

**Inhoud:**

Paleomagnetisme: fossiele kompasjes wijzen de weg naar het verleden van de aarde . . . . .	37	Sturmaniet De vondst van een nieuw materiaal . . . . .	58
Malta en Gozo: Oligoceen en Mioceen op een mediterrane eilandengroep . . . . .	41	Organismen en hun milieu . . . . .	59
Chemische formules: hulpmiddel, geen toverspreuken IV . . . . .	50	Eenvoudige microscoop-ombouw: van 8,75 maal naar 20 maal lineair zonder problemen . . . . .	67
Gestreepte kristalvlakken . . . . .	54	Acetaat-peels maken fossielen beter determineerbaar . . . . .	68
"Pseudogaylussiet"-kristallen in Nederland . . . . .	57	Boekbesprekingen . . . . .	69

# Paleomagnetisme:

## fossiele kompasjes wijzen de weg naar het verleden van de aarde

door Prof. Dr. J.D.A. Zijdeveld en Dr. J. van den Berg\*

In de lengterichting van de Atlantische Oceaan lopen onder water gigantische bergruggen, die een belangrijke rol spelen bij het uiteendrijven van de continenten. De z.g. midoceanische rug kan een hoogte bereiken van meer dan 2.000 meter ten opzichte van de zeebodem en komt op enkele plaatsen boven het zeeniveau uit zoals bij IJsland. Het bijzondere van deze rug is, dat hij in de lengterichting gespleten is en dat voortdurend gesmolten magma uit het bovenste deel van de aardmantel, van onder de aardkorst, omhoog rijst. In de afgelopen 20 jaar heeft wetenschappelijk onderzoek de idee dat hierbij niet alleen de continenten drijven maar ook de gehele oceaانبodem in beweging is, steeds meer waarschijnlijk gemaakt. Vanuit de centrale scheur schuift de oceaانبodem uiteen en de lavastromen vullen de ontstane leemte op en vormen op deze manier de midoceanische bergruggen. Deze konklusies zijn voor een belangrijk deel te danken aan paleomagnetisch onderzoek. Dit is een tak van de geofysika, die de laatste 20 jaar tot grote ontwikkeling is gekomen en in deze korte tijd reeds grote invloed heeft gehad op de inzichten over de geschiedenis van de oceanen en de continenten.

### Fossiele kompasjes

Paleomagnetisch onderzoek houdt zich bezig met het bestuderen van de natuurlijke remanente magnetisaties van gesteenten. Remanente magnetisatie is dat deel van de magnetisatie, dat zonder aanwezigheid van een omgevend

veld in een materiaal aanwezig blijft. Dit magnetisme verkregen de gesteenten tijdens hun ontstaan in het geologische verleden onder invloed van het toenmalige aardmagneetveld. De dragers van dit magnetisme zijn de zeer geringe percentages ferrimagnetische mineralen zoals magnetiet en haematiet, die in vrijwel alle gesteenten voorkomen. In stollingsgesteenten worden deze mineralen voornamelijk gemagnetiseerd tijdens hun afkoeling, en wel in het bijzonder tijdens het temperatuurverloop tussen 675 en 500 graden Celsius. Bij deze hoge temperaturen is er voor het richten der magnetisaties weinig energie nodig en kan zelfs door het zwakke aardmagneetveld een redelijk sterke magnetisatie worden opgewekt. Bij verdere afkoeling tot "kamertemperatuur" wordt een verandering in de magnetisatie steeds moeilijker en wordt dus de magnetisatie gestabiliseerd. Bij deze lage temperaturen heeft het zwakke aardmagneetveld niet veel invloed meer op deze stabiele magnetisatie, die aldus vele geologische perioden bewaard kan blijven. Dit is zo belangrijk omdat in het geologisch verleden het aardmagneetveld voortdurend van richting veranderde. De gesteenten, die in een bepaalde periode zijn gevormd en de magnetisatie van die tijd bij zich dragen, vormen als het ware een fossiel kompas: een aanduiding van de ligging van de toenmalige magnetische noord- en zuidpool.

\* Rijksuniversiteit Utrecht, Paleomagnetisch Laboratorium "Fort Hoofddijk", Budapestlaan 17, Utrecht.

## Vulkaanstromen

Een belangrijk materiaal voor het paleomagnetisch onderzoek vormen vulkaanstromen, omdat deze stollingsgesteenten in zeer korte tijd afgekoeld zijn en hun ouderdom meestal goed bekend is, waardoor men ook precies weet wanneer de gesteenten werden gemagnetiseerd. Aan de hand van recente lavastromen heeft men aangetoond, dat de richting van deze natuurlijke remanente magnetisatie geheel overeenkomt met de lokale richting van het aardmagneetveld tijdens de afkoeling van de stroom.

Het is dus mogelijk om met behulp van gesteentemonsters van bijvoorbeeld oude lavastromen allerlei veranderingen in richting en grootte van het aardmagneetveld in het geologische verleden te bepalen en te bestuderen. Daartoe werden en worden door onderzoekers van paleomagnetische laboratoria overal ter wereld georiënteerde gesteentemonsters verzameld en hun remanente magnetisatie in het laboratorium bestudeerd.

Maar vulkaanstromen komen lang niet overal en te allen tijde voor. Het blijkt echter dat ook vele sedimenten (zandstenen, schalies, mergels en zelfs kalken) een zwakke natuurlijke remanente magnetisatie bezitten. De oorzaken van de magnetisatie van deze sedimenten zijn niet in alle gevallen volledig duidelijk. In vele gevallen ontstond de magnetisatie doordat tijdens of vlak na de afzetting van het sediment magnetische deeltjes in het aardveld werden uitgericht. Men weet nu uit gebieden, waar in dezelfde tijd afwisselend lavastromen en sedimenten zijn afgezet, dat de magnetisatierichting van de sedimenten slechts weinig of in het geheel niet afwijkt van die der lava's. Alleen zijn gewoonlijk de magnetisaties van sedimenten veel zwakker. Het bewijs dat de remanente magnetisatie van gesteenten ook dateert van de oorsprong van dit gesteente, is vaak moeilijk onweerlegbaar te leveren. Maar in vele gevallen kan men met behulp van de kennis van de aard en de toestand der magnetische mineralen in het gesteente, en op grond van de geologische geschiedenis van het onderzochte gebied, tot een zeer redelijke uitspraak komen over de ouderdom van de magnetisaties.

## De apparatuur

De intensiteit van het eigen magneetveld van 10 kubieke centimeter sediment is veelal een miljoen maal zwakker dan het toch al zwakke huidige aardmagneetveld. De natuurlijke magnetisaties van lava's zijn meestal duizendmaal sterker, maar nog altijd een duizendste van het aardmagneetveld.

Het meten van deze geringe magnetisaties geschiedt met uiterst gevoelige en veelal technisch zeer geavanceerde magnetometers. In Nederland gebeurt dit in het Paleomagnetisch Laboratorium van de Rijksuniversiteit te Utrecht, dat is gevestigd in de gewelven van een oud kruitfort (1879), waar bodemtrillingen, temperatuurschommelingen en magnetische storingen veroorzaakt door bijvoorbeeld gewapend beton, treinen of liften minimaal zijn. De minst gevoelige en onderhand "ouderwetse" astatiche magnetometers zijn in staat om tuinlieden, die werken met een metalen kruiwagen of een schop in de bovenop het fort aangelegde botanische tuin, feilloos te registreren. Een andere magnetometer is de "spinner", waarin het gesteentemonster wordt rondgedraaid binnen een spoelenpaar. De geïnduceerde wisselspanning, door de draaiende remanente magnetisatie veroorzaakt, wordt elektronisch omgezet in een resultaat dat proportioneel is met de magnetische vector. Deze magnetometer is veel minder gevoelig voor magnetische storingen in de omgeving. De nieuwste ontwikkeling op gebied van magnetometers

in de afgelopen jaren is de Cryogeen magnetometer: een instrument dat gebruik maakt van supergeleiding (optredend bij 4 graden Kelvin) en van zogenaamde Josephson juncties, die zeer gevoelig zijn voor magnetische velden. De extreme gevoeligheid van dit instrument heeft een nieuwe wereld van mogelijkheden geopend voor het paleomagnetisch onderzoek, want nu kunnen ook de meest zwak gemagnetiseerde sedimenten zoals kalken bij het onderzoek worden betrokken.

De magnetometers zijn echter niet de enige instrumenten, toegepast op het Paleomagnetisch Laboratorium in Utrecht. Want het bepalen van de natuurlijke remanente magnetisaties kan niet geschieden met het meten van de totale natuurlijke remanente magnetisatie alleen. Het blijkt, dat de gesteenten naast hun oorspronkelijke magnetisatie vaak nog een andere, soms zelfs meerdere magnetisaties bezitten. Dit wordt vaak veroorzaakt door chemische omzettingen. Maar meestal heeft men te maken met een viskeuze magnetisatie. Deze wordt veroorzaakt door magnetische mineraalkorrels, die niet in staat zijn hun remanente magnetisatie gedurende langere tijdsduur te behouden. Vaak is dit viskeuze deel van de remanente magnetisatie reeds na enkele dagen liggen in het laboratorium geheel bijgericht in de nieuwe richting van het omgevende veld.

Om deze secundaire magnetisaties van de gezochte primaire magnetisaties te scheiden, worden de gesteentemonsters in het laboratorium stapsgewijs gedemagnetiseerd. Dit demagnetiseren geschiedt door de monsters te onderwerpen aan wisselvelden van toenemende intensiteit of door ze te verhitten bij steeds hogere temperaturen. Door na elke bewerking te meten welk deel van de remanente magnetisatie is weggenomen en welk deel nog overblijft, kan men precies vaststellen welke magnetisaties aanwezig waren en wat hun richting en intensiteit zijn geweest. Over het algemeen zijn al die magnetisaties die het best bestand zijn tegen wisselvelden en/of hoge temperaturen de oudste en meest stabiele.

## Resultaten

Het paleomagnetisch onderzoek is van grote invloed geworden op het stimuleren en toetsen van geofysische en geologische theorieën.

Een belangwekkende ontdekking was, dat naarmate men oudere gesteenten ging onderzoeken, de paleomagnetische richtingen wezen naar poolposities die steeds verder van de huidige geografische polen verwijderd waren. Slechts gesteenten jonger dan 30 miljoen jaar gaven poolposities dicht bij de huidige pool.

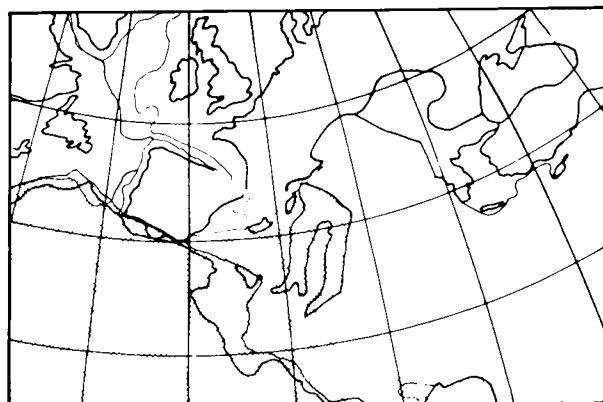
In oudere tijden moet dus de afstand tussen de continenten en/of de positie van de polen veranderd zijn. Het was in eerste instantie niet mogelijk uit te maken of dit een gevolg was van echte "poolwandeling" of van "drift der continenten". Maar met de toenemende stroom van paleomagnetische gegevens werd het duidelijk, dat in ieder geval ook een onderlinge verplaatsing van de continenten moet hebben plaatsgevonden. Oude en sceptisch ontvangen geologische theorieën over "drift der continenten" werden door paleomagnetisch onderzoek onomstotelijk bevestigd. Dat de continenten in het geologische verleden over grote afstanden zijn verplaatst is nu wel zeker. In de afgelopen jaren werd een steeds gedetailleerder beeld verkregen van hoe deze verplaatsingen zijn verlopen en wanneer ze plaatsvonden. Met name in het Westelijke Middellandse-zeegebied heeft het paleomagnetisch onderzoek een bijzondere bijdrage geleverd waar het de ontrafeling van de geologische wordingsgeschiedenis betrof. Zo kon het verloop van de paleomagnetische veldrichtingen in

detail worden vastgelegd voor het tijdvak van Jura tot vroeg-Tertiair in de Zuidelijke Alpen en in Midden-Italië. Deklinatie-veranderingen\* van de geregistreerde richtingen werden verklaard door bewegingen van de aardkorst (i.c. het Italiaanse schiereiland) en wel door rotaties tegen de klok in terwijl de veranderingen in het inklinatie-patroon\* werden geïnterpreteerd als een beweging naar de pool toe of ervanaf.

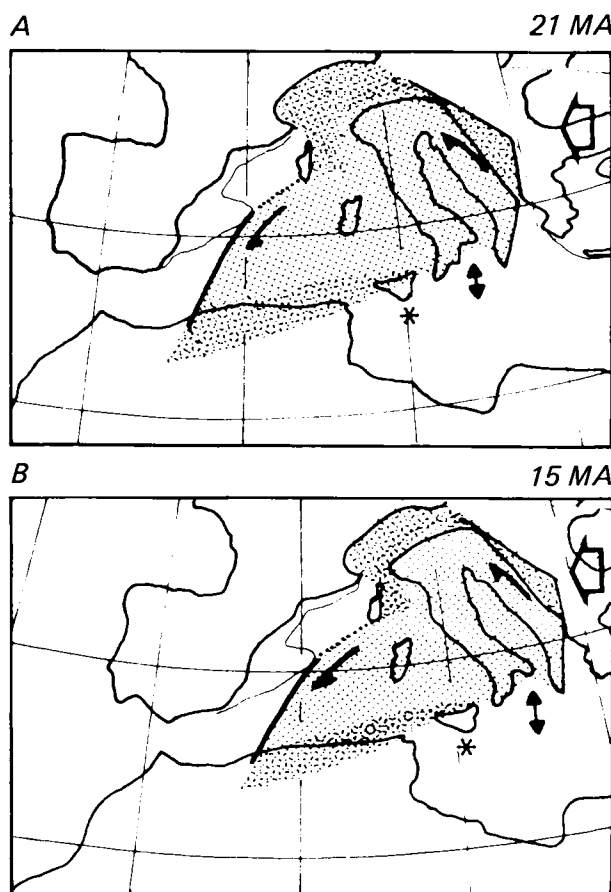
Door de paleomagnetische resultaten uit Italië te vergelijken met de bekende gegevens uit Europa en Afrika was het mogelijk aan te tonen dat Italië tenminste gedurende de Jura en het Krijt een noordelijk deel van Afrika was, maar dat in het Tertiair Italië werd ontkoppeld van Afrika en een onafhankelijke rotatie tegen de klok in uitvoerde. De overeenkomst in paleomagnetische gegevens uit zeer uiteenlopende gebieden van het Italiaanse schiereiland en structureel geologische overwegingen maken het aannemelijk dat deze resultaten gelden voor een samenhangend gebied rond de Adriatische Zee. Op basis van reeds bekende gegevens van de omringende continenten en door middel van reeds bekende rekonstrukties van de Atlantische oceaانبodem kon de positie van het Adriatische blok worden vastgelegd in het verloop van de tijd. Deze rekonstrukties van het Westelijke Middellandse-zeegebied vormen een kader dat kan leiden tot een beter begrip van de Alpiene gebergtevorming. Zie afb. 1, 2 en 3.

Uiteraard is men zeer benieuwd naar de oorzaak en de drijvende krachten achter deze gigantische fenomenen in de aardkorst. En ook hier verschaffen de resultaten van paleomagnetisch onderzoek noodzakelijke informatie. Het blijkt dat in het verleden het aardmagneetveld herhaaldelijk van polariteit is omgekeerd. Dus er waren tijden, dat de huidige magnetische zuidpool (in de omgeving van de geografische noordpool) een magnetische noordpool was en de huidige magnetische noordpool in Antarctica, een magnetische zuidpool. Deze omkeringen zijn over de gehele aarde vastgesteld in gesteenten. De jongste omkering vond ongeveer 700.000 jaar geleden plaats.

De onregelmatig terugkerende omkeringen van de polariteit van het aardmagneetveld, zoals ze zijn gevonden in vele series lavastromen en in gedetailleerde sedimentaire sekties, heeft men terugherkend bij het magnetisch karteren van de oceanen. Expeditieschepen hebben bij nauwkeurige metingen van het aardmagneetveld waargenomen, dat op de oceanen opeenvolgingen van smalle en zeer langgerekte stroken kunnen worden onderscheiden, waarin het aardmagneetveld afwisselend iets sterker en iets zwakker is dan de gemiddelde waarde (positieve en negatieve anomalie). Het blijkt dat deze magnetische anomalieënstroken een typisch patroon vormen, dat spiegelbeeldig is ten opzichte van de centrale slenk van de midoceanische rug. Voortbouwend op de resultaten van het paleomagnetisch onderzoek verklaart men deze langgerekte positieve en negatieve anomalieën als een gevolg van de invloed van smalle stroken normaal en omgekeerd gemagnetiseerde lava's en intrusiva, evenwijdig met de midoceanische slenk.

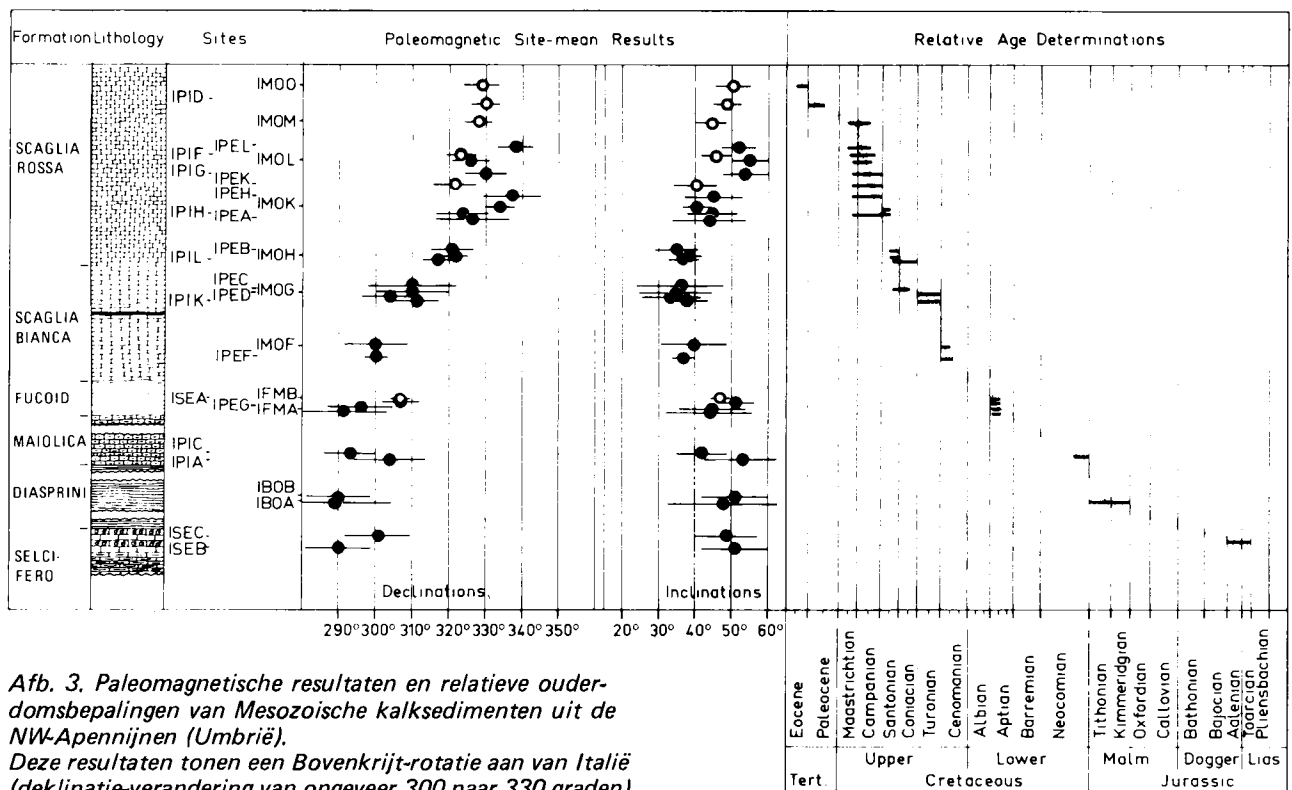


Afb. 1. Rekonstruktie van het Westelijke Middellandse-zeegebied in de Lias (165 miljoen jaar geleden) op basis van paleomagnetische gegevens en magnetische anomalieënpatronen in de Atlantische Oceaan. Gestippeld is de Afrikaanse continentale plaat, waartoe het Italiaanse korstfragment gedurende het Mesozoicum behoorde.



Afb. 2. Twee momentopnamen (21 en 15 miljoen jaar geleden), die illustreren hoe, onder invloed van naar het westen bewegende korstfragmenten in het Oostelijke Middellandse-zeegebied, het Italiaanse korstfragment (gestippeld) over een hoek van ongeveer 25 graden tegen de klok in draaide gedurende 30 tot 5 miljoen jaren geleden. Het gevolg van deze beweging is de vorming van de Alpiene gebergtekets (dicht gestippeld) en het uitrekken van de korst in het Ionische-zeegebied. De lokatie van de rotatie-as, gelegen in de buurt van Malta, is aangegeven met een ster.

\* Bij een beschrijving van de magnetische vector of veldrichting spreekt men van de deklinatie, zijnde de projectie van de vector in het horizontale vlak, en van de inklinatie van de magnetische veldrichting, zijnde de projectie in het verticale vlak.



**Afb. 3. Paleomagnetische resultaten en relatieve ouderdomsbepalingen van Mesozoïsche kalksedimenten uit de NW-Apennijnen (Umbrië).**  
 Deze resultaten tonen een Bovenkrijt-rotatie aan van Italië (deklinatieverandering van ongeveer 300 naar 330 graden) en geven tevens aan dat er een rotatie tegen de klok in moet hebben plaatsgevonden na het vroeg-Tertiair (deklinatieverandering van 330 naar de huidige 360 graden). Ook bewegingen in de richting van de pool en ervanaf zijn geregistreerd (inklinatieveranderingen). Het hoger worden van de inklinatie is een gevolg van een beweging naar de noordpool toe en het lager worden van de inklinatie is een gevolg van een beweging naar de equator toe. Horizontale streepjes geven een maat voor de nauwkeurigheid aan; kolom 1: informele formatienamen; kolom 2: lithologie; kolom 3: monsterlokaties; kolom 4 en 5: gemiddelde paleomagnetische resultaten; dichte stippen: normale polariteit, open stippen: omgekeerde polariteit; kolom 6: ouderdomsbepalingen d.m.v. paleontologische gegevens.

Deze smalle stroken zijn ontstaan tijdens het uitschuiven van de oceaانبodem vanuit de centrale slenk. Al naar gelang de polariteit van het aardmagneetveld hebben deze stollingsgesteenten de bijbehorende magnetisatie aangenomen.

Door het spiegelbeeldige patroon van positieve en negatieve anomalieën ter weerszijden van de centrale slenk te vergelijken met de tijdsindeling van de omkeringen van het aardmagneetveld, kan men zelfs vaststellen met welke snelheid de oceaانبodem verschuift. De huidige oceanen zijn vrij jonge structuren, die voor het grootste deel gedurende de laatste 170 miljoen jaar tot stand kwamen. Bij deze continentverplaatsingen raken vaak kleinere fragmenten los of worden door de grote continenten in de klem genomen en sterk gedefformeerd. Op plaatsen waar continenten elkaar "raken" ontstaan gebergten of tenminste belangrijke breukzones, waarlangs de verschillende bewegingen kunnen worden opgelost. Vanzelfsprekend gaat dit proces nog steeds door, getuige de verwijdering van Arabië en Afrika langs de tegenwoordige Rode Zee, die nog steeds een actief spreidingscentrum vormt.

Uit deze beknopte beschrijving van de toepassingen van het paleomagnetisme moge blijken, dat het onderzoek van de uiterst geringe remanente magnetisaties van minuscule mineraalkorreltjes in de gesteenten der aarde de laatste jaren bijzonder veel heeft bijgedragen tot een beter begrip van de geologische geschiedenis van de aardkorst. Het is te verwachten dat in de toekomst het paleomagnetisme een belangrijke rol zal blijven spelen bij het onderzoek naar verdere details in het ontstaan van de huidige continenten en oceanen.

**Literatuur**

Van den Berg, J., 1979: Reconstructions of the Western Mediterranean area for the Mesozoic and Tertiary timespan, *Geologie en Mijnbouw*, vol. 58 (2), p. 153 - 160.  
 Van den Berg, J., Klootwijk, C.T. and Wonders, A.A.H., 1978: Late Mesozoic and Cenozoic movements of the Italian Peninsula: Further paleomagnetic data from the Umbrian sequence, *Geol. Soc. of Am. Bull.*, vol. 89, p. 133 - 150.  
 Pannekoek, A.M. en Van Straaten, L.M.J.U. (redactie); 1982: *Algemene geologie*; Groningen, Wolters/Noordhoff.  
 Veldkamp, J., 1974: *Geofysica*; Utrecht, Het Spectrum.

