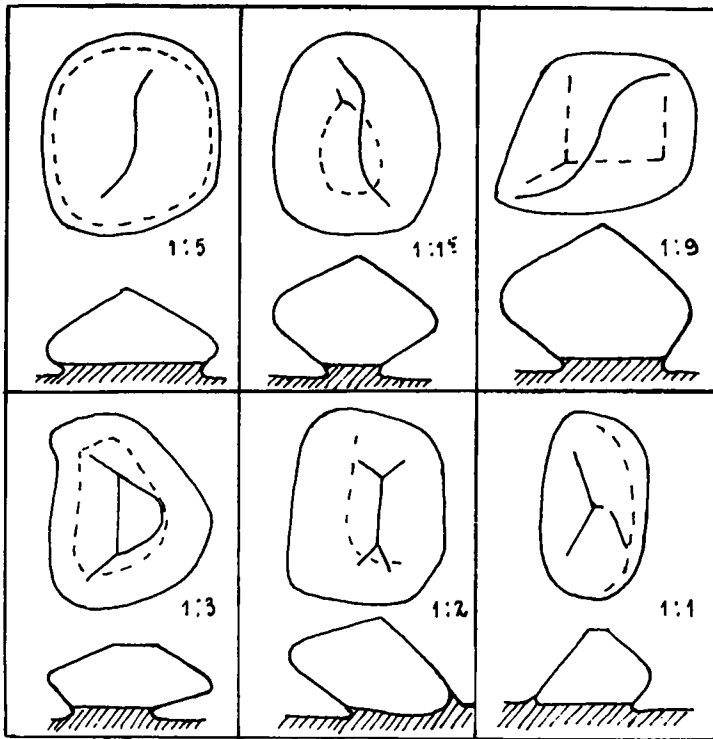


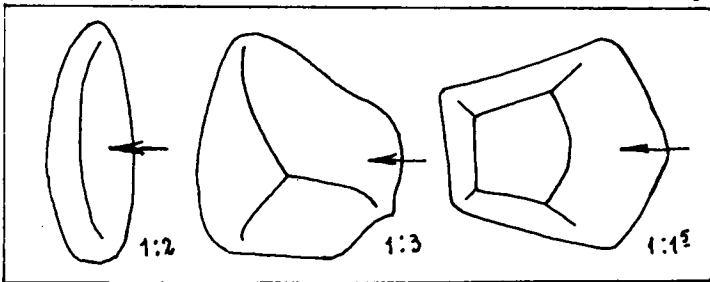
Fig. 6 Slijppatroon windkeien van boven gezien.

Voor de verdere beantwoording van de vraag, waar en wanneer de windkeien geslepen werden is het nu de tijd bij de windkeien zelf te rade te gaan. Wie een ruime collectie windkeien overziet, zal opmerken, dat de meesten een basisvlak hebben. Aan dit vlak zijn soms nog gletscherkrassen of botsfiguren bewaard gebleven. Ook komt het voor, dat de steen nooit helemaal blootgestoven is en deze daardoor naar onder toe nog geheel de min of meer afgeronde zwerfsteenvorm heeft. Deze contrasteert dan wel bijzonder sterk met de kantig bijgeslepen bovenzijde, zie fig. 5. Ook valt dan op, dat van de meeste stenen, als ze op hun basisvlak rusten, de langste as vrijwel horizontaal ligt en dan, als wij de stenen van bovenaf bezien, ook in het oog springt hoezeer de stenen geslepen zijn volgens het eenvoudige patroon, dat bepaald wordt door hun zo van boven af geziene omtrek, zie fig. 6. In een kryoturbate bodem bewegen de stenen echter niet in die stand. Daar zakken en rijzen zij met hun zwaarste eind naar onder, het dunste naar boven gericht. Ze hangen daarin a.h.w. met hun langste as ongeveer te lood opgericht. Ze duiken ook op in die stand. Was het dus, dat de stenen tijdens kryoturbatie geslepen waren, dan zouden vooral de dunste einden door de wind bewerkt zijn. Maar dit is niet het geval. Zij hebben hier dus iets dergelijks als met de mammoetkiezen. Deze worden hier veelal in rivierafzettingen gevonden. Toch waren de mammoets geen waterbewoners. En zo zullen onze windkeien, hoewel ze dikwijls in kryoturbate bodems voorkomen, toch niet daarin zijn ontstaan. Bij het bezien van de stenen, die naar boven en naar beneden geslepen zijn, blijkt het patroon naar onder in de regel anders dan naar boven. Boven is er vaak een nokribbe of komen zelfs alle ribben, een pyramide vormend, in één punt samen. Naar beneden is meestal iets als een afgeknotte pyramide aanwezig, maar het grondvlak van de steen is vaak niet eens volledig scherp omlind en de hoeken zijn vaak nog afgerond en dan ook zonder daarbij aansluitende, de facetten naar terzijde begrenzende ribben, zie fig. 7. Het is nu deze slijping naar onder toe, en ook de scherpe begrenzing van het basisvlak, die onze bijzondere aandacht vragen. Want, stenen, die geslepen worden bij ligging op los woestijnzand krijgen geen slijping van betekenis naar onder en de proefstukken van Kuenen, tijdens de slijping liggende op een metalen tafel, kregen wel facetten naar onder, maar geen scherpe begrenzing van het basisvlak. De oorzaken van deze verschillen liggen voor de hand. Het is n.l. zo, dat stenen op los zand gelegen, bij uitblazing rondom zelf spoedig na zakken en zo slijping van betekenis naar omlaag onmogelijk wordt. Op de metalen tafel van Kuenen zakten de stenen niet na, kon dus naar omlaag geslepen worden, maar, omdat de bodem rondom niet uitstuiven kan tot beneden het basisvlak, kon de zandbeladen wind ook niet vrij naar omlaag doorschieten. En dit laatste is voor het slijpen van scherpe begrenzingen aan het basisvlak nodig. De situatie waarin deze uitblazing rondom zonder dat de steen gaat nazakken wel mogelijk is, is die waarbij de stenen liggen op een permanent tot aan de dag bevroren bodem, want deze, haast zo vast als de metalen tafel, stuift toch, ondanks zijn hardheid uit. De stenen kwamen daardoor op een klein, maar stevig voetstuk te liggen en de scherpe begrenzingen aan het basisvlak werden een feit Zie fig. 7.

Deze situatie tijdens de slijping blijkt ook nog uit andere bijzonderheden. Zo zijn er b.v. geheel geslepen windkeien met een in verhouding tot de gehele steen onwaarschijnlijk klein basisvlak. Deze keien moeten, zoals paddestoelrotsen in de woestijnen overeind hebben gestaan en kunnen alleen zo gestaan hebben, doordat ze, aangevroren, één geheel vormden met de bodem. Ook zijn er stenen, die aan het basisvlak op een zeer bijzondere manier zijn uitgeschulpt. Dit verschijnsel kon alleen dan ontstaan waar de



Het verschil tussen slijnpatroon onder en boven, en de ligging bij slijping naar onder en een klein voetstuk. Fig. 7



Hoofd-slijpvlakken.

Fig. 8

wind de kans kreeg binnen te dringen tussen steen en voetstuk. Dan werden allerlei holten uitgewerveld. Soms zijn die holten alleen maar tot stand gekomen dicht bij de rand van het basisvlak, soms zijn ze geheel doorgedrongen van loef naar lezij. Dan is het hele basisvlak door deze uitschulpingen gemodelleerd en zal de steen alleen wat grovere en zo niet weg te blazen steentjes zijn blijven liggen.

Er zijn ook windkeien, volledig geslepen, maar van zo gering gewicht, dat de wind ze, evenals dat met kleine rolstenen in woestijnen gebeurt, zou hebben verrold, als ze niet vastgevroren waren geweest aan de bodem. In woestijnen n.l. krijgen zulke kleine rolstenen geen typische windkeivormen. Zij zijn voortgejaagd in een zandstorm, de projectielen, die de voeten en benen der karavaanreizigers wonden.

Tot zover dan het getuigenis van onze windkeien zelf tegen slijping gedurende de ligging half in- half op een kryoturbate bodem, en voor een dierend tot aan de dag bevroren bodem tijdens hun ontstaan.

En nu dan, hier volgens hun antwoord op de vraag of ze nabij het landijsfront dan wel op grotere afstand daarvan geslepen werden.

In zandwoestijnen, met wind in een vaste koers, zijn, als typerend voor die situatie, veel langwerpige rolstenen gesigna- leerd, die ongeveer dwars op de windrichting gelegen, slechts één facet en daarmee één ribbe, de nokribbe, hadden gekregen, Tussen deze éénribbers lagen stenen van andere vorm die hoewel bepaald niet tijdens de slijping van stand veranderd, toch meer- dere facetten, n.l. een aantal corresponderend met hun basisvorm hadden gekregen. Wel echter waren die stenen dan aan de loefzijde het krachtigst geslepen. Het facet aan die zijde werd door Cloos het hoofdslijpvak genoemd. Bovendien was dan dat hoofdslijpvak dikwijls veel gladder afgewerkt als dat aan de leizijde. Maar dit laatste hangt samen met de steensoort, zodat b.v. aan een kwart- siet, zeer homogeen van samenstelling en zonder holten, praktisch geen verschil in afwerking tussen loef en leizijde is te zien. Een grove gneis echter kan dit verschil uitstekend demonstreren. Dat wij nu onder onze windkeien weinig uit rolstenen gevormde éénrib- bers vinden, betekent nog niet, dat hier, wat de wind betreft, de slijpsituatie een andere was dan in de woestijnen. Dit is veel meer het gevolg van een geringer aantal rolstenen in vergelijking met dat van andere beginvormen in onze windkeienvelden. Wel zijn er namelijk heel veel éénribbers van ander type, en wel zulke die ontstaan zijn uit wat langwerpige, meestal min of meer platte, maar aan de hoeken toch goed afgeronde vormen. Zie fig. 7. Boven- dien moeten wij nog in het oog houden, dat een groot deel van de stenen met drie facetten slechts een bescheiden variatie op deze éénribbers vormt. Zij hebben met twee vlakken ongeveer naar de heersende wind gelegen, en de wind heeft, naar links en rechts geslepen. Zij zijn tezamen het hoofdslijpvak. Zie fig. 8. Aan de stenen met een hoofdslijpvak vinden wij ook zelfs hier duidelijke voorbeelden van gladdere afwerking te loef- dan te leizij. Al met al zijn er veel stenen, die wind, lange tijd uit één richting, demonstreren. Een exemplaar dat bijzonder goed dit extreme klimaat toont, is een stuk blazige lava, waarvan de blaasjes, voor zover aan het oppervlak gelegen, allen door de slijping verlengd zijn en één richting en zo tot evenwijdige strepen zijn geworden. Er is echter nog een ander verschijnsel dat ons de vorming van onze windkeien nabij het landijsfront voor ogen stelt. Dat zijn de schaarse, maar daarom niet minder demonstratieve gebroken exem- plaren. Hun breukvlak staat gewoonlijk dwars op hun langste as, dat wil zeggen, ook dwars op hun gunstigste natuurlijke splijt- richting. De vorm van hun breukvlak is die door beknelling, even- tueel gepaard gaand met buiging. Hun materiaal is o.a. zandsteen, kwartsiet en helleflint. Er is wel geen andere kracht, die de keien belastend, ze aldus kon breken dan die van het landijs, dat na zijn maximum, bij kleine transgressies nog even kon doordrin- gen in een windkeienveld, vooropgesteld dat dit veld al meteen buiten het ijsfront lag.

Hierbij aansluitend nu twee details van een profiel te Huizen. Zie fig. 9 en 10. Het eerste toont een gedeelte van een smeltwa- terbedding, waarin, door de persende werking van het nabije land- ijs, een leembank plus enkele zandlagen is omhooggedrukt. De na- bijheid van het landijs spreekt ook uit het gewicht der stenen die in deze bedding bezonken zijn. Er zijn er bij van een ton en meer. Door het smeltwater is achter deze barriere van leem en zand een kolkgat uitgewield. De ondermijnde wand van dit gat is niet inge- stort. Hierdoor wordt het geheel bevroren zijn van de bodem,

ondanks de aanwezigheid van smeltwater, duidelijk, en daarmee ook koude groter dan in de würmglaciale toendra. Het tweede detail, fig. 10, laat een wat verder stroomafwaarts gelegen deel van deze smeltwaterbedding zien en wel op een punt waar hij een windkeien-veld aansnijdt. In de stroomgeul zijn kant en klaar geslepen windkeien omlaag gevallen. Zij zijn daarna met zand overdekt en daarop volgend heeft deze overdekking ook buiten deze stroomgeul plaats gehad, en daardoor zijn hier honderden en nog eens honderden windkeien beschut tegen de ernstige verwerking, die zo vele andere, slechts door würmglaciaal dekzand overlegd, of opgenomen in würmglaciale modder, heeft aangetast. Hier, bij Huizen, volgt

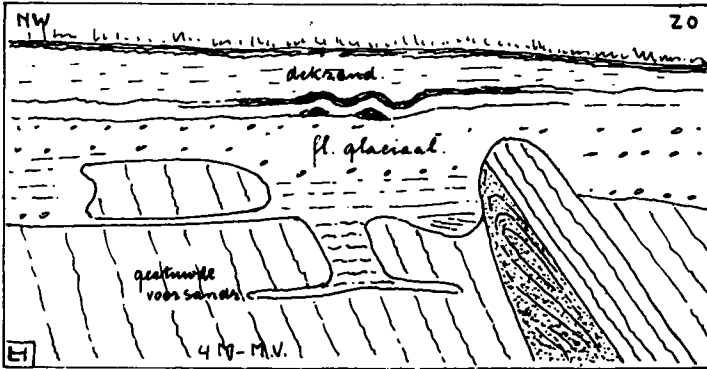


Fig. 9 Huizen. Smeltwaterbedding.

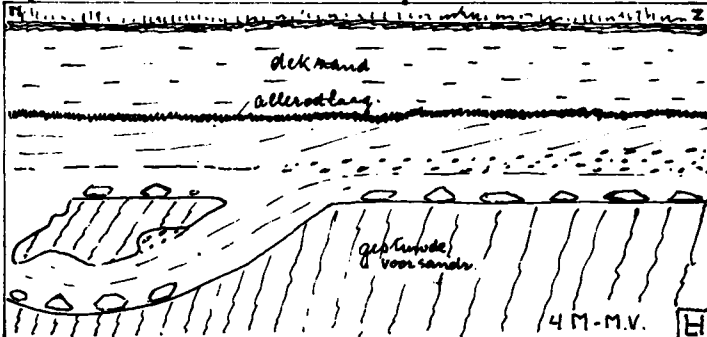


Fig. 10 Huizen. De zelfde smeltwaterbedding t.a.v.

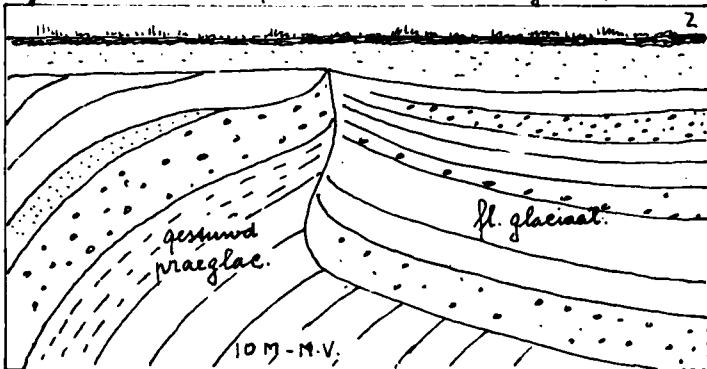
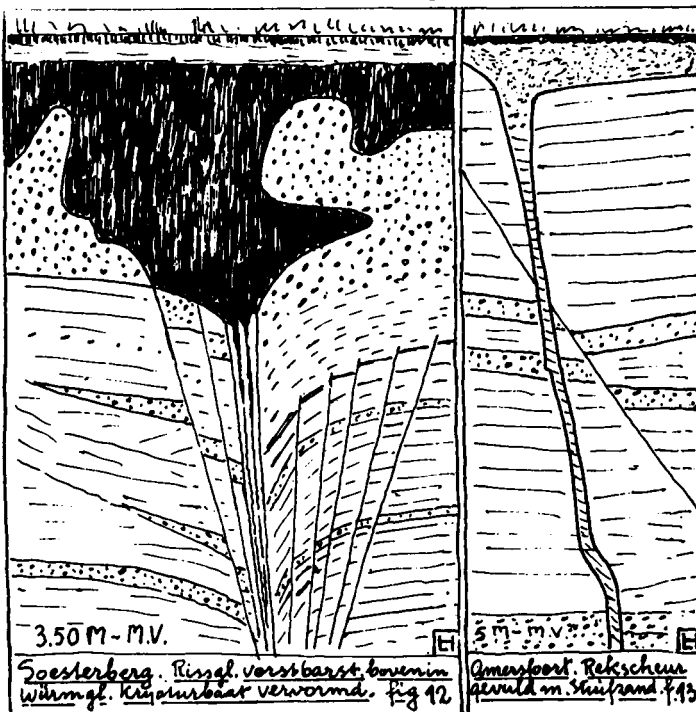


Fig. 11 Rhemen. Smeltwaterbedding m. onderspoelde oever m. Corid.

pas ongeveer een meter boven de windkeienlaag würmglaciaal sediment. De windkeienlaag zelf is de door uitblazing tot blokpakking gereduceerde grondmorene. Naar het noorden toe wegduikend, sluit hij daar aan bij niet uitgeblazen keileem. De bodem meteen onder de windkeien toont geen spoor van kryoturbatie en in tegendeel zonder enige vervorming de sporen van de stuwung, resp. die van het overschuivend ijs.

Aansluitend bij dit profiel te Huizen nog een profiel te Rhenen, te Soesterberg en te Amersfoort. Dat van Rhenen, zie fig. 11, werd opgenomen door Lorié, al voor 1887, bij het graven van de spoorweginsnijding, waardoor nu de verkeersweg loopt. Het toont een smeltwaterbedding, diep ingesneden in het gestuwde prae-glaciaal. De steile oever is onderspoeld en desondanks intact gebleven. Evenals het profiel te Huizen toont het daardoor het samengaan van een duredn geheel bevroren bodem met smeltwater en zo bijzonder grote koude. Het profiel van Soesterberg, zie fig. 12, toont het bovenste deel van één van de honderden grote vorstbarsten, die daar in de sandr omlaaggedrongen zijn. Sommige van die barsten zijn, door hernieuwd stromen van smeltwater, niet tot volle ontwikkeling gekomen en zijn op geheel andere wijze opgevuld. De meesten reiken echter omlaag tot beneden de groevebodern op 8 tot 12 m. onder maaiveld. Doordat de grote vorstbarsten hun ontstaan danken aan het droogkoude klimaat in de tweede helft van een glaciaaltijd en hevige kryoturbatie tot de eerste helft van een glaciaaltijd behoort, is het ook daardoor duidelijk, dat deze vorstbarsten ontstaan zijn in de tweede helft van het Riss-, en daarop volgend, in de eerste helft van het Würmglaciaal, de krachtige kryoturbate vervorming is ontstaan, die vele van hen bovenin heeft aangetast. De afmetingen van deze vorstbarsten zijn veel groter als van die welke gevonden worden in würmglaciale dekzanden, en zo doen ook zij ons de zeer grote koude rissglaciaal nabij het landijs kennen. Deze koude spreekt ook uit het profiel van Amersfoort, zie fig. 13, waarin een open rekscheur zichtbaar is,



ontstaan in de laatste stuwingsfase. Deze is geleidelijk aan opgevuld met stuifzand en toont zo behalve de koude ook de droogte.

Is nu met het geven van deze profielen bewezen, dat al onze windkeien in het bijzonder koude en droge klimaat nabij het landijsfront geslepen zijn? Dat is beslist niet zo. Wel is hiermee duidelijk, dat o.a. ook het grote Windkeienveld op de Veluwe, in dezelfde tijd als het gooise in dezelfde situatie t.o.v. een smeltwaterdal gelegen, rissglaciaal zal zijn ontstaan. Zie fig. 14. Er

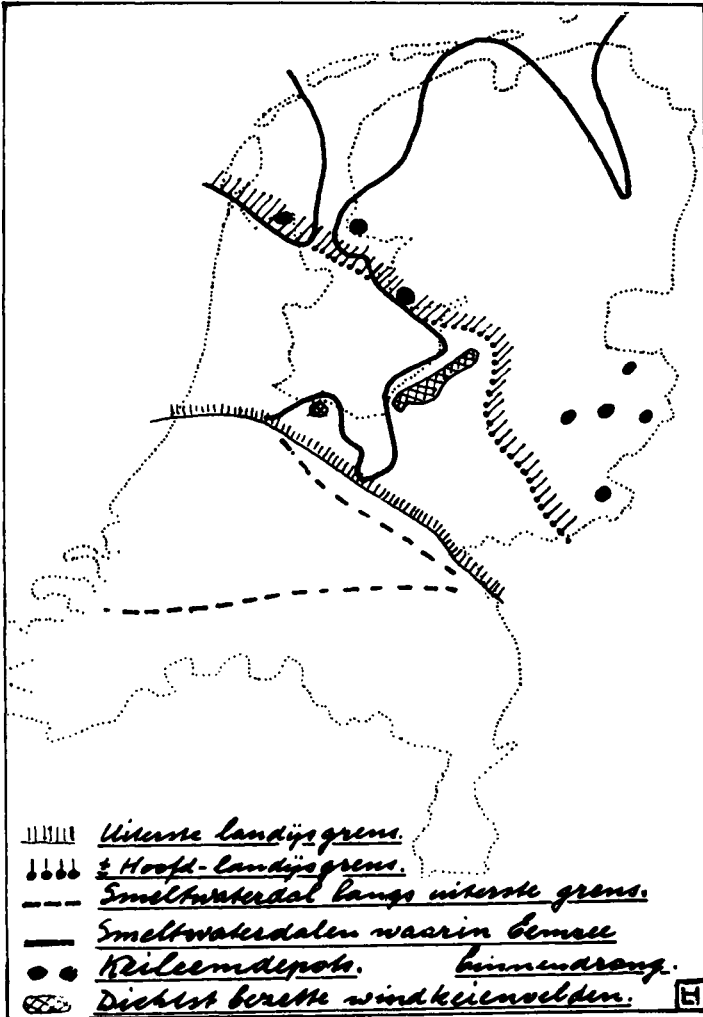


Fig. 14. Situatie windkeienveld Gooi en Veluwe.

is echter ook een windkeienlaag onder Utrecht, die, vóór de afzetting van fluvioglaciaal aldaar tijdens het rissmaximum, nog door rond 7 m. maasmateriaal is overdekt. Wel ligt deze laag een paar meter boven het Neediën, en dus wel in het Rissglaciaal, maar in het eerste gedeelte daarvan, en dus zijn die windkeien ontstaan op grote afstand van het landijsfront. Ter verklaring

van hun ontstaan, en ook van zulke die op andere plaatsen b.v. in Normandië, is het wellicht nuttig te herinneren aan situaties die bekend zijn uit subarctische gebieden en waarover Patterson, een gegraduateerde die trapper werd, zo levendig en nauwkeurig heeft geschreven. Hij verhaalt hoe in sub-arctisch Canada des winters de rivierdalen, in plaats van beschutting te bieden, juist tot afvoerkanalen worden van de felst blazende wind. Op bepaalde punten was die wind zo krachtig, dat Patterson, voortgaand over het ijs, daar eenvoudigweg teruggeblazen werd. De indianen, beter dan hij op de hoogte van deze situatie, meden in die tijd van het jaar juist de dalen en reisden over de rotsplateaus waar de wind niet deze kracht bezat.

Bovendien echter zal het nodig zijn aan te nemen, dat niet alleen bij de teruggang van het ijsfront onderbrekingen optreden en zo een opeenvolging van stadia en interstadia met wisselend klimaat ontstaat, maar dat ook de uitbreiding van een landijsdek niet in een ruk plaats heeft, dus ook onderbrekingen kent waarin het, dan over het algemeen koud-vochtige klimaat, tijdelijk omslaat in een koud-droger klimaat. En hoewel nu de risglaciale maasbedding onder Utrecht, niet op één lijn te stellen is met dalen in rotsplateaus, als die waar Patterson zich doorheen worstelde en van onderbrekingen in de rissglaciale uitbreidingsfase weinig of niets bekend is, zal er toch zulk een onderbreking en zo'n plaatselijk ook verder van het landijs felle wind geweest moeten zijn om deze maasstenen tot windkeien te slijpen.

Daarmee is dan ook de poort weer open voor enige slijping van windkeien in ons land tijdens het Würmglaciaal. Omdat echter de in ons land door würmglaciale uitblazing gevormde keienvloertjes in bepaalde gevallen geen enkele tot windkeien geslepen steen bevatten, in andere gevallen er wel wat windkeien in voorkomen, maar nooit zo'n vloertje door de wind bewerkte stenen in massa presenteert, is het onwaarschijnlijk, dat zij bij dat uitblazen geslepen zijn. Het ligt veel meer voor de hand, dat ze reeds voor dat uitblazen, in het Riss waren ontstaan en door het uitblazen met stenen uit andere niveaus zijn vergaard. In ieder geval zal de würmglaciale slijping hier niet krachtig geweest zijn. Wel was dit weer zo in Noord-Duitsland, nabij het ijsfront.

Nog één opmerking. Hoewel in dit opstel wat dieper op de vormgeving der windkeien is ingegaan dan in handboeken over algemene geologie het geval is, zijn hiermee toch beslist niet alle bijzonderheden, die zij tonen besproken. Zelfs niet alle bijzonderheden van onze Nederlandse windkeien; laat staan dan voor die uit woestijnen, en die uit rivierbeddingen op groter afstand van het landijsfront. Van deze laatste mag verwacht worden, dat ze als gevolg van de andere slijpsituatie, ook karakteristieke vormverschillen zullen tonen, t.o.v. die welke nabij het landijs zijn ontstaan, maar om die te kunnen vaststellen, zou het nodig zijn er een flinke hoeveelheid, zeg een paar honderd stuks, van bijeen te hebben. Er blijft dan ook voor de geïnteresseerden nog genoeg te zoeken en te puzzelen over. Alleen echter, ter voorkoming van misverstand, nog dit. De dubbele driekanter zijn hier niet besproken. Deze worden wel vaak als de windkeien bij uitnemendheid beschouwd, maar in werkelijkheid zijn zij het type, dat de meeste steun verleende aan de gedachte, dat de windkeien slechts opgepoetste diaklazen zijn. Zij zijn dan ook de minst betrouwbare voorbeelden van windkeien en zij zijn bovendien ver in de minderheid t.o.v. de andere typen.

Groenekan, december 1963.

LITERATUUR

- 1858 Gutbier
 geciteerd door Verworn, M. 1896, zie
 aldaar.
- 1869 Travers, W.T.L.
 "On the sandworn stones of "Evans"
 Boy. Trans. and Proc. at New Zea-
 land Inst. Vol. 2 p. 246. Zie ook
 Nathorst, A.G. 1886.
- 1872 Meijn, L.
 geciteerd door van Calcar 1890, zie
 aldaar.
- 1886 Nathorst, A.G.
 "Ueber Pyramidal-Gesteine." Neues
 Jahrb. f. Min. etc. 1886 I S, 179.
- 1887 Heim, Alb.
 "Ueber Kantengeschiebe aus dem
 Norddeutschen Diluvium." Zuricher
 Naturf. Ges. 32 Jahrg- S. 383.
- 1887 Lorié, J.
 "Beschouwingen over het Diluvium
 van Nederland. Tijdschr. Aardrijksk.
 genootschap 1887.
- 1890 Calker, F.J.P.
 "Ueber ein Vorkommen von Kantenge-
 schieben in Holland." Zeitschr.d.
 Deutschen Geol.Ges. XLII S. 577.
- 1896 Verworn, Max.
 "Sandschliffe am Djebel Naku."
 Neues Jaarb. f. Min. etc. 1896 II
 S. 200.
- 1908 Leiningen, Zu.
 "Ueber Kantengerölle aus der Umge-
 gend von Nürnberg" Mitt. d. Geogr.
 Ges. München 111 1908.
- 1901-Penck u Brückner
 1909
 1911 Cloos, H.
 "Die Alpen im Eiszeitaler,"
 "Geol.Beobachtungen in Süd Afrika."
 Neues Jahrb. Beil.Bnd. XXXII S.49.
- 1912 Walther, Joh.
 1913 Heimans, E.
 1913 Pfannkuch, W.
 "Gesetz der Wüstenbildung."
 "Het Geologieboekje."
- 1914 Pfannkuch, W.
 "Die Bildung der Dreikanter," Geol.
 Rundschau IV S. 311.
- 1915 Lorié, J.
 "Die Formen der Kantenkiesel." Geol.
 Rundschau V S. 247.
- 1916 Escher G.B.
 1919 Soergel, W.
 "Over het ontstaan van driekanters!"
 Versl.geol.sectie,geol.en Mijnbouw.
 Gen. Tweede deel 1915-1919 blz. 68.
- 1919 Pfannkuch, W.
 "Gedaanteveranderingen onzer Aarde!"
 "Loesse, Eiszeiten und palaeoliti-
 sche Kulturen."
- 1923 Kayser, Em.
 1924 Tesch, P.
 "Zur Entstehung der Kantenkiesel."
 Geol. Rundschau X S. 112.
- 1926 Wagner, P.
 "Lehrbuch der Geologie."
 "Over kantige rolstenen." Gedenk-
 boek Schuiling, blz. 327.
- 1926 Brooks, C.E.P.
 1926 Samuelson, C.
 "Lehrbuch der Geologie u. Mineralo-
 gie."
 "Climate through the Ages."
 "Studien über die Wirkungen des
 Windes in kalten und gemässigten
 Erdteilen."
- 1927 Baren, J. van
 1928 Kuenen, Ph.H.
 "De bodem van Nederland."
 "Experiments on the formation of
 windworn Pebbles." Leidse Geol.Med.
 Dl. 3, blz. 17.

- 1929 Gripp, K. "Glaciologische u. geologische Ergebnisse der Hamburgischen Spitsbergen-Expedition."
- 1933 Dücker, A. "Die Windkanter des Norddeutschen Diluviums in ihren beziehung zu periglacialen Erscheinungen und zum Decksand." Jahrb. Preusz. Geol. Landesanstalt.
- 1933 Udluft, H. "Einige Bemerkungen zur Frage der Terrassenaufschotterung und der Diluvialchronologie." Jahrb. Preusz. Geol. Landesanstalt.
- 1933 Faber, F.J. "Geologie van Nederland."
- 1935 Zeuner, F.E. "Pleistocene Chronology of central Europa." The Geological Magazine. Vol. LXXII p. 350.
- 1936 Oosting, W.A.J. "Bodemkunde en bodemkartering, in hoofdzak van Wageningen en omgeving."
- 1938 Cailleux, André "Cailloux eoliens et solifluction en France et en Europe septentrionale." Soc. Geol. de France. Bull. ser. 5, Vol. 8 p. 719.
- 1941 Edelman, C.H. "Periglaciale verschijnselen in Nederland." Natura 40e jaargang, no. 1, p. 3.
- 1942 Ligterink, G.H. "Periglaciale verschijnselen in Westerwolde; en een windkanterlaag in de Sellingerbeetse." Tijdschr. Ned. Aardrijksk. Gen. LIX p. 24.
- 1947 Flint, R.F. "Glacial Geology and the Pleistocene Epoch."
- 1948 Escher, G.B. "Grondslagen der alg. Geologie."
- 1949 Vink, A.P.A. "Bijdrage tot de kennis van Loess en Dekzanden."
- 1949 v.d. Vlerk en Florschütz "Nederland in het IJstijdvak."
- 1950 Büdel, J. "Die Klimophasen der Würmeiszeit," Die Naturwissenschaften Jg. 37, S. 438.
- 1954 Woldstedt, P. "Das Eiszeitalter." Bd. I.
- 1954 Patterson, R.M. "Dodemansvallei," pocketboek, een Nederlandse vertaling van "The dangerous river."
- 1955 Marechal et Maarleveld "L'extension des phénomènes periglaciaires en Belgique et aux Pays-Bas" Med. Geol. Stichting, Nr. Serie nr. 8. p. 77.
- 1956 Hofland, L.H. "Botskegels en hun verwanten." Grondboor en Hamer, o.a. no. 4, 1956.
- 1959 Hofland, L.H. "Groeve Rijsbergen." Grondboor en Hamer, no. 12, 1959.
- 1961 Hofland, L.H. "Een bundel profielen," bestaat slechts in vier exemplaren; deze bevinden zich: 1. Geologische Stichting, Haarlem. 2. Geol. Instituut, R.U., Utrecht. 3. Geogr. Instituut, R.U., Utrecht. 4. In bezit van schrijver, Groenekan, Nieuwe Weteringsweg 51.
- 1961 Teunissen, D. "Het middennederlandse heuvelgebied."
- 1962 Hofland, L.H. "Glaciale stuwing." Grondboor en Hamer, o.a. No. 4. 1962.