

# De aardkern en zijn rotatiesnelheid: nieuwe gegevens zorgen voor verrassingen

door Dr. J. van Diggelen

Meer dan tweeduizend jaar geleden beweerde de beroemde Griekse wijsgeer Plato dat onze Aarde opgebouwd is uit een gloeiend hete, vloeibare substantie, bedekt door een dunne korst. Als die korst ergens scheurt of breekt kan het magma uit de diepte uitstromen. In de streken rond de Middellandse Zee was dat voor Plato geen ongewoon verschijnsel. Zo'n eenvoudig beeld van de Aarde hebben wij nu niet meer.

Nog steeds worden diverse gebieden op onze wereld verast door zulke vulkanische uitbarstingen, maar onze kennis van de planeet waarop wij leven is door modern onderzoek wel heel wat gedetailleerder geworden. We weten dat de Aarde één is van de om de Zon lopende planeten, wij kennen haar grootte, haar oppervlak en inhoud en kunnen diverse eigenschappen van onze planeet vergelijken met die van haar burens. Maar de bodem diep onder ons bevat nog heel wat raadsels. Sinds de beroemde *science fiction*-roman van Jules Verne "Een reis naar het middelpunt van de Aarde" wagen de meeste fantasten zich daar niet aan; zij laten hun helden liever denkbeeldige tochten maken naar verre werelden met wonderlijke ruimtewezens.

## Een eerste inzicht in de bouw van de Aarde

Pogingen om in de Aarde door te dringen zijn er behalve diepe mijnschachten genoeg geweest. Problemen deden zich daarbij voor met de stijging van de temperatuur, die ongeveer 3 °C toeneemt per 100 m diepte. In 1970 begonnen de Russen op het schiereiland Kola met een boring tot 15000 m. Zij hoopten op ca 9000 m de granietlaag van het oude Fennoscandische Schild te bereiken en de daaronder verwachte basaltlaag te vinden. Hoewel ze wel onverwachte zones met verbrossend gesteente aantroffen op een diepte, waarop trillingen van proefexplosies een overgang naar ander gesteente, een zogenaamde discontinuïteitszone, hadden aangewezen, werd die **Conrad-discontinuïteit** op 9000 m niet aangetroffen. Zo zijn er meer boringen verricht, zoals het bekende Mohole-project in de oceaانبodem, of de diepe boring in Zuid-Duitsland, maar zonder op al deze experimenten uitgebreid in te gaan kunnen wij constateren, dat ze wel allemaal interessante resultaten opleverden, maar toch slechts een beperkte visie

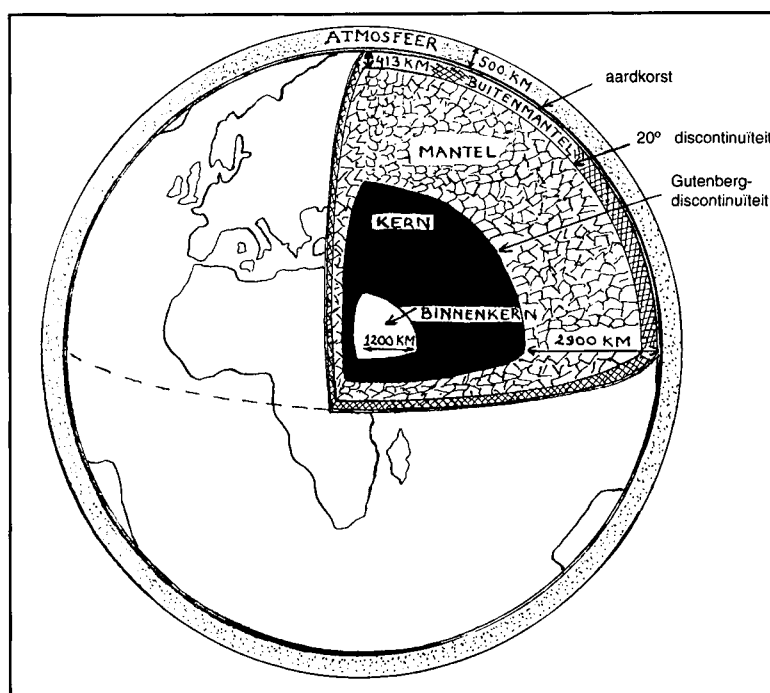
Afb. 1. Volgens het schillenmodel is de Aarde opgebouwd uit een 500 km dikke atmosfeer, een 30 km dikke aardkorst, waarop het menselijk leven zich afspeelt en aan de onderkant begrensd door de Mohorovicic-discontinuïteit; daaronder ligt de mantel van 4300 km dikte met aan de onderkant de Gutenberg-discontinuïteit, die gevolgd wordt door de vloeibare kern met daarin een centrale binnenkern met een straal van ca 1200 km.

geven op de bouw van onze planeet. Al dit onderzoek beperkt zich immers tot nog geen kwart procent van de enorme afstand van omstreeks 6400 km, die het oppervlak van onze planeet van haar middelpunt scheidt. Afb. 1.

We zullen hier ook niet ingaan op de methodes, waarmee de astronomen de grootte van de Aarde en de planeten, hun massa en dichtheid hebben afgeleid. Interessant is wel dat daaruit volgt dat onze planeet een gemiddelde dichtheid van 5,52 g/cc blijkt te hebben, terwijl het gesteente van de aardkorst gemiddeld heel wat lichter is en niet verder komt dan een gewicht van 2,5 à 3 g/cc. De diepere aardlagen moeten dus uit heel wat zwaarder materiaal zijn opgebouwd.

Duikers kunnen ons vertellen dat de druk toeneemt met de diepte (met 1 atm per 10 m in de zee). De druk van het veel zwaardere gesteentepakket van de Aarde is nog groter dan van zeewater en in de aardlagen neemt de druk enorm toe, zodat die op 100 km diepte al 30.000 atm bedraagt (±30 kbar).

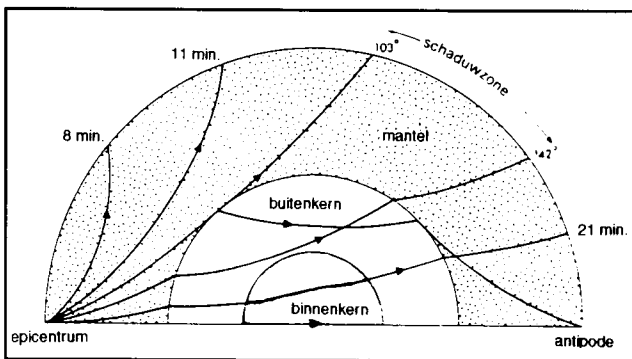
Sinds naar verluidt heel lang geleden in China het kompas werd uitgevonden, weten we ook dat de Aarde een gigantische magneet is. Magneten kennen we als staafjes magneetijzer, waarmee sommigen van ons wellicht eens speelden, terwijl ook elektrische stromen in langgerekte spoelen zulke magneetvelden kunnen opwekken, die dan nog eens extra versterkt worden door een ijzeren kern in de spoel aan te brengen. Als de Aarde een magnetische planeet is die van binnen uit zwaar materiaal moet bestaan, dan is het niet zo'n grote stap om, net als William Gilbert in 1604 al deed, de kern van onze planeet te beschouwen als een enorme magneet van ijzer met wellicht wat nikkel. De astronomen vertelden ons immers ook dat er in de ruimte om ons heen brokken materie rondlopen, die soms als meteorieten op de Aarde vallen



en waarvan sommige uit gesteenten bestaan net als de aardkorst, maar vele andere opgebouwd zijn uit ijzer met een hoog gehalte aan nikkel. Misschien komen ze van een planeet net als de Aarde opgebouwd uit gesteenten met een kern van nikkel-ijzer.

## Aardbevingen en het schillenmodel van de Aarde

Een veel beter inzicht in de bouw van de Aarde dan boringen of magnetisme verschaft ons de seismologie, het onderzoek van de aardbevingen. Diep in de bodem kunnen zich verschuivingen of verplaatsingen in het gesteentepakket voordoen, waardoor er schokken ontstaan, die zich via de naburige lagen voortplanten. De vaak enorme hoeveelheid energie die bij zulke verschijnselen vrijkomt plant zich als trillingen voort, deels vergelijkbaar met de golven die een steen veroorzaakt, die we in het stilstaande wateroppervlak van een vijver plonzen. Hoewel die aardbevingen langzamerhand in intensiteit afnemen met toenemende afstand van hun bron, kunnen ze met speciaal daarvoor ontworpen apparatuur tot op grote afstanden worden geregistreerd. Afb. 2.



Afb. 2. Als er een aardbeving optreedt onder een epicentrum snellen de primaire (longitudinale) golven vanuit de haard door de Aarde en bereiken een seismograaf die elders aan het oppervlak is opgesteld na respectievelijk 8 en 11 minuten. 11000 km van het epicentrum begint echter een schaduwzone (bij 103 tot aan 142°). Dat is op de aardbol een strook waar geen trillingen worden waargenomen, omdat de golven als ze de grens van de kern (hier wit) bereiken worden gebroken, zodat ze pas veel verder op het aardoppervlak aankomen, bijv. na 21 minuten. In de pool van het epicentrum, de antipode, arriveren trillingen die ook door de binnenkern zijn gegaan. (Naar Veldkamp, 1965)

Onder het **epicentrum**, het punt op Aarde waar de beving het hevigst is, bevindt zich het **hypocentrum**, de haard waar de verplaatsing is opgetreden die de trillingen veroorzaakt. Die trillingen in de Aarde zijn van verschillende aard. Bij de steen in de vijver zien we de de golven langs het wateroppervlak lopen. Ook langs het aardoppervlak lopen aardbevingsgolven, maar voor de seismoloog zijn de trillingen die dwars door de Aarde heen lopen veel interessanter.

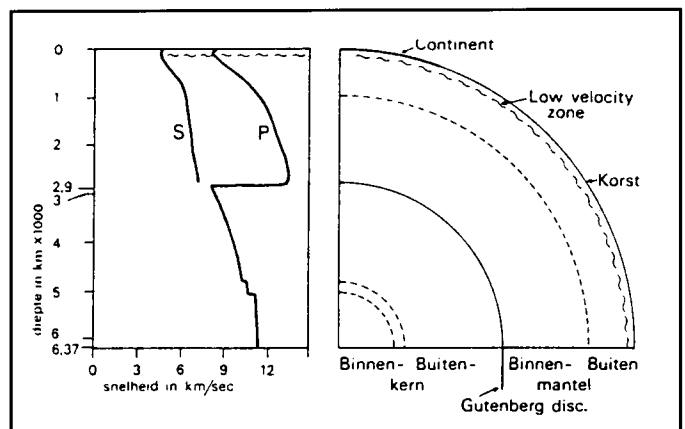
Hiervan zijn twee soorten te onderscheiden. Bij de P-golven (P van primair) gaat het om zogenaamde longitudinale golven. Zoals een veer onder een stoel wordt het gesteente bij de schok samengeperst, veert terug en trekt weer wat samen, zet weer uit, enz. Het veert als het ware in de richting waarin de golf zich voortplant en die lengte-trilling zet zich van het ene gesteentepakket voort in het andere, ook door vloeistofmassa's. Daarnaast zijn er S-golven (S van secundair), waarbij het gesteente net als de waterdeeltjes op het oppervlak van de vijver, of de metaaldeeltjes van een vioolsnaar, op en neer bewegen, terwijl de golfbeweging zich daar dwars op (transversaal) voortplant. Zulke transversale golven gaan echter niet dwars door vloeibare massa's heen. Beide soorten trillingen treden vanuit het hypocentrum gelijktijdig op.

Nadat er ergens op Aarde een beving is opgetreden, bereiken de P-golven een seismologisch station op grote afstand eerder dan de S-golven (vandaar: primair en secundair), omdat ze sneller

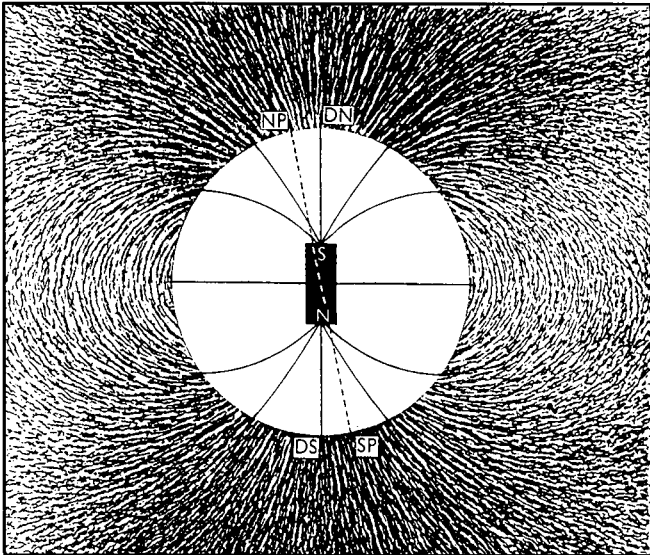
lopen. Ze worden geregistreerd en uit zulke seismogrammen kan men interessante conclusies trekken over de bouw van onze planeet. Omdat we de afstand van de waarnemingspost tot de haard van de beving kunnen bepalen, volgt uit het tijdsverschil tussen het ontstaan van de beving en de registratie ervan de snelheid, waarmee de trillingen liepen. Omdat ook in een laboratorium de snelheid, waarmee zulke golven in diverse soorten gesteente lopen, bepaald kan worden, levert de snelheid ons informatie over de aard van het gesteente. Als de snelheid op bepaalde diepte plotseling veranderd is, wijst dat op een zeer opvallende verandering in de bouw van de Aarde. Zo blijkt dat de aardkorst op ca 30 km diepte een overgang vertoont, de Moho of **discontinuïteit van Mohorovicic**. De P-golven veranderen hier in snelheid van ongeveer 6 tot ruim 8 km/s, terwijl de snelheid van de transversale trillingen van 3,5 naar 5 km/s springt. Ook door zware proefexplosies heeft men het bestaan van deze discontinuïteit kunnen vaststellen. We leggen hier dan ook gewoonlijk de grens tussen de aardkorst, de laag erboven, en de aardmantel, die eronder begint. Het gesteente in de mantel moet veel zwaarder zijn dan dat van de korst en wellicht is het peridotiet, duniet of eklogiet. Afb. 3.

De diepte van het hypocentrum onder het epicentrum kan uit details in een seismogram worden afgeleid, maar veel grotere nauwkeurigheid is te bereiken door combinaties van de registraties van meerdere seismografische stations. De meeste aardbevingen zijn zeer ondiep, ze vinden plaats in de aardkorst. Ver van het epicentrum zien we op de seismogrammen de sporen van trillingen, die door zeer diepe lagen van de Aarde zijn gegaan. Reeds kort na het ontstaan van het seismologisch onderzoek ontdekte men, dat er diep in de Aarde ook een bijzondere discontinuïteit moest zijn en dat daar niet alleen de snelheid van de golven verandert, maar ook hun richting. Op 2900 km diepte blijken de seismische golven te worden gebroken, zoals lichtgolven die door een hoek van een volglazen aquarium vallen. De breking veroorzaakt een verandering van richting, die zo sterk is dat er aan het aardoppervlak een strook ontstaat tussen 103 en 142° afstand van het epicentrum (van ca 11000 tot 16000 km), waar geen P-golven worden waargenomen, een zogenaamde schaduwzone. De snelheid van de P-golven daalt ook ineens, van 13,5 tot 8 km/s, als ze onder die grens komen. Blijkbaar passeren ze een dieper gelegen discontinuïteit, die de **Gutenberg-discontinuïteit** wordt genoemd. We nemen aan dat de aardmantel bij die tweede discontinuïteit overgaat in een derde zone, de aardkern. Zo is met behulp van aardbevingsgolven het schillenmodel van onze planeet ontstaan.

De transversale S-golven blijken de aardkern niet te kunnen passeren, zij worden in longitudinale trillingen getransformeerd. Daardoor is de amplitudo (een mate voor de sterkte) van de trillingen in het antipodale gebied van de haard groter dan in



Afb. 3. Uit de verandering van de snelheid in km/sec met de diepte in de Aarde (verticale schaal in km) van primaire (longitudinale) aardbevingsgolven P en secundaire (transversale) S blijkt de verdeling in korst, mantel, kern en binnenkern. (Naar Holmes, 1965)



bepaalde delen van de Aarde die dicht bij het epicentrum liggen (zie afb. 2). Een stof die geen transversale golven doorlaat moet vloeibaar of gasvormig zijn, maar bij de hoge waarde van de druk moeten we bij de aardkern van een vloeistof spreken. Omdat het aardmagnetisme ons een ijzermassa suggereert, zou die aardkern grotendeels uit gesmolten ijzer kunnen bestaan. Binnenin de kern, op 1250 km van het middelpunt van de Aarde, is nóg een snelheidssprong van de seismische golven: van 9 tot 11 km/s. Deze overgang wordt geïnterpreteerd als een overgang van de kernmassa van vloeibare in vaste toestand. Blijkbaar bevindt zich binnenin de buitenkern een vaste binnenkern van 2500 km grootte.

### De binnenkern en het aardmagnetveld

We weten dat het kompas in ons land naar het noorden wijst, omdat de noordpool van dat kleine magneetnaaldje wordt aangetrokken door de magnetische zuidpool van de reusachtige aardmagneet. Die magnetische zuidpool van onze planeet ligt in noordoost-Canada niet ver van de geografische noordpool en hoewel we het geografisch de magnetische noordpool plegen te noemen is het in fysisch opzicht eigenlijk een zuidpool. Afb. 4. Belangrijk is dat voor ons niet, want noord en zuid zijn uiteindelijk maar door ons mensen vastgelegde afspraken. Wel interessant is echter dat die polariteit in het geologische verleden nog al eens omgewisseld is. Het aardmagnetveld is zelfs herhaalde keren van richting omgekeerd, maar omdat dat zich in onze geologisch zo korte menselijke historie nog niet heeft voorgedaan, hebben we dat op onze kompassen niet geconstateerd. Bij paleomagnetisch onderzoek in de gesteenten speelt dat natuurlijk wel een grote rol.

Naar de oorzaak van het omslaan van het aardmagnetveld wordt nog steeds gezocht. Waarschijnlijk kristalliseert de ijzermelt aan de ondergrens van de buitenkern. Bij dit kristallisatieproces komt warmte vrij en die levert bewegingsenergie voor stromingen in de buitenkern. Deze stromingen kunnen misschien op dezelfde manier als elektrische stromen in een spoel het ontstaan van het aardmagnetveld verklaren. Afb. 5. Hiertoe zijn al heel wat pogingen gedaan en theorieën opgeworpen. In 1995 ontwikkelden Gary Glatzmaier (van Los Alamos Nat. Lab.) en Paul Roberts (van de universiteit van Californië in Los Angeles) een computermodel van dat zogenaamde **dynamomechanisme** in de kern van de Aarde, waarbij bewegingsenergie wordt omgezet via elektrische energie in een magnetisch veld. Zo lukte

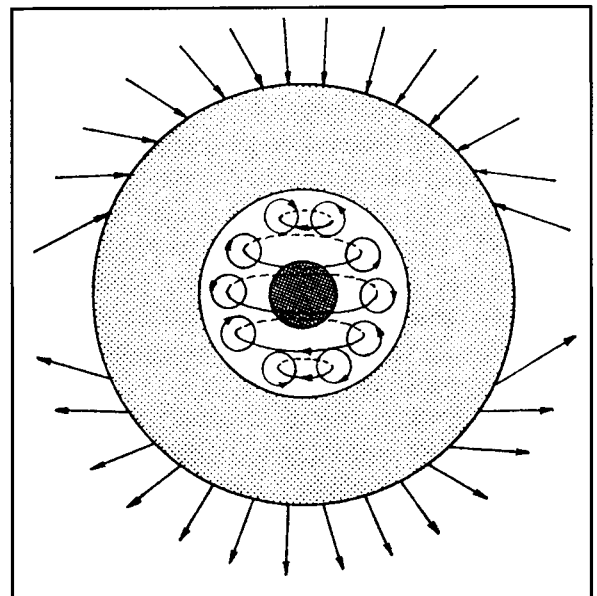
Afb. 5. Door vrijkomende energie aan de grens van de binnenkern ontstaan er in de buitenkern convectiestromen (cirkeltjes), die een magnetveld opwekken vergelijkbaar met dat van een staafmagneet. (Naar Veldkamp, 1965)

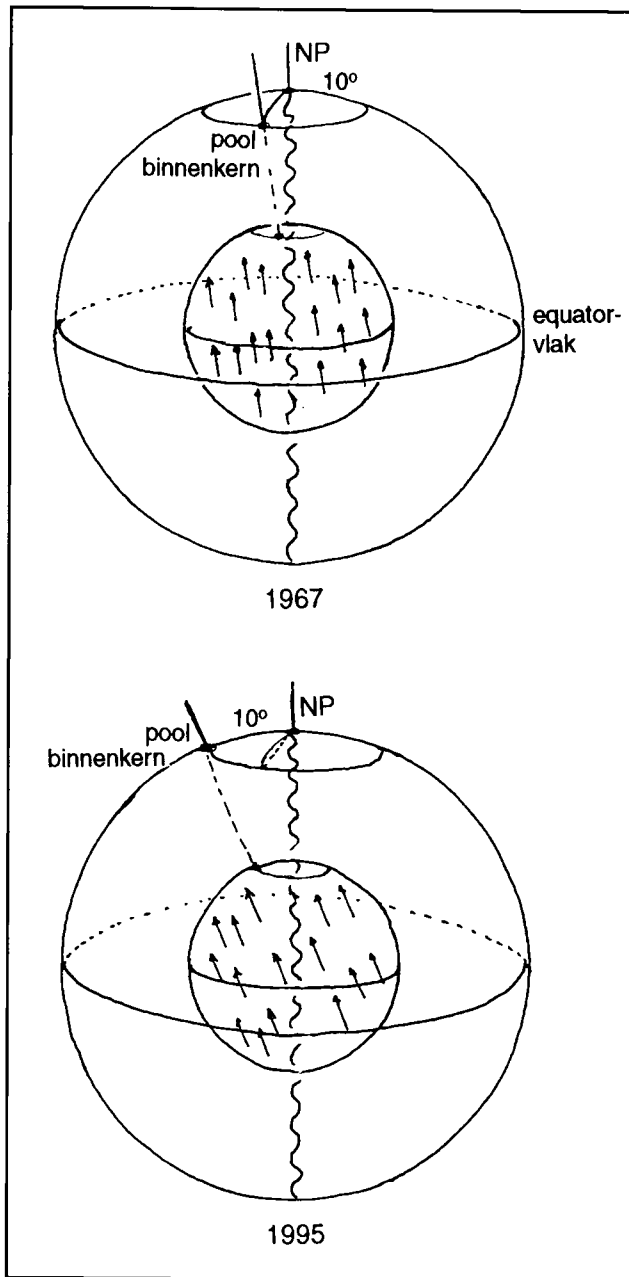
Afb. 4. Het magnetveld van de Aarde is te vergelijken met dat wat zou ontstaan als de aardkern een reusachtige staafmagneet was met zijn zuidpool boven (S). De magnetische noordpool NP valt niet precies samen met de geografische pool DN.

het hun ook zelfs de omkering van het aardmagnetisme te verklaren. Hun explicatie zou echter alleen opgaan als de binnenkern niet helemaal gelijk op met de Aarde meedraait, maar iets sneller zou roteren, met een verschil van enkele graden per jaar.

### De binnenkern draait sneller

De voorspelling van Glatzmaier en Roberts werd gevolgd door een experimenteel onderzoek. Daarvoor moest men letten op de seismische golven die de binnenkern doorlopen. Ze lopen daar sneller langs noord-zuid banen dan langs banen in het evenaarsvlak. Dat verschil is te constateren door aardbevingen, die bij Antarctica optraden en in Alaska geregistreerd werden, te vergelijken met de seismogrammen van aardbevingen waarvan de haard in de Stille Oceaan bij de Tonga-eilanden lag en die in Duitsland werden opgetekend. Men denkt dat dat verschil het gevolg is van het feit dat ijzeratomen in de vaste kern in een voorkeursrichting gericht zijn (net als in een staafmagneet), die 10° afwijkt van de rotatie van de Aarde. Afb. 6. Twee seismologen, Xiaodong Song van Lamont-Doherty Earth Observatory in Palisades (U.S.A.) en Paul G. Richards van de Columbia Universiteit te New York, hebben onlangs de voorspelling van Glatzmaier en Roberts bevestigd. Zij vonden dat de binnenkern inderdaad sneller draait en wel om een as die iets afwijkt van de rotatie van de Aarde. Het verschil in snelheid lijkt gering, 2/3 sec per dag, maar na verloop van een jaar komt de binnenkern toch 1° voor op de rest van onze planeet en na iets meer dan 3° eeuw heeft hij één rotatie méér volbracht. Song en Richards bestudeerden de registraties van 38 aardbevingen bij de Zuid-Sandwich-eilanden bij Antarctica, waarvan de trillingen via de aardkern werden opgevangen op seismische stations in Alaska. Zij kwamen in 1995 enkele tienden van seconden later aan dan in 1967, omdat de as van de vaste kern in die tijd iets gedraaid is t.o.v. de aardkorst. Die as snijdt nu het aardoppervlak in de Poolzee noordoost van Siberië bij 79° noord, 169° oost. In 1967 was dat 33° westelijker. Verder onderzoek kan wellicht meer details verraden over de structuur van onze planeet. We vragen ons af hoe snel de binnenkern gecondenseerd is uit de gesmolten buitenkern en hoe die twee samenwerken om het magnetveld te produceren dat na bepaalde tijdsperiodes van polariteit verandert. Wellicht heeft dit alles ook invloed op andere processen, zoals de verschuiving der





Afb. 6. Het is niet zo gemakkelijk om te begrijpen, waarom de aardbevingsgolven in 1995 ongeveer 0,3 sec later arriveerden dan in 1967. We hebben getracht dat hier schematisch te verduidelijken door een soort hordenloop. In de tekening is de rotatieas van de Aarde verticaal gezet met de noordpool NP boven en de binnenkern is (voor de duidelijkheid veel te groot) in de Aarde getekend. Die binnenkern gedraagt zich als één reusachtig kristal van ijzer. P-golven doorlopen de binnenkern sneller in de richting noord-zuid (hier door golfjes aangegeven, hoewel het longitudinale golven zijn) dan in het equatorvlak. Dat komt omdat ze de binnenkern in zijn polaire richting (let op de vele pijltjes) sneller passeren. Die binnenkern roteert iets sneller dan de rest van de Aarde om een as die 10° helt t.o.v. de aardas (hier ook overdreven getekend). De pool van de binnenkern beweegt om de pool van de Aarde NP langs een cirkelbaan. De stand daarvan was in 1967 (bovenste tekening) iets anders dan in 1995 (onderste tekening, hier ook weer overdreven weergegeven), zodat de P-golven van aardbevingen in 1967 de binnenkern meer in zijn polaire richting doorliepen dan in 1995 (let op de stand van de pijltjes), hoewel de doorlopen afstand even lang was. Daarom hadden de golven in 1995 0,3 sec langer nodig.

continenten. Bovendien is het astronomisch van grote interesse, omdat ook bij andere planeten, zoals Jupiter, verschillen zijn gevonden in de rotatieduur van de vaste kern en van de meer naar buiten liggende delen.

#### Literatuur

- A. Holmes: Principles of Physical Geology; Nelson, Londen, 1964.
- J. Veldkamp: Geofysica; Het Spectrum, Utrecht, 1974.
- A.J. Pannekoek en L.M.J.U. van Straaten (ed): Algemene Geologie; Wolters-Noordhoff, Groningen, 1984.
- G. Glatzmaier en P. Roberts: in Nature, sept. 1995.
- Xiaodong Song en Paul G. Richards: in Nature, 18 juli 1996.

#### Rechtzetting

In het septembernummer van Gea stond het artikel "Een compact opbergsysteem voor fossielen" van de heer H. Dorreboom. Helaas is hierin afb. 3 op zijn kant geplaatst. Zoals het er nu staat komen de laden op hun kant in de kast en zó compact hoeft het nu ook weer niet! De tekening moet een kwartslag naar links worden gedraaid voor de juiste stand.

## Nogmaals: Het prepareren van fossielen

In Gea nr. 1 van 1996, het Ammonietennummer, staat op pag. 48 een artikel over het prepareren van gefosfateerde ammonieten. Graag zou ik dat artikel aanvullen met wat opmerkingen en eventuele adviezen voor degene die er wat mee kan of wil.

1. Widia (naar het Duits *wie Diamant*) is, evenals andere hardmetalen, geen staal. Er zit namelijk geen ijzer (Fe) in, maar het bestaat uit een reeks verbindingen van koolstof, stikstof of borium met de metalen vanadium, molybdeen, wolfram, e.a. Het is bijzonder hard, heeft een hoog smeltpunt en is chemisch nagenoeg niet aantastbaar.

2. Degenen die niet gemakkelijk aan hardmetalen punten van een

zaag kunnen komen kunnen ook, en dat is wèl makkelijk, een kleine of grotere steenboor met hardmetalen punt nemen. Het is dan niet nodig te hardsolderen, wat voor velen niet eenvoudig is.

3. Bij het slijpen van hardmetaal op een gewone slijpsteen verbrandt de beitel niet (zie boven) maar slijt de steen harder dan de beitel. Daarom moet men dit doen op een steen van siliciumcarbide, die in elke goede gereedschapswinkel te koop is. Deze is wel duurder (ca. f 35 voor de meest gangbare maat). Op deze steen voor hardmetaal kan men ook stalen gereedschap slijpen.

G.M. Zwetsloot, Zoetermeer