

WINDKEIEN MET TAFFONIS IN NEDERLAND EN AANGRENZEND WEST-DUITSLAND

A.P. Schuddebeurs*

WAT ZIJN WINDKEIEN?

Windkeien zijn stenen of blokken met één of meer gladde vlakken die veelal onder een stompe, maar soms ook wel onder een scherpe hoek met elkaar staan. De vlakken worden begrensd door scherpe, rechthoekige of gegolfde ribben. Met aan het Duits ontleende namen, germanismen dus, werden het wel windkanters, driekanters enz. genoemd. Maar terecht wees FABER (1926) er reeds op dat wij beter kunnen spreken van windkeien, drieribbers, enz. (fig. 1).

FABER (1942) maakte verder onderscheid tussen 'windvlakkers' waaronder hij zwerfstenen verstond met duidelijke door zandstormen gecorradeerde vlakken en 'windlakstenen' die al-

leen een eigenaardige vetglans vertonen welke men windlak of woestijnlak noemt. Dat het de met zand beladen wind is, die het oppervlak van stenen etst, polijst en deze windlak veroorzaakt, werd het eerst beschreven door BLAKE (1855) in Californië. Dat er op die manier ook grote platte vlakken gecorradeerd worden beschreef TRAVERS (1870) het eerst en wel uit de omgeving van Wellington op Nieuw-Zeeland. Ook in Zweden werden ze al vroeg herkend, bijv. door ANDERSON (1895), DE GEER (1881) en NATHORST (1887). In Nederland was van CALKER (1890) de eerste en na hem werden ze beschreven door van BAREN (1927), FABER (1926, 1936, 1942), HOFLAND (1949, 1950, 1964), LIGTERINK (1942), VAN DER LIJN (1935), LORIÉ (1911), KUENEN (1928) en SCHAFTENAAR (1976).



Fig. 1: Zandsteen-windkei van Sellingerbeetse, 17 × 10 cm, vijfvlakker of 'Zehnkanter'. Verzameling schrijver.

* Dennenlaan 2, 9331 CK Norg

HET ONSTAAN VAN WINDKEIEN

Windkeien worden gevonden in vegetatieloze streken, hetzij aride of polaire woestijnen en zowel in recente als in vroegere. Waar de wind vrij spel heeft kan silt, zand en kunnen zelfs steentjes tot 8 mm grootte voortgeblazen worden en vrijliggende stenen en blokken raken (WIGGERS 1982). Zo ontstaat een zandstraal effect. Dit proces heet corrasie.

Verscheidene auteurs, zoals LORIÉ (1911) en FABER (1926) merkten op, dat zwerfstenen reeds platte zijden konden hebben, bijv. door splijting langs laagvlakken of cleavage dan wel als gevolg van grote temperatuurverschillen in korte tijd ('Kernsprunge'). Volgens hen zou corrasie weinig hebben bijgedragen tot de uiteindelijke vorm van windkeien, maar slechts gezorgd hebben voor de 'finishing touch'. Ook werd verondersteld, dat de wind meestal uit dezelfde richting komen moest en dan liefst loodrecht op hetzelfde vlak. Voor tweevlakkers moest dan wel worden aangenomen dat de wind bovendien dikwijls uit precies tegenovergestelde richting kwam. De laboratoriumexperimenten van KUENEN (1928) lieten van deze veronderstellingen niet veel over. Hij maakte stenen na van kalkpoeder en ook van gips met vormen als bakstenen, driehoekige prisma's, afgeknotte pyramiden, halve eieren enz. Deze modellen werden uit liefst 16 verschillende richtingen gezandstraald waardoor werd aangetoond, dat de eindvorm van de windkei wordt bepaald door de vorm van het grondvlak, terwijl windrichting er weinig of niets toe doet. Zo kunnen zowel zeszijdige prisma's als sterk afgeknotte vierzijdige pyramiden vervormd worden tot viervlakkers, die lijken op het dak van een Friese stelpboerderij. Daarbij blijft het zeker niet beperkt tot het polijsten van bestaande vlakken, maar kunnen er centimeters, volgens GEORGE (1976) zelfs decimeters vast gesteente weggeblazen worden.

CAILLEUX (1942) vond op IJsland veel windkeien *in statu nascendi* bij elkaar, die in hoofdzaak door NO-wind aangeblazen werden en vanuit die richting meer gecorradeerd waren dan aan de lezijde.

HET VOORKOMEN VAN WINDKEIEN

Het voorkomen van windkeien in Nederland en België is nagegaan door MARÉCHAL en MAARLEVELD (1955). Op een kaart gaven zij de Pleistocene zandgronden ten Noorden van de Rijn en grote delen van Noord-Brabant en Limburg aan als gebieden waar stenen met windlak gevonden zijn. In ongeveer de helft van deze oppervlakten zijn bovendien duidelijke windkeien

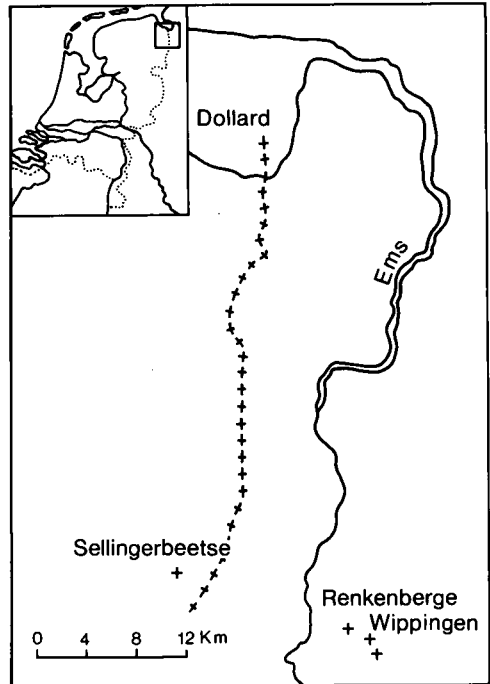


Fig. 2: Lokaties van zandzuigerijen waar minder of meer windkeien voorkomen. Tekening J.C. Hulst, Amersfoort.

gevonden, de meeste in een strook tussen Heerde, Nunspeet en Putten (Woldberg).

Windkeien komen alleen plaatselijk algemeen voor en zelden geïsoleerd. Zo zijn er in Drenthe maar weinig gevonden. Bij Odoorn moeten ze vroeger tamelijk algemeen geweest zijn (pers. meded. DR. P. KOOI, Biologisch-archeologisch Instituut te Groningen). Een aantal bijzonder fraaie exemplaren uit de verzameling van VAN DER KLEIJ die hij afstond aan het Drents Museum te Assen, zijn niet in Drente verzameld maar in de Loenermark. In 1976 vond schrijver in een nieuw gegraven sloot aan de Drentse Punt bij Eelde een keienvloer; een verschijnsel waar bij alle keien een aaneengesloten niveau vormen. Op deze plaats hebben alleen de blokken die hoger zijn dan ± 30 cm windvlakken en ribben. In 1984 werd in het noordelijke Peesterveld onder de bodem van een sloot eveneens zo'n keienvloer gevonden, maar hier vertonen veel keien windslijping ongeacht hun formaat. De ontsluitingen te Sellingerbeetse leveren 44 jaar na hun ontdekking door LIGTERINK (1942) nog steeds windkeien op uit het keizand boven het keileem. Even over de grens, met name in Emsland, zijn bij Wipplingen twee zandzuigerijen waarvan de noordelijkste nauwelijks windkeien oplevert terwijl ze algemeen zijn in de iets zuidelijker gele-

gen groeve. Daar vlakbij, in Renkenberge, vertoont zeker de helft van de opgezogen noordelijke zwerfstenen windslijping. In deze drie groeven ligt het niveau waaruit de keien komen onder de waterspiegel. Zie kaartje, fig. 2.

WANNEER WERDEN IN NEDERLAND WINDKEIEN GEVORMD?

Volgens MARÉCHAL en MAARLEVELD (1955) zijn de meeste windkeien gevormd gedurende het Weichselien en dan vooral in de Jonge Dryastijd.

ESCHER nam aan, dat in die periode vooral 's zomers zand voortgeblazen zou zijn omdat het dan niet bevroren was. Maar in de zomer kan de vegetatie in een toendra een vrij goed gesloten dek vormen zodat de wind weinig vat heeft op bodemdeeltjes. 's Winters daarentegen zien we ook tegenwoordig bij aanhoudende vorst dat de bodem oppervlakkig droogvriest. Een sneeuwdek van enkele cm's dikte kan dan binnen een paar dagen verdampt zijn en boven braakliggende, hardbevroren akkers vormen zich dan zanden stofstormen.

In aride woestijnen komen niet veel windkeien voor. Dit werd bevestigd door Prof. VAN STRAATEN (pers. meded), die bovendien konsta-

teerde dat windkeien in de Sahara, zover aanwezig, op een harde ondergrond van vaste rots lagen. Het zou dus weleens kunnen zijn, dat de hardbevroren bodem tijdens het Pleniglaciaal en het Laatglaciaal in Nederland evenzeer een voorwaarde was voor het ontstaan van windkeien. Zie ook WIGGERS (1982).

Toen gedurende het zeer koude en droge Pleniglaciaal de Oude Dekzanden door de wind werden afgezet moeten regelmatig zand- en stofstormen zijn voorgekomen. Veel van dit eolisch verplaatste materiaal werd onttrokken aan de aldus verwerende Saalien-grondmorene. Als gevolg daarvan is de stenenconcentratie in het z.g. keizand bovenaan vrijwel overal groter dan in het onderliggende keileem waarop de wind nog geen vat had. Gedurende dit uitblazingsproces verwaaide het fijnere materiaal tot op grote diepte en langzaam aan zakten de keien af naar een steeds lager niveau. Hun bovenkant zal dan niet altijd boven gebleven zijn: ze kantelden om en konden toen alzijdig geslepen worden. Tegelijkertijd kwam op grote schaal kryoturbatie voor, waarbij de diepbevroren maar 's zomers ontdooide bodem tot op 1 à 2 m diepte werd doorkneed en omgewenteld, met inbegrip van de daarop en daarin liggende keien. Ook dit proces heeft alzijdige windslijping bevorderd. (fig. 3).



Fig. 3: Tijdens het Weichselien kryoturbaat geknede en omgewentelde lagen in een bouwput te Assen.

WINDKEIEN MET NAPVORMIGE UITHOLLINGEN

KUENEN (1928) onderscheidde, afhankelijk van de petrografische samenstelling, zeer gladde, puttige, pokdalige en wrattige windkeien. Als voorbeeld noemde hij een Revinienkwartsiet van de Veluwe waarvan de kubische pyrietkristallen gemakkelijk uitcorraderen en dan ondiepe schotelvormige putjes nalaten. Van de granieten worden de veldspaten en de mafische componenten het sterkst aangetast en puilen de kwartsen uit de pokdalige windkeien. Fossiele levenssporen bieden, afhankelijk van hun weerstand, soms goede aangrijppingspunten voor corrasie, maar soms blijkt het tegendeel het geval te zijn en puilen ze uit (fig. 13).

Bij Rode en Paarse Dala-zandstenen komen variëteiten voor met ronde, resp. onregelmatig gevormde gele vlekken. Binnen die vlekken is de verkitting aangetast door reductie en is er ijzer en/of mangaan aan het gesteente onttrokken. Hier kunnen door corrasie gemakkelijk putten ontstaan van één cm en meer (fig. 4, 5 en 6).

CAILLEUX (1942) merkte op dat de gezandstraalde oppervlakten van windkeien dikwijls veel kleine ondiepte holten dicht bij elkaar, vertonen. Hij noemde dat cupules, d.w.z. napjes, als van eikels of noten. CAILLEUX nam ze waar in Frankrijk, Denemarken, Noorwegen en

IJsland in de meest uiteenlopende gesteenten. Sommige keien hebben er minder, of niet in alle vlakken, terwijl het oppervlak van andere keien ermee bezaaid lijkt. Zulke holten komen alleen in windkeien voor, maar niet in alle en zeker niet in hun grondvlak. Volgens CAILLEUX (1942) variëren de afmetingen tussen 1 à 2 en 30 mm. De vorm is ovaal en de maximale diepte ligt tussen 1/3 en 1/10 van de grootste afmeting. Kleine napjes vallen nauwelijks op tenzij gezien onder schuin invallend licht. Vorstbreuken, waarmee ze verward zouden kunnen worden, verlopen rechtlijniger. De napjes onderscheiden zich daarvan door hun subcirculaire tot ovale vorm. Soms lijkt het wel alsof de windnapjes met een burijn of een guts door een beeldhouwer werden uitgestoken.

Hoewel veel Nederlandse auteurs over windkeien hebben geschreven heeft vermoedelijk alleen HOFLAND napjes erin onderkend. HOFLAND (1964) noemde het werk van CAILLEUX (1942) niet en gebruikte evenmin de term napje of cupule, maar hij beschreef wel:

'een stuk blazige lava, waarvan de blaasjes voor zover aan het oppervlak gelegen alle door de slijping zijn verlengd in één richting en zo tot evenwijdige strepen zijn geworden'.

CAILLEUX (1942) beschreef zo'n verloop duidelijk. Een voorbeeld daarvan vond ik in het museum Natura Docet te Denekamp, nl. een al-



Fig. 4: Rode Dala-zandsteen van Sellingerbeetse waarvan de ronde, gele vlekken corrasief zijn uitgehold; 10×7 cm. Verz. Drs. M.W. ter Wee, Oosterwolde.



Fig. 5: Geheel als 4, nu met nog dieper en in elkaar overgaande uithollingen.

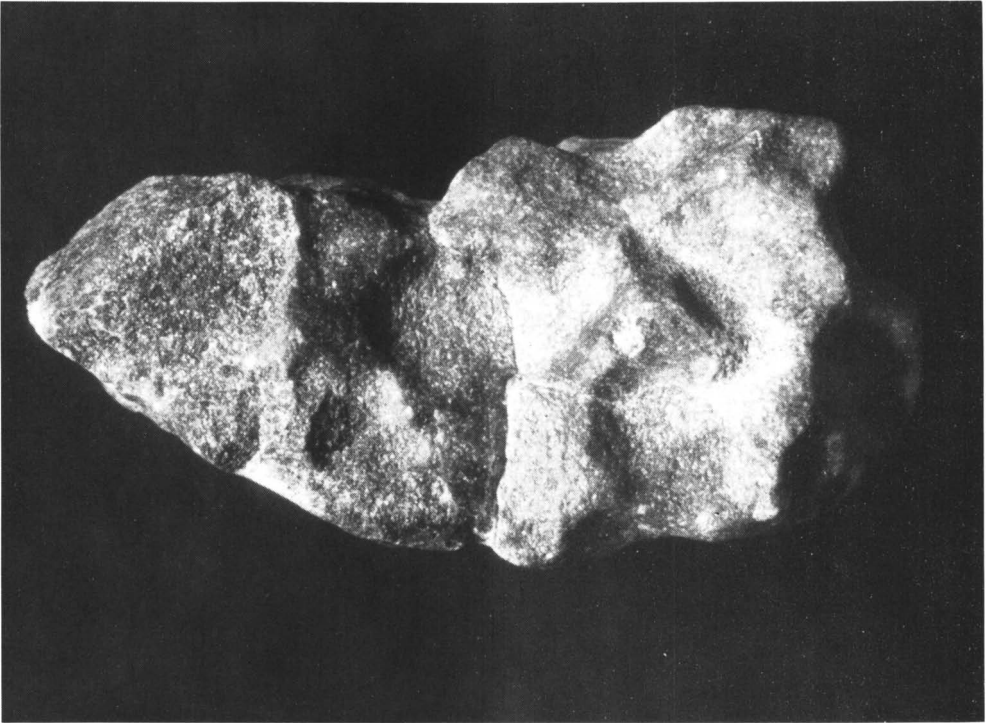


Fig. 6: Paars-gele Dala-zandsteen van Sellingerbeetse; 10×5 cm. Het paarse 'net' bleef vrij goed intact maar de gele 'mazen' verdwenen. Ook een oude scheur is diep uitgeblazen. Verz. schr.

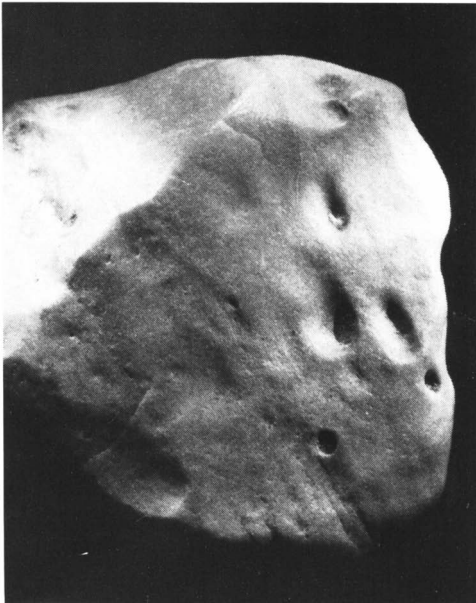


Fig. 7: Kwartsietische zandsteen van Sellingerbeetse, 11×15 cm, met napjes, meest evenwijdig aan elkaar. Verz. Nat.-hist. Museum, Enschede.

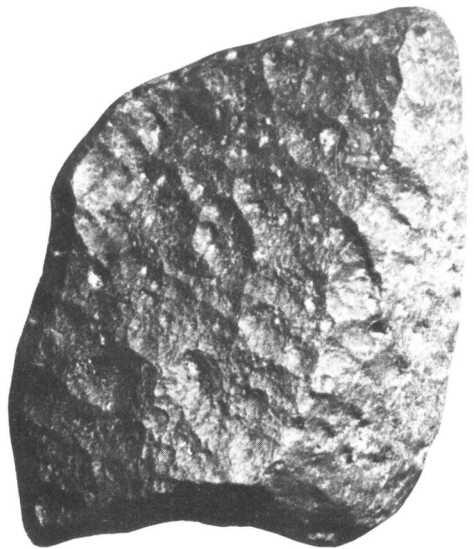


Fig. 8: Kwartsiet windkei van Hinderdam bij Nederhorst den Berg, 5×7 cm, dicht bezet met napjes en glanzende windlak. Verz. Nat.-hist. Museum, Enschede.



Fig. 9: Cementkwartsiet-windkei van de Veluwe, 14×6 cm, met rondom napjes behalve op beide windvlakken. Verz. Gemeente museum Elburg.

zijdig geslepen windkei van Rode Dala-zandsteen met in één vlak 6 langwerpige, kleine, parallel verlopende napjes, die alle aan de dezelfde kant flauw afhellen en aan hun overstaande einden steil oplopen. Ze zijn nauwelijke een centimeter lang en enkele millimeters breed en diep. In het Natuurhistorisch museum te Enschede werd een overeenkomstige windkei aangetroffen (fig. 7). Bovendien bleken daar meer dan 100 windkeien te zijn, waarbij er 16 zijn met duidelijke kleine napjes (fig. 8). Veel van deze zwerfstenen zijn verzameld door wijlen L.H. HOFLAND. Ze vertonen vaak heel mooie windlak. Sommige zijn alzijdig gezandstraald, terwijl andere een dof basisvlak hebben.

In het Gemeente Museum te Elburg werd een cementkwartsiet aangetroffen met twee kleine windvlakken, terwijl de rest van de zwerfsteen rondom met napjes is bezet (fig. 9).

WINDKEIEN MET UITHOLLINGEN AAN ALLE ZIJDEN EN VOORAL IN HET NIET GECORRADEERDE BASISVLAK

In 1985 en 1986 werden te Sellingerbeetse, verder tussen Peest en Zeijen (Drente) en bij Renkenberge (zie kaartje, fig. 2) windkeien gevon-

den met grotere en diepere putten erin dan de napjes van CAILLEUX (1942).

Deze holten kunnen zeker niet verklaard worden door verschillen in petrografische gesteldheid, zoals hierboven werd opgemerkt met betrekking tot de Dalazandstenen. Er zijn siltstenen bij, maar ook grovere zandstenen met gelijkmatige korreling, zeer dichte kwartsieten en fijnkorrelige granieten. Er zijn twee- en meer-vlakkers bij en sommige hebben wel, andere geen uithollingen in de windvlakken. De niet gecorradeerde en doffe basisvlakken zijn geheel bezet met holten van 10 tot 36 mm diameter, rondachtig tot ovaal en 3 à 12 mm diep. Tussen Peest en Zeijen werd tussen andere windkeien een tamelijk grofkorrelige zandsteen-windkei gevonden met holten aan alle zijden van maximaal 60 mm lengte en tot 34 mm diepte. Door het verdwijnen van gesteente tussen twee of meer putten in ontstonden zelfs diepe sleuven tot 140 mm lengte.

In 1979 woonde schrijver in Schleswig een lezing bij over Antarctica die werd gegeven door Dr. H. HÖFLE van het Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung te Hannover. Höfle toonde daar windkeien met putten en geheel doorlopende gaten erin (fig. 11 en 12) uit de Wright Valley, Victorialand, Antarctica, die eni-

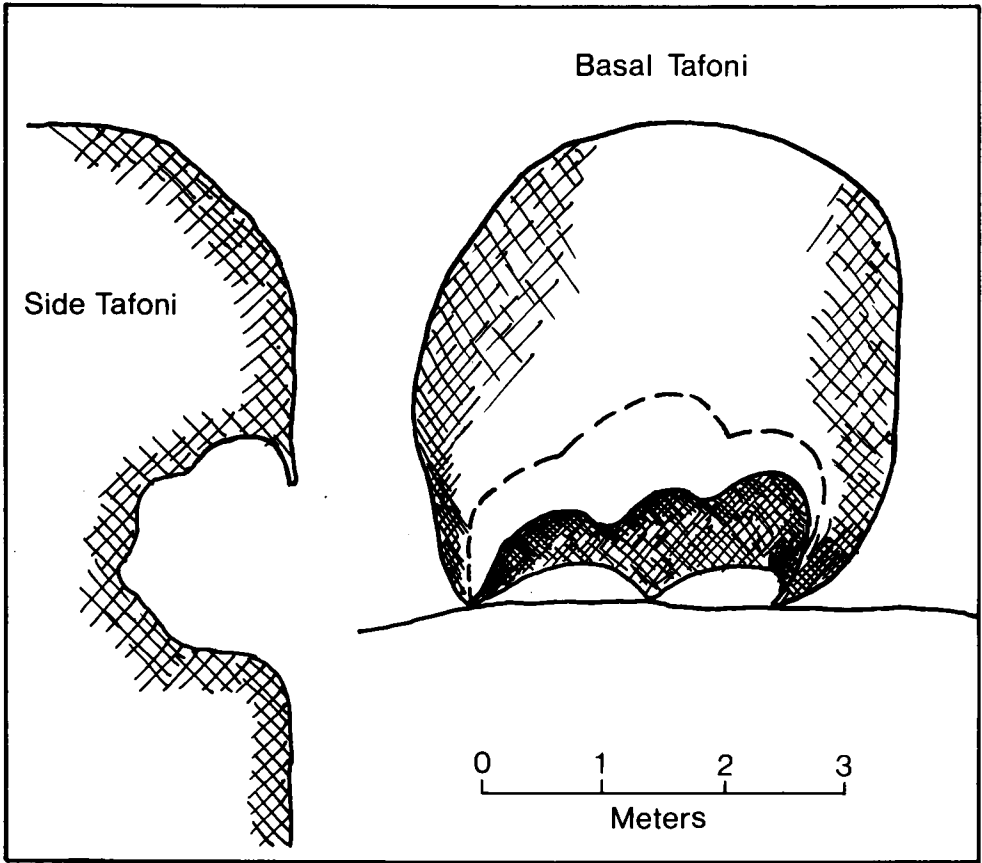


Fig. 10: Basale en zijdelingse taffonis, geschetst naar FAIRBRIDGE (1968).



Fig. 11: Bovenaanzicht van kwartsiet-windkei van de Mount Fleming, Wright Valley, Antarctica, geheel bezet met taffonis, twee doorlopende gaten en glanzende windlak (16 x 19 cm). Verz. Dr. H. Höfle, Hannover.

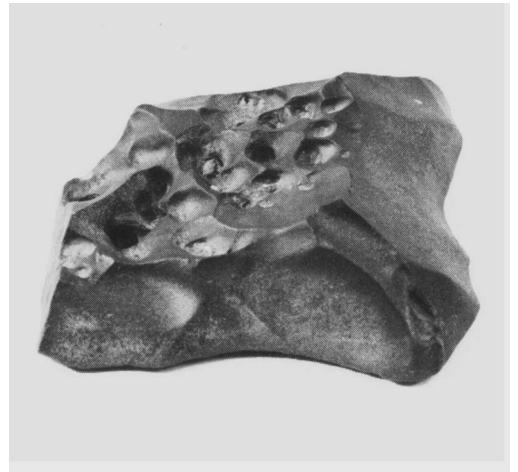


Fig. 12: Zijaanzicht van dezelfde windkei als fig. 11. Hoogte 3,8 cm.



Fig. 13: Kwartsiet-windkei van Vierhouten, 7×11 cm, met twee taffonis van 2 cm. diam. en 1,2 cm. diepte naast veel kleinere. Verz. Nat.-hist. Museum, Enschede.

ge overeenkomst vertonen met de hier beschreven en afgebeelde windkeien.

Gedurende de 52e Tagung der Norddeutsche Geologen in 1985 te Kiel toonde Prof. K. DUPHORN van de Universiteit te Kiel en leider van de Duitse Antarctica Expeditie 1980-1981 dia's van nog meer en nog imposanter voorbeelden van zulke holten in vaste rotsen, blokken en keien. Mijn eerste kennismaking met deze zogenaamde taffonis heb ik dus te danken aan de heren Höfle en Duphorn.

De windkeien met putten uit Nederland en de aangrenzende B.R.D. verschillen in principe niet van die in de Wright Valley. Dit is ook de mening van Prof. Duphorn die zo vriendelijk was er een te onderzoeken. Gradueel verschillen ze echter wel, want van onze windkeien zijn de holten kleiner, minder diep en ontbreken doorlopende gaten of tunnels.

TAFFONIS: OOK IN NEDERLAND!

Op Corsica komen op grote schaal caverneuze verweringsvormen voor die in het Italiaans tafone, meervoud tafoni genoemd worden. In het Frans heten ze taffoni(s) en deze naam werd door PENCK (1894) ingevoerd als geomorfologisch begrip. Het zijn holle verweringsvormen, die plaatselijk algemeen voorkomen in middel- en grofkorrelige plutonieten, maar ook in zandsteen, kalksteen en in gneis. Deze holten

kunnen een centimeter breed zijn maar ook enkele meters, terwijl hun diepte varieert tussen een centimeter en meer dan een meter. Ze komen voor in steile rotswanden en in de zijanten van losse blokken en zwerfkeien, maar vooral aan de onderkant daarvan (zijdelingse en basale taffonis, fig. 10). Soms worden ze blootgesteld aan wind uit alle richtingen, maar elders vindt men ze vooral aan de lijzijde van de heersende wind en ook op beschaduwde plaatsen. Dit is bijvoorbeeld heel duidelijk het geval op Aruba. Van dit eiland zijn ze beschreven door WAGENAAR HUMMELINCK, maar hij noemde de term taffonis niet. Ook de bekende paddestoelrotsen — grote rotsblokken op een dun voetstuk — kunnen als taffoni zijn ontstaan.

Taffonis komen niet voor in zeer droge woestijnen maar des te meer in semi-aride, gematigd droge streken zoals in het Z.W. van de Verenigde Staten en in de Peruaanse en Argentijnse woestijnen. Ook waar min of meer aride gebieden aan zee grenzen zoals in Namibië, de Canarische eilanden, Corsica, Elba en Aruba. Blootgesteld aan de sterke zeewind met dauwvorming in de nachten, ontstaan daar op geschikte plaatsen vochtige micro-klimaten. Dit milieu schijnt een voorwaarde te zijn voor de vorming van taffonis. In de polaire woestijnen van Azië en Antarctica komen ze ook voor, maar daar zijn ze kleiner. Volgens FAIRBRIDGE (1968) zijn voor taffonivorming evenmin extreme temperatuurvariaties nodig als windcorrasië,

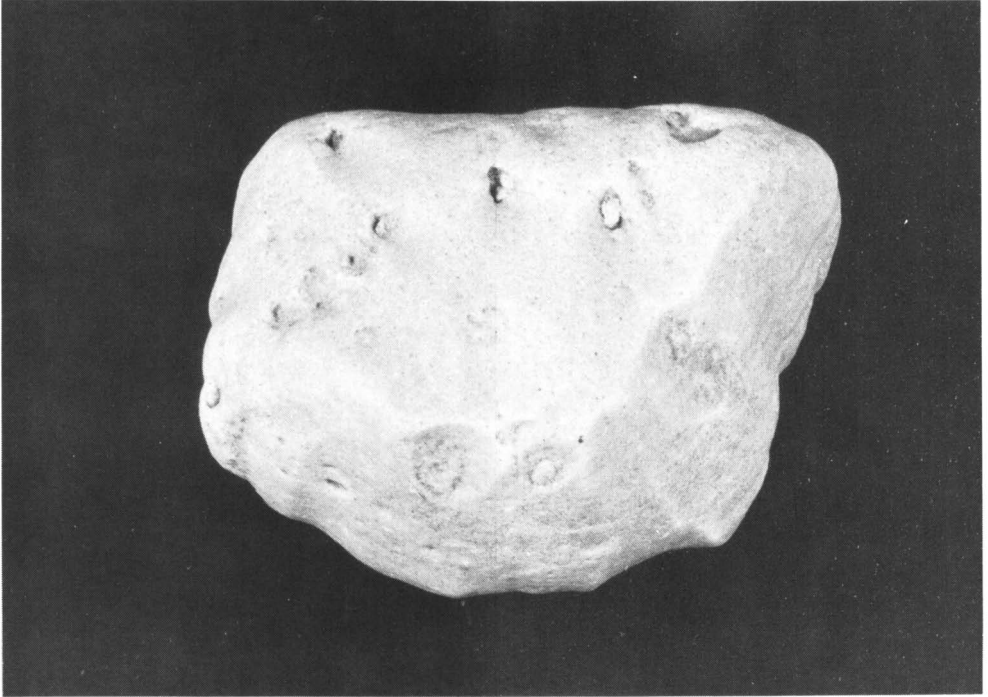
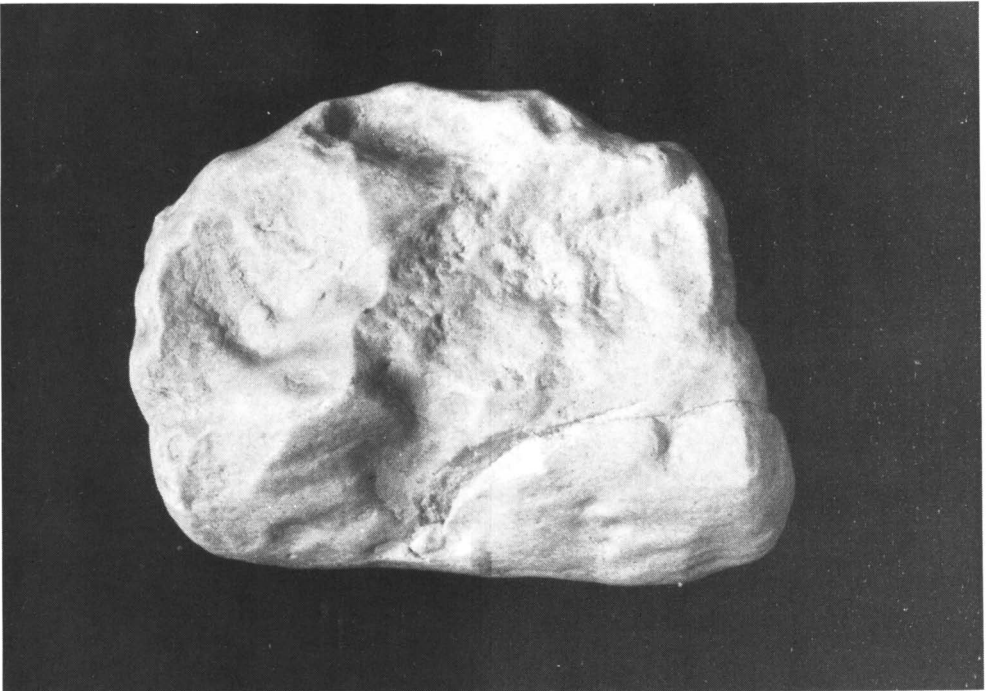


Fig. 14: Zandsteen van Renkenberge $12 \times 8 \times 7$ cm, met levenssporen van *Monocraton tentaculatum*. Trechters en buizen diep uitgeblazen. Verz. schr.

Fig. 15: Basisvlak van dezelfde zwerfsteen als fig. 14 met taffonis van $6 \times 3 \times 0,5$, resp. $4,5 \times 4 \times 1,2$ cm.



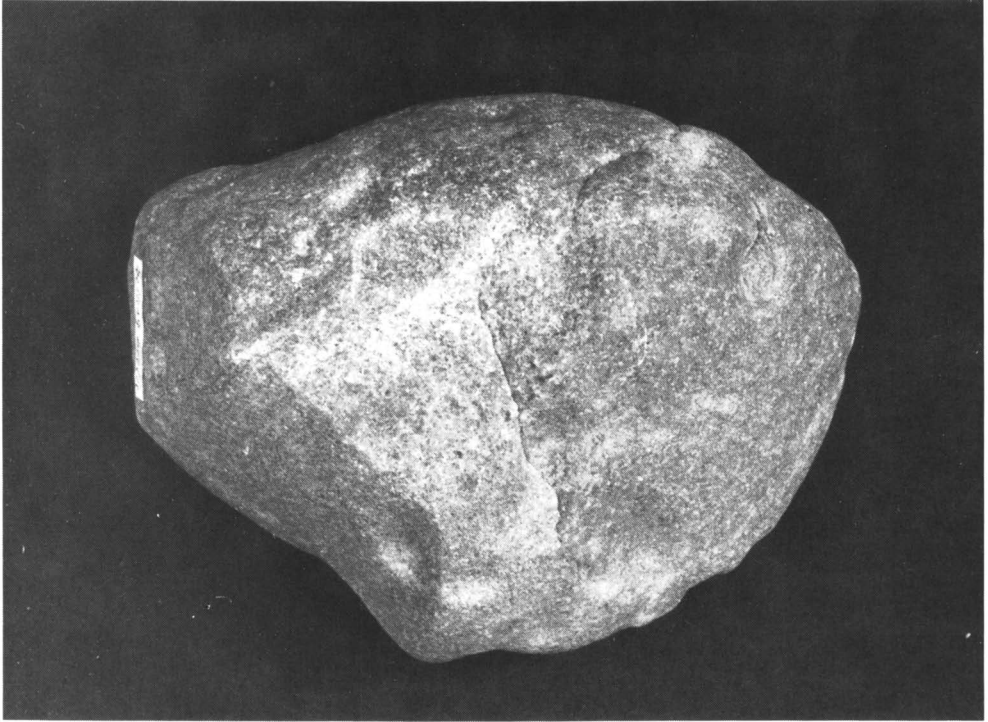


Fig. 16: Zandsteen windkei van Sellingerbeetse, 15×12 cm, drieribber, met enkele taffonis tot maximaal 8 mm diep. Verz. schr.

Fig. 17: Basisvlak van dezelfde zwerfsteen als fig. 16, dicht bezet met taffonis, de grootste is $6,5 \times 3,5 \times 1$ cm.



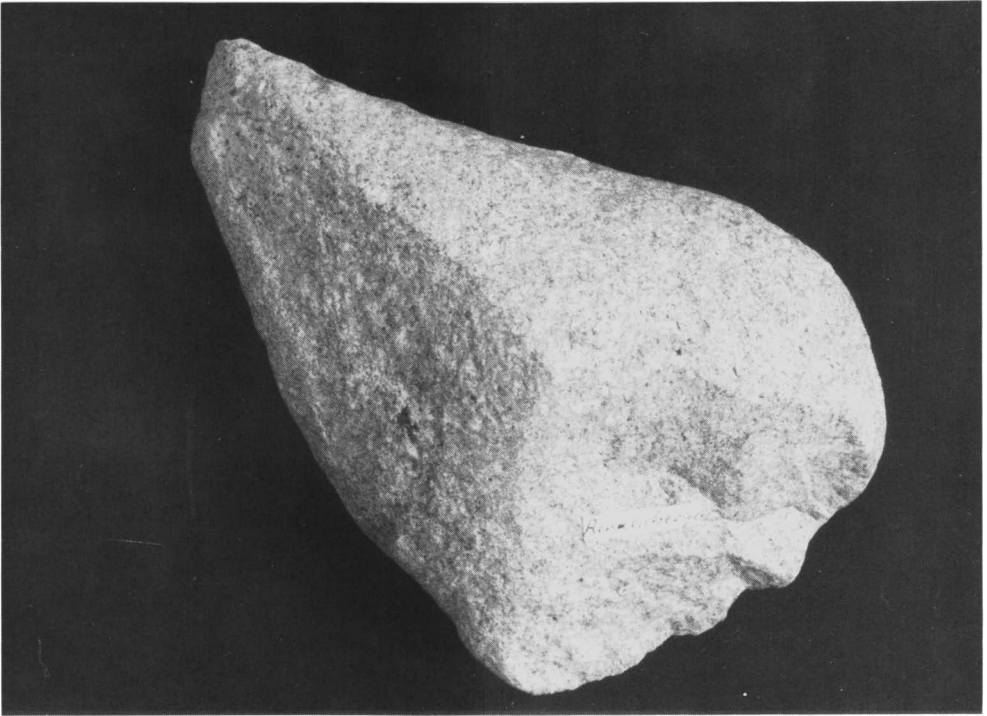
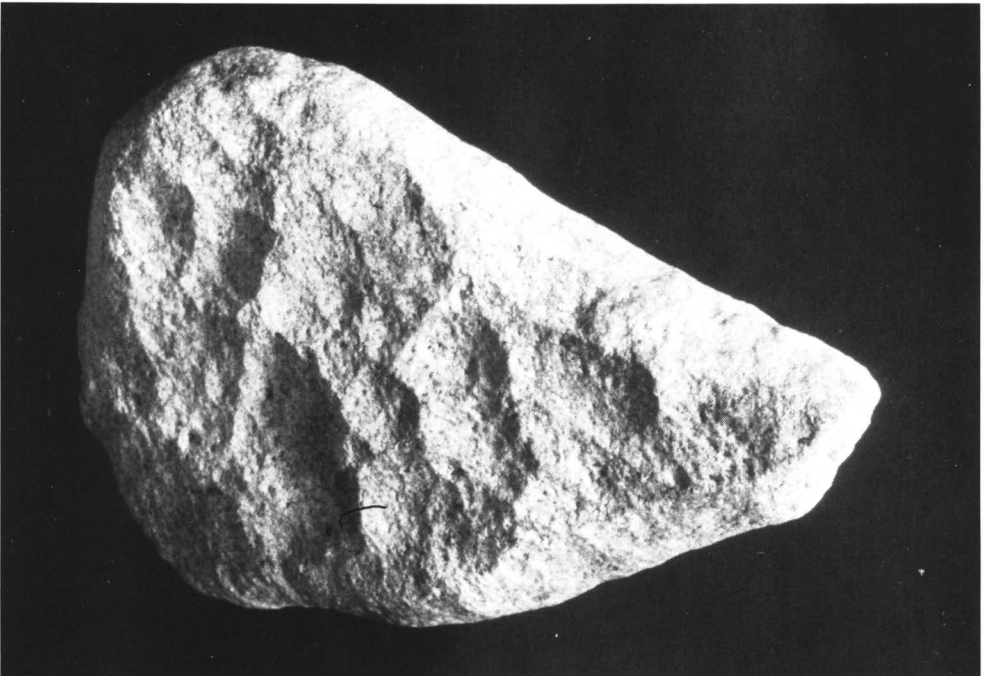


Fig. 18: Graniet windkei van Renkenberge, 19×13 cm, met twee windvlakken en een niet-natuurlijk breukvlak.
Verz. schr.

Fig. 19: Basisvlak van dezelfde windkei als fig. 18, geheel bezet met taffonis.



hoewel de wind zeker bijgedragen zal hebben tot het vervormen van losse blokken en keien. Algemeen wordt verondersteld, dat het om fysische processen gaat. Gedurende temperatuurwisselingen zetten gesteenten uit en krimpen daarna weer in. Daarbij zou wat water kunnen binnendringen en de oppervlakkige samenhang van het gesteente aangetast kunnen worden. Chemische verweering, zoals kaolinisatie van veldspaat en ijzerverlies uit biotiet, kan daarbij een handje helpen omdat dan in poriën toegangswegen voor water geopend worden.

In het standaardwerk van CAILLEUX (1942) komt het woord taffoni merkwaardigerwijze niet voor, maar niemand beschreef ze beter dan hijzelf in CALKIN en CAILLEUX (1962) van de Wright Valley, Antarctica. DUPHORN (1981) noemt ze eveneens van die plaats. De Wright Valley is een droge, ijsvrije vallei op 400-500 m hoogte, omzoomd door bergen, in het kustgebied van Zuid-Victorialand. Een tong van de Wilson Piedmont Glacier nadert de vallei en tegen de bergen liggen hellinggletschers. Vroeger was de vallei gevuld met het ijs van de Lower Victoria Glacier, die niet alleen een aanzienlijk

pakket grondmorene achterliet maar ook vier stuwmorenen, steeds op enkele kilometers afstand van elkaar. De gletschers leveren geen smeltwater. Ze worden alleen kleiner door verdamping. In de Poolzomer stijgt de temperatuur er af en toe even boven 0° C., maar in augustus daalt die tot - 30° C. Per jaar valt er slechts 7 à 10 cm neerslag alleen als sneeuw. Het waait er veel en hard en als gemiddelde windsnelheid per jaar wordt in die omgeving 26 km per uur opgegeven. Ter vergelijking: in de Bilt is dat nauwelijks 11 km per uur! De stralingswarmte van de in de zomer continu schijnende zon is voldoende om de oppervlaktetemperatuur van stenen en blokken te doen oplopen tot 30° C.

HÖFLE (pers. meded.) meent, dat de taffonis van Antarctica ontstaan door 'Frostwechsel', d.w.z. afwisselend bevrozen en ontdooien. De zon kan de sneeuw op de keien snel doen smelten, maar zodra ze achter de bergen verdwijnt of slagschaduw van grote blokken over kleinere keien vallen, befrist het smeltwater. De buitenste gesteentekorst wordt hierdoor aangetast en een zeer geringe hoeveelheid gesteentemateriaal verpulvert. Het ijs verdampt vervolgens door

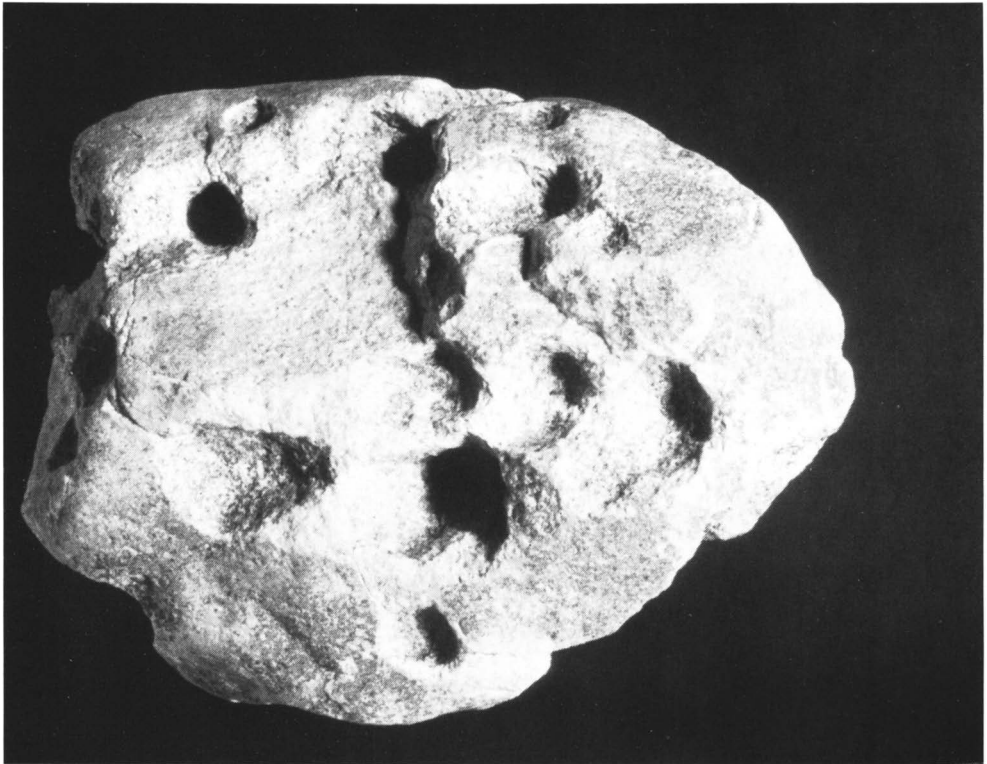


Fig. 20: Zandsteen-windkei van het Peesterveld (gem. Norg), 22 × 17 × 15 cm, rondom taffonis van maximaal 14 cm. lang en 3,4 diep. Verz. schr.

droogvriezen en het stof waait weg waarna het proces zich kan herhalen. Heel geleidelijk wordt de uitholling dieper, het vochtige oppervlak wordt groter en de vorsterosie kan allengs dieper aangrijpen. Höfle (pers. meded.) en FAIRBRIDGE (1968) menen, dat corrasie hierbij slechts een ondergeschikte rol speelt. CLOOS (1957) neemt aan dat in de putten rondwervelend zand de gaten wel degelijk vergroot en verdiept, maar juist bij basale taffonis zal dit nauwelijks van invloed kunnen zijn. Zoals bij alle geologische processen speelt ook hier de tijd een grote rol. Dat werd aangetoond door CALKIN en CAILLEUX (1962). Zij telden van alle vier de stuwmorenen in de Wright Valley een aantal blokken, groter dan $1,2 \times 0,6$ m, verder per blok het aantal gaten en de diepte daarvan. Van de oudste morene bezat 86% van de blokken taffonis; van de jongste slechts 12%. In de blokken op de oudste morene was 62% van alle gaten dieper dan 20 cm terwijl geen enkele uitholling op de jongste morene die diepte bereikte. Qua aantallen gaten en hun diepte in de blokken vormen de twee tussengelegen stuwmorenen een duidelijke overgang.

Zoals gezegd zijn de taffonis in de Nederlandse zwerfstenen kleiner dan die in de Wright Valley. Dat wil echter niet zeggen, dat het vormingsproces hier korter geduurd zou hebben. We weten immers niets van de intensiteit van de processen hier en ginds.

De windkeien in Noordwest Europa werden allang beschouwd als indicatoren voor een toendra- of zelfs een poolklimaat. De taffonis erin bevestigen dat eens te meer. Hoewel er een

zeer uitgebreide literatuur over windkeien in Noord Europa bestaat zijn de taffonis erin, voor zover schrijver bekend, niet eerder opgemerkt. Hieruit blijkt wel dat ook na het 40-jarig bestaan van de Nederlandse Geologische Vereniging de studie van zwerfstenen nog iets nieuws kan opleveren.

DANKBETUIGING

Bij het onderzoek van windkeien en taffonis werd mij door velen hulp verleend. Geologisch advies gaven de heren Prof. Dr. K. Duphorn te Kiel, Drs. G. Gonggrijp te Leersum, Dr. H. Höfle te Hannover, Prof. Dr. L.M.J.U. van Straaten te Groningen en Drs. M.W. ter Wee te Oosterwolde. De onontbeerlijke steun bij het veldwerk door de heren H. Jager te Wollega en J.A. de Jong te Drachten was kameraadschappelijk als steeds. De conservatoren van de geologische collecties in de musea te Assen, Denekamp, Elburg en Enschede stonden mij toe de daar aanwezige windkeien te bezien.

De foto's 1, 4, 5, 6, 9, 14, 15, 16, 17, 18, 19 en 20 maakte de heer G. Oosterveen, Fotodienst van de Provincie Drenthe; foto 3 is van de heer H. Jager te Wollega; foto's 7, 8 en 13 van de heer F. van Stuivenberg te Enschede en de foto's 11 en 12 van de heer Dr. H. Höfle te Hannover. De heer J.G.J. Donders te Groningen verzorgde de tekeningen en mevrouw K. van Schalkwijk-von Henning het typewerk. Hen allen zeer hartelijk dank!

ZUSAMMENFASSUNG

Zu Sellingerbeetse und bei Peest in den nördlichen Niederlanden und bei Renkenberge in der BRD sind Windkanter in bedeutenden Mengen gefunden worden. Einige davon zeigen kavernöse Hohlräume nicht nur in den Windflächen, sondern auch oder sogar fast ausschließlich in den Basisflächen, die keinen Windschliff haben. Diese Hohlräume sind größer und tiefer als die von Cailleux (1942) beschriebenen 'cupules' oder Napfchen, und müssen als Taffonis betrachtet werden. Ebenso wie die gewöhnlichen Windkanter von NW Europa sind sie Anzeichen dafür, daß in der Weichseiszeit ein polares bzw. Tundraklima herrschte.

LITERATUUR

- ANDERSON, J.G., 1895: Mellan haf och dyger (Gotska Sandön). Svenska Turist föreningens Asskrift 10, Stockholm.
- BAREN, J. VAN, 1927: De bodem van Nederland. 3 dln., 1-1365, Amsterdam.
- BLAKE, W.P., 1855: On the grooving and polishing of hard rocks and minerals bij sand. Amer. Journ. Science. Vol. 2, 20, 178-181, New Haven.
- CAILLEUX, A., 1942: Les Actions periglaciaires en Europe. Memoires de la Soc. géol. de France XXI, 1-176, Paris.
- CALKER, F.J.P. VAN, 1890: Üeber ein Vorkommen von Kantengeschoben in Holland. Zeitschr. der Deutsch. geol. Ges. XLII, p. 577, Bonn.
- CALKIN, P. and A. CAILLEUX, 1962: A quantitative study of cavernous weathering (taffonis) and its application to glacial chronology in Victoria Valley, Antarctica. Zeitschr. für Geomorphologie, N.F. 6, 317-324, Berlin.
- CLOOS, H., 1957: Gesprek met de aarde. Den Haag.
- DÜCKER, A., 1933: Die Windkanter des norddeutschen Diluviums in ihren Beziehungen zu periglazialen Erscheinungen und zum Decksand. Jahrb. Preuss. geol. Landesanstalt 54, 487-526, Berlin.
- DUPHORN, K., 1981: Süswasser und Salzwasser in der Antarktis, Zeitschr. Deutsch. geol. Gesellschaft 132, 647-658, Hannover.
- ENGEL, C.C. and R.P. SHARP, 1958: Chemical data on desert varnish. Bull. Geol. Soc. America 69, 487-518. Publications of the Division of the geosciences California inst. of Technol, Pasadena.
- ESCHER, B.G., geen jaartal: Grondslagen der algemene geologie. 10e druk, Amsterdam.
- FABER, F.J., 1926: Geologie van Nederland. Amsterdam.
- FABER, F.J., 1936: Nog eens windkeien. De levende natuur. Jan., 257-259, Amsterdam.
- FABER, F.J., 1942: Nederlandse landschappen. Gorinchem.
- FAIRBRIDGE, R.W., 1968: The encyclopedia of geomorphology. New York, Amsterdam and London.
- GEORGE, V., 1976: In den Wüsten dieser Erde. Hamburg.
- GEER, G. DE, 1881: Förevisade nagra af honom i Tyskland insomlade s.k. 'Kantengesteine oder Pyramidalgeschiebe.' etc. Geol. Fören. Stockholms Förhandl., 5, p. 326, Stockholm.
- HOFLAND, L.H., 1949: Een belangrijke horizont. Publ. VII Ned. Geol. Ver., 198-200, Hilversum.
- HOFLAND, L.H., 1950: Windkei-gepeinen. Publ. IX. Ned. Geol. Ver., 131-139, Hilversum.
- HOFLAND, L.H., 1964: Windkeien en klimaat. Grondb. en Hamer 18, 96-109, Oldenzaal.
- KUENEN, PH.H., 1928: Experiments on the formation of windworn pebbles. Leidse geologische mededelingen, 17-38, Leiden.
- LIGTERINK, G.H., 1942: Periglaciale verschijnselen in Westerwolde. Een windkanterlaag in Sellingerbeetse. Tijdschr. Ned. Aardrijksk. Gen. 59, 24-35, Leiden.
- LORIE, J. 1911: Die Bildung der Dreikanter. Ber. niederrheinische Geolog. Ver., p. 19. Bonn.
- LIJN, P. VAN DER, 1935: Over windkeien. De levende natuur, Nov.-Dec., 139-145 en 170-177, Amsterdam.
- MAREHAL, R. et G.C. MAARLEVELD, 1955: L'extension des phénomènes periglaciaires en Belgique et aux Pays Bas. Meded. geol. Stichting, nieuwe serie 8, 77-86, Maastricht.
- MOOIJ, J., 1980: Een molerpaddestoel. Grondb. en Hamer 34, 110-113, Oldenzaal.
- NATHORST, A.G., 1887: Om de sandslipade stignarnes förekomst i de kambriska lagren vid Lugnas. Öfvers. Förhandl. K. Vetensk. Akad. 43, 185-192, Stockholm.
- PENCK, A., 1894: Morphologie der Erdoberfläche 1. Stuttgart.
- SCHAFTENAAR, H., 1976: Enkele gegevens over de datering en vindplaatsen van de windkeienlaag in het Gooi. Grondb. en Hamer 30, 123-128, Oldenzaal.
- TRAVERS, W.T.L., 1870: On the sand-worn stones of Evans Bay. Transscr. New Zealand Inst. 2, 247-248.
- WAGENAAR HUMMELINCK, P.: Over verweringsholten op Aruba. De West-Indische Gids, p.p. 364-369.
- WIGGERS, A.J. 1982: De geologische werking van de wind. In: VAN STRAATEN, L.M.J.U. (ed.) Algemene Geologie, 3e druk, p.p. 1-598, Groningen.