

DE GESCHIEDENIS VAN DE BEOEFENING VAN DE GEOFYSICA IN
NEDERLAND EN IN DE OVERZEESTE RIJKSDELEN

J. VELDKAMP

K.N.M.I., DE BILT, 1982

DE GESCHIEDENIS VAN DE BEOEFENING VAN DE GEOFYSICA IN
NEDERLAND EN IN DE OVERZEESTE RIJKSDELEN

J. VELDKAMP

K.N.M.I., DE BILT, 1982

K.N.M.I. - publicatie: 162

Kon. Ned. Meteor. Instituut
Postbus 201
3730 AE De Bilt

U.D.C.: 550.3(09)

WOORD VOORAF

Op het Congres van de Internationale Unie van Geologische Wetenschappen, in 1964 te New Delhi gehouden, werd een resolutie aangenomen waarin de nationale comités werden verzocht stappen te ondernemen ten einde te komen tot een geschiedschrijving van de Aardwetenschappen in ieder aangesloten land.

De Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, waaronder het Nederlandse Comité voor de Geologische Wetenschappen ressorteert, verzocht daarop de Sectie Aardkunde van de Akademie over te gaan tot het oprichten van een Nederlandse Commissie voor de geschiedschrijving van de beoefening der Aardwetenschappen in Nederland en in de Overzeese Rijksdelen. In 1974 begon deze Commissie haar werkzaamheden. Schrijver dezes werd gevraagd de geschiedenis van de geofysica voor zijn rekening te nemen, waarbij uiteraard de eventuele verbindingen met de geologie in het oog zouden worden gehouden.

In deze verhandeling wordt met het woord geofysica vooral bedoeld de natuurkunde van de vaste aarde, dus met uitsluiting van de dampkring en de oceanen. Deze beperking is zinvol. Weliswaar spelen de dampkring en het oceaانwater hun rol in de geologische processen, maar de geofysica in de engere zin van het woord heeft meer te maken met de historie van de geologie dan de meteorologie en de oceanografie. Toch is een scheiding tussen de vaste en de gasvormig-vloeibare aarde niet altijd vol te houden. Zo zijn bepaalde variaties van het magneetveld van de aarde te danken aan bewegingen in de buitenste lagen van de dampkring. Het onderzoek van de ionosfeer moest daarom ook behandeld worden.


De gekozen volgorde van behandeling (aardmagnetisme, seismologie, zwaartekracht, exploratie-geofysica) werd bepaald door de ouderdom van deze geofysische hoofdstukken in het Nederlandse onderzoek.

De schrijver heeft gemeend zich te moeten beperken in de vermelding van de zeer vele publicaties. De literatuurlijst is dus incompleet, al is wel getracht in ieder geval alle belangrijke publicaties te noemen en zeer kort te bespreken.

De geschiedschrijving gaat niet verder dan het jaar 1980. Publicaties die na 1980 zijn verschenen, werden niet in de bespreking opgenomen.

De illustraties zijn gekozen uit de besproken onderzoekingen of in verband daarmee. Voorzover zij niet zonder meer duidelijk zijn, is getracht in het onderschrift het essentiële aan te wijzen.

Ik ben de Hoofddirecteur van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut zeer erkentelijk voor zijn bereidwilligheid dit geschrift als een K.N.M.I.-publicatie te doen verschijnen.


(Prof. Dr. J. Veldkamp)
Bilthoven

HOOFDSTUK I

ONDERZOEK VAN HET AARDMAGNETISME

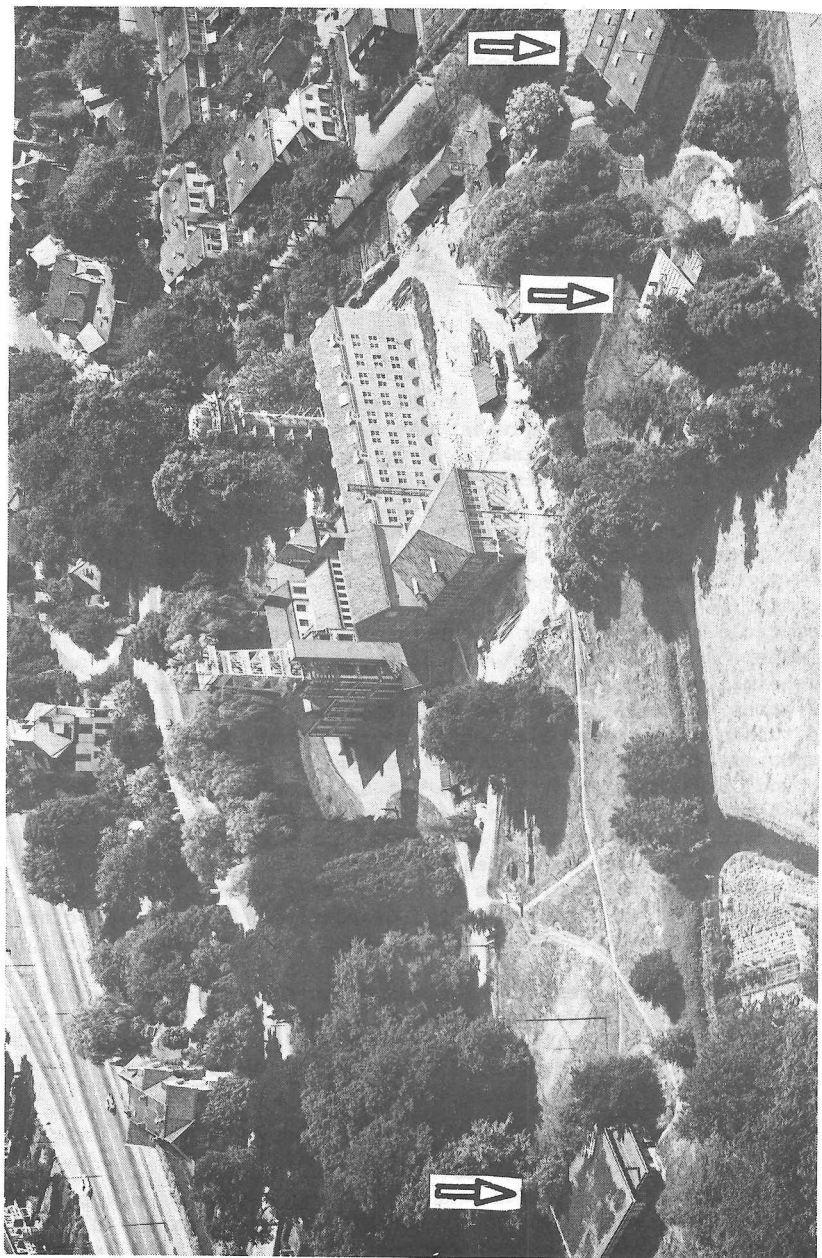
1. Aardmagnetisme in Nederland

In Nederland is het onderzoek van de geofysica van de vaste aarde aanvankelijk nauw verbonden geweest met de meteorologie en de oceanografie. Toen in 1854 het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (K.N.M.I.) in Utrecht werd gesticht, en het meteorologisch onderzoek daarmee een vaste basis kreeg, werd reeds driemaal daags in de kelder van de Sonnenborgh (thans Sterrewacht) te Utrecht de stand van een magneetnaald met kijker en schaal afgelezen. Deze dagelijkse waarnemingen van de kompasdeclinatie waren in 1849 begonnen (zie: K.N.M.I., Gedenkboek, 1954).

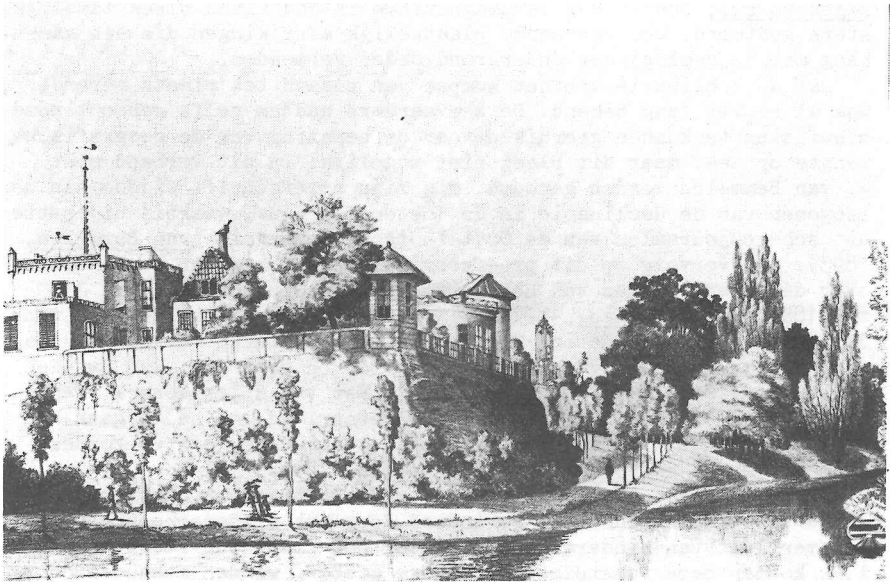
De speciale belangstelling voor het aardmagnetisme hing in ons land (en in andere landen) samen met een algemene interesse voor de onbekende en geheimzinnige poolgebieden, die in de vorige eeuw dan ook het doelwit waren van veel expedities (zie Pooljaren). Men wist van een verband tussen magnetische stormen en noorderlicht, maar zowel het aardmagnetisme als het poollicht waren onbegrepen natuurverschijnselen; het verband daartussen en de relatie met de poolstreken en met de activiteit van de zon was hoogst intrigerend. Men achtte een regelmatige bewaking van het magneetveld van de aarde daarom zeer de moeite waard. Enkele malen per dag werden twee componenten van het aardmagnetisme afgelezen (de declinatie en de horizontale intensiteit). Men kreeg zo enige kijk op de regelmatige veranderingen van deze grootheden en ook op de stormachtige variaties die samenhangen met het verschijnen van vlekken op de zon.

Met de fotografische registrering van de aardmagnetische variaties werd in 1868 begonnen in de kelder van de Sonnenborgh, en sindsdien werden ook regelmatig absolute metingen van de veldsterkte verricht volgens de internationale methoden. In het Jaarboek van het K.N.M.I. van 1894 vinden wij voor het eerst tabellen met uurwaarden van de declinatie en de horizontale intensiteit van het aardmagnetisme (K.N.M.I., 1894).

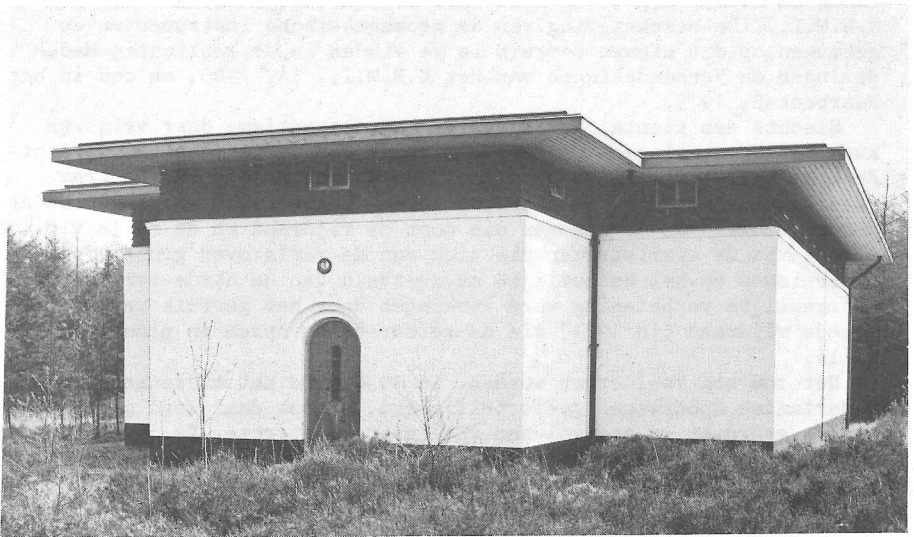
De verhoogde onderzoeksactiviteit op aardmagnetisch gebied, die blijkt uit de uitvoerige K.N.M.I.-publicatie van 1894, was ook te danken aan het werk van E. van Rijckevorsel, die in de jaren 1889 tot 1892 metingen verrichtte van de declinatie, de inclinatie en van de horizontale intensiteit op meer dan 300 plaatsen in ons land (van



Het K.N.M.I. tijdens de uitbreiding in 1952. Links is het seismografisch paviljoen te zien, rechts het gebouw voor de geomagnetische metingen en het variometerpaviljoen. Foto K.L.M.



De Sonnenborgh te Utrecht, de behuizing van het K.N.M.I. van 1854 tot 1898. Thans Sterrewacht van de Rijksuniversiteit te Utrecht.



Het aardmagnetisch station van het K.N.M.I. te Witteveen, een huis zonder vensters. Foto J.B. van der Kolk.

Rijckevorsel, 1895). Het aardmagnetisme in Nederland bleek tamelijk sterk gestoord. Het vertoonde plaatselijk afwijkingen die een samenhang met de geologische ondergrond deden vermoeden.

Dat de declinatie van het kompas van plaats tot plaats verandert, was al eeuwen lang bekend. De zeevaarders hadden zelfs gehoopt deze miswijzing te kunnen gebruiken voor de bepaling van de geografische lengte op zee, maar dit bleek niet mogelijk. In dit verband moet W. van Bemmelen worden genoemd, die zijn proefschrift wijdde aan de isogonen van de declinatie in de 16e en 17e eeuw, waarbij hij putte uit scheepsjournalen van de Oost-Indische Compagnie (van Bemmelen, 1893). Als vervolg op dit proefschrift schreef hij een verhandeling over de veranderingen van het aardmagnetisme in het tijdperk 1500 tot 1850 (van Bemmelen, 1897). Hij bewerkte waarnemingsreeksen van de magnetische declinatie, die in de 18e eeuw waren verkregen, o.a. door P. van Musschenbroek (1729 tot 1758) en door J.H. van Swinden (1770 tot 1780), (van Bemmelen, 1892). Met van Rijckevorsel voerde hij in 1896 en 1897 metingen uit in Zwitserland, om na te gaan hoe het aardmagneetveld van de hoogte afhankelijk was, echter zonder succes (van Rijckevorsel en van Bemmelen, 1899).

In de loop van de tijd werden de geomagnetische registreringen in de Sonnenborgh steeds meer gehinderd door het stadsverkeer. Vooral had men last van kinderwagens die door het plantsoen reden. Aanvankelijk konden deze voertuigen op zekere afstand worden gehouden door het planten van een doornhaag, maar tegen de eeuwwisseling moest naar een rustiger oord worden omgezien. En zo werden in 1898 de aardmagnetische registraties verplaatst van de Sonnenborgh te Utrecht naar het landgoed Koelenberg te De Bilt (het tegenwoordige terrein van het K.N.M.I.). De beschrijving van de geomagnetische instrumenten en gebouwen op dit nieuwe terrein is te vinden in de publicatie Mededelingen en Verhandelingen van het K.N.M.I., 1A, 1905, en ook in het Jaarboek-B, 1915.

Slechts een tiental jaren was het aardmagnetisme daar vrij van kunstmatige storingen. De electrificatie van de paardentram Utrecht-De Bilt-Zeist, die in 1909 voltooid werd, gaf problemen. De tram reed op gelijkstroom, en daardoor werden magnetische storingen onderhouden, zowel van de stromen die door de rijdraad en de rails vloeiden, alsook van de zwerfstromen die zich van de rails over grote afstand uitbreidden en het natuurlijke magneetveld van de aarde verstoorden. Aanzienlijke verbetering werd verkregen door het gebruik van een tweede rijdraad (in 1911) die de retourstroom opnam in plaats van de rails.

Het zou nog veel erger worden. In 1938 werd het middennet van de Nederlandse Spoorwegen geëlectrificeerd, en ook daar werd gelijkstroom gebruikt en nog wel van veel grotere sterkte. De onvermijdelijke oplossing was: verplaatsing van de magnetische registreringen. Een geschikt terrein werd gevonden in de ontginning Witteveen (tussen Westerbork, Emmen en Hogeveen), en medio 1938 werd daar een nieuw observatorium in gebruik genomen. Een beschrijving van de apparatuur met foto's van de gebouwen en instrumenten vindt men in het K.N.M.I.-

Jaarboek Aardmagnetisme, 1939. Tot 1952 zijn de registreringen van de geomagnetische variaties in het Magnetisch Station Witteveen ideaal geweest.

In mei 1952 werd de lijn Zwolle-Groningen geëlectrificeerd, en daarmee was het storingsvrije tijdperk te Witteveen voorbij. Door een juiste regeling van de elektrische spanning in de voedingsstations langs de spoorlijn kon het storniveau zo laag mogelijk worden gehouden, maar de registreringen in het Magnetisch Station te Witteveen hebben sedert 1952 de natuurlijke trillingen van het magnetische veld van de aarde niet meer tot in de kleinste details getrouw kunnen weergegeven.

De bewerkingen van de registraties werden van 1903 af gepubliceerd. Van 1903 tot 1938 zijn de uurwaarden te De Bilt, en van 1938 tot heden de uurgemiddelden van de aardmagnetische componenten te Witteveen uit de registreringen afgeleid, en in Jaarboeken van het K.N.M.I. vastgelegd (K.N.M.I., 1903-heden).

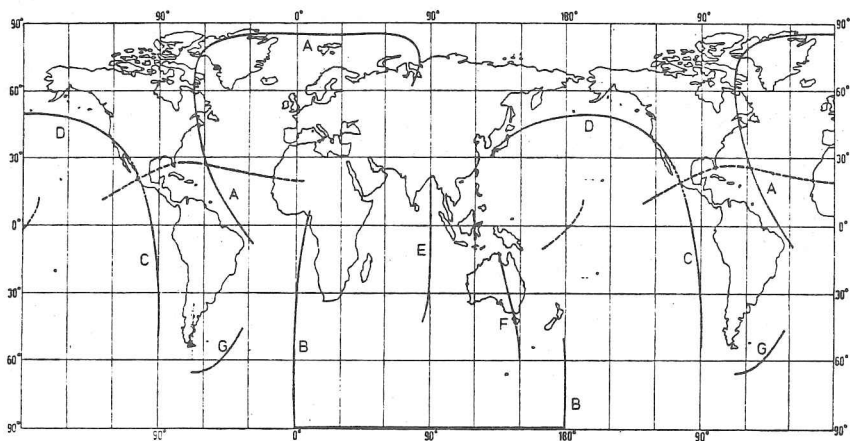
De mogelijkheid veldmetingen uit te voeren met een sterk verbeterde apparatuur maakte een herhaling van de aardmagnetische opname van 1891 aantrekkelijk. In de jaren 1942 tot 1948 werd het magneetveld van Nederland opnieuw in een 400-tal meetpunten vastgelegd. De resultaten zijn door J. Veldkamp in een K.N.M.I.-publicatie (Veldkamp, 1951) uiteengezet. De onregelmatigheden van het aardmagnetisme blijken nauw samen te hangen met de structuur en de topografie van de diepere ondergrond van ons land, zoals reeds door Ph.C.P. Hartmann in zijn proefschrift (Hartmann, 1945) werd geconstateerd. Dit proefschrift was gebaseerd op de opname van 1942-1948.

J.A. As heeft de seculaire variaties (dit zijn de geleidelijke veranderingen, die zich gedurende de laatste decennia in het aardmagnetisme hebben voltrokken) uitvoerig onderzocht en ook conclusies opgesteld met betrekking tot toekomstige veranderingen (As, 1967). De seculaire veranderingen blijken het sterkst in enkele wereldomvattende gordels, die min of meer samenvallen met de mondiale zones van geotectonische betekenis. As vermoedt hierin een samenhang tussen processen in de aardkern en in de mantel van de aarde (As, 1975).

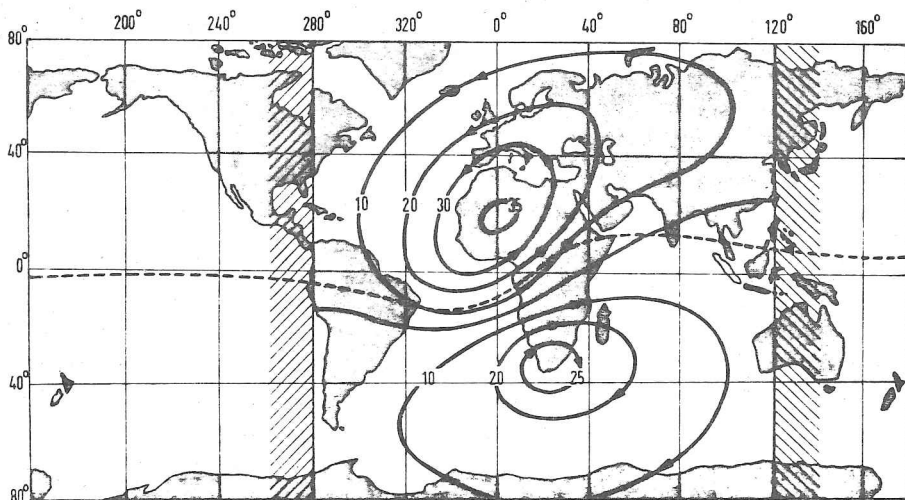
In het tijdperk van 1960 tot heden werden op het K.N.M.I. moderne instrumenten geconstrueerd voor het meten van het aardmagneetveld en zijn componenten, zoals protonmagnetometers (ook voor gebruik op zee), en een protonvectormagnetometer als stationsinstrument. As ontwikkelde ook apparatuur voor het digitaliseren van de componenten van de aardmagnetische registraties, met behulp van caesiummagnetometers en fluxgate-instrumenten (As, 1973). Deze moderne instrumenten functioneren thans in het Magnetisch Station te Witteveen. Zij maken het mogelijk de berekening en de publicatie van de aardmagnetische grootheden in hoge mate te automatiseren.

2. Storingen van het aardmagnetisme door de zon

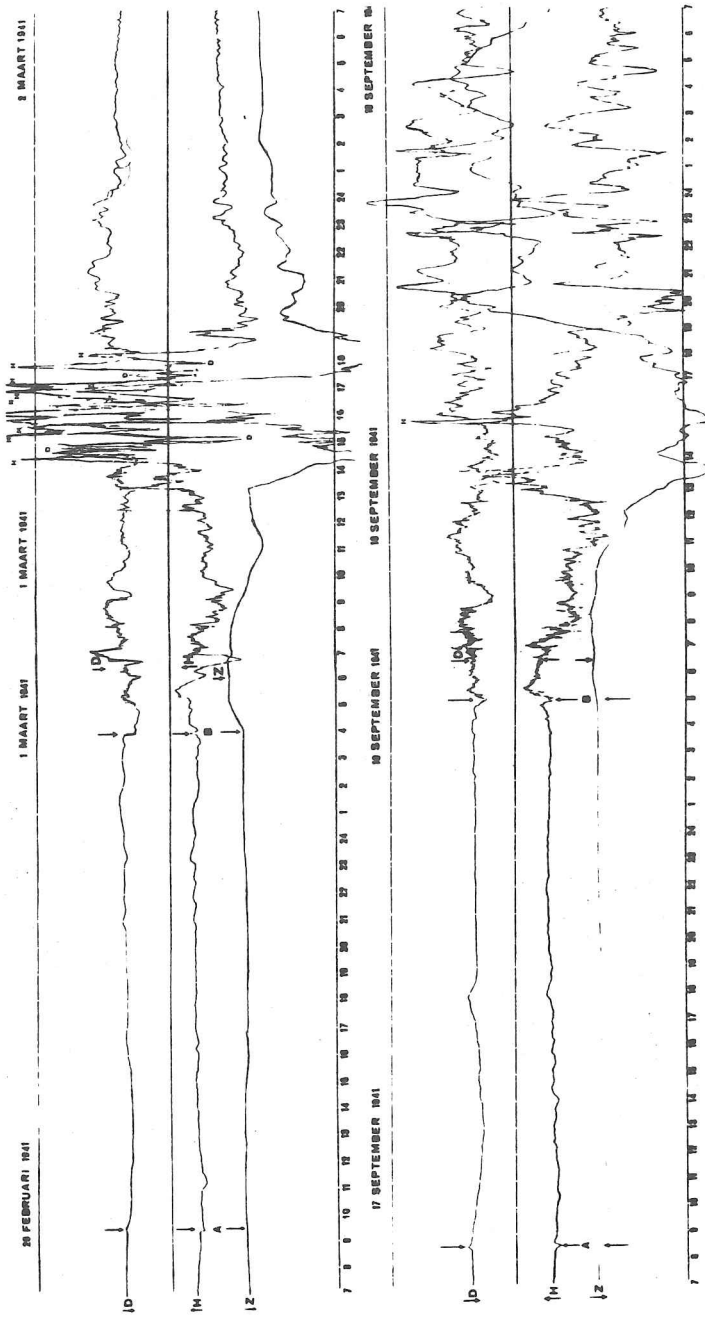
Nederland heeft van het begin af een leidende rol gespeeld in het internationale werk van de karakterisering der dagen uit geomagnetisch



Gordels van storingen in het magnetveld van de aarde, tevens zones van grote seculaire variatie (volgens As, 1975).



Electrische stromen in de ionosfeer die de dagelijkse variatie van het aardmagnetisme veroorzaken. Het gebied tussen de arceringen is het door de zon verlichte deel van het aardoppervlak. De streeplijn is de geomagnetische equator. De getallen van de stroomsterkte moeten met 10.000 A worden vermenigvuldigd. De stroomwervels zijn het gevolg van de dagelijkse getijbeweging in de ionosfeer. Toestand op 21 september 1958 om 12h. Volgens Van Sabben, 1970.



Magnetische stormen van maart en september 1941. Bij A werd een uitbarsting op de zon geregistreerd, en bij B de aankomst van een uitgestoten gasmasa in de magnetosfeer van de aarde. Het binnendringen van het zonneplasma in de magnetosfeer veroorzaakt storende elektrische stromen in de ionosfeer, vooral boven de poolgebieden. Magnetogrammen van het magnetisch station te Witteveen (Veldkamp, 1974).

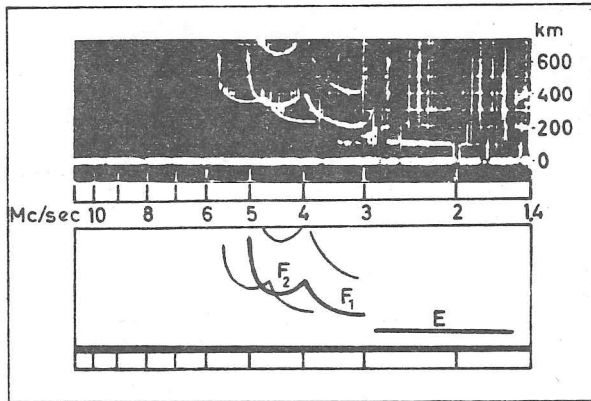
oogpunt. Op sommige dagen is het magneetveld rustig, op andere gestoord; de onrust van het aardmagnetisme is nauw gecorreleerd met het verschijnen van de zonnevlekken. De storingen zijn op hoge breedte veel sterker dan op lagere breedten; voor de bestudering is een mondiale verzameling van gegevens nodig. Reeds M. Snellen (een K.N.M.I.-functionaris) hield zich in opdracht van de "Commission Internationale de Magnétisme Terrestre" van de "Union Géodésique et Géophysique Internationale" (U.G.G.I.) bezig met het verzamelen van karaktergetallen (0 = ongestoorde dag, 1 = matig gestoord, 2 = sterk gestoorde dag) van een 40-tal aardmagnetische observatoria over de gehele wereld, en bepaalde hieruit een internationale storingsindex C. Na zijn dood in 1907 werd zijn werk voortgezet door G. van Dijk, die kans zag de reeks, die oorspronkelijk was begonnen in 1906, in het verleden te verlengen tot 1890.

Omdat de storingsindex C geen kwantitatieve waarde had, besloot de Internationale Associatie voor Aardmagnetisme (I.A.G.A.) van de U.G.G.I. in 1939 over te gaan tot de invoering van een 3-uurs-amplitude index, om de gestoordheid van het geomagnetisme in een kwantitatieve maat uit te drukken. De kwantificering is nodig, wil men het verband bestuderen tussen de verschijnselen op de zon en in de hoogste luchtlagen, en de tijdelijke onrust van het aardse magneetveld. Het is nu mogelijk deze verbanden gedurende een lange reeks van jaren te overzien.

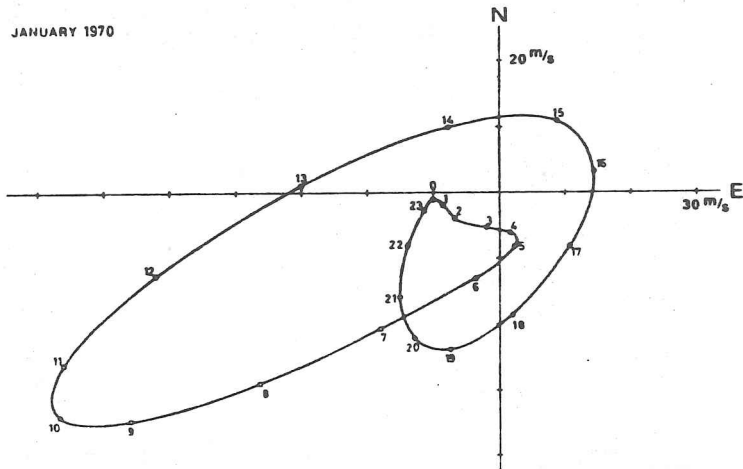
In 1948 werd, op de eerste U.G.G.I.-conferentie na de oorlog, het K.N.M.I. opnieuw aangewezen als internationaal centrum voor de karakterisering van aardmagnetische storingen en werd het bewerken van de karaktergetallen en bijzondere storingsverschijnselen van het aardmagnetisme ("sudden commencements of magnetic storms" en "solar flare effects") aan Veldkamp opgedragen. In een ononderbroken reeks van jaarlijkse I.A.G.A.-Bulletins werden deze geomagnetische data, van 1947 tot heden, op het K.N.M.I. bewerkt en gepubliceerd (I.A.G.A., 1949-1968). Van 1969 af werd de bewerking en redactie van de "Geomagnetic Data" door D. van Sabben verzorgd (I.A.G.A., 1969-heden).

J. Veldkamp (1960) en J.G.J. Scholte (1960) bestudeerden speciale storingen van het aardmagnetisme, zoals "giant pulsations"; dit zijn harmonische trillingen van het aardmagneetveld die worden toegeschreven aan magneto-ionische storingen die langs de krachtlijnen van het magneetveld tussen het noordelijk en het zuidelijk halfrond heen en weer lopen. Zij schreven ook enkele artikelen over "solar flare effects"; dit zijn storingen van het aardmagnetisme, die worden veroorzaakt door uitbarstingen van ultraviolet licht op de zon (Veldkamp and Scholte, 1954). De elektrische spanningen en stromen in de aarde die door inductie gekoppeld zijn aan de magnetische variaties, werden bestudeerd aan de hand van de registreringen in het Magnetisch Station te Witteveen. Gezien de zeer grote golflengte van de aardmagnetische storingen werd een theorie ontwikkeld voor de inductie van geomagnetische en geo-electrische velden in een bolvormige aarde (Scholte and Veldkamp, 1955).

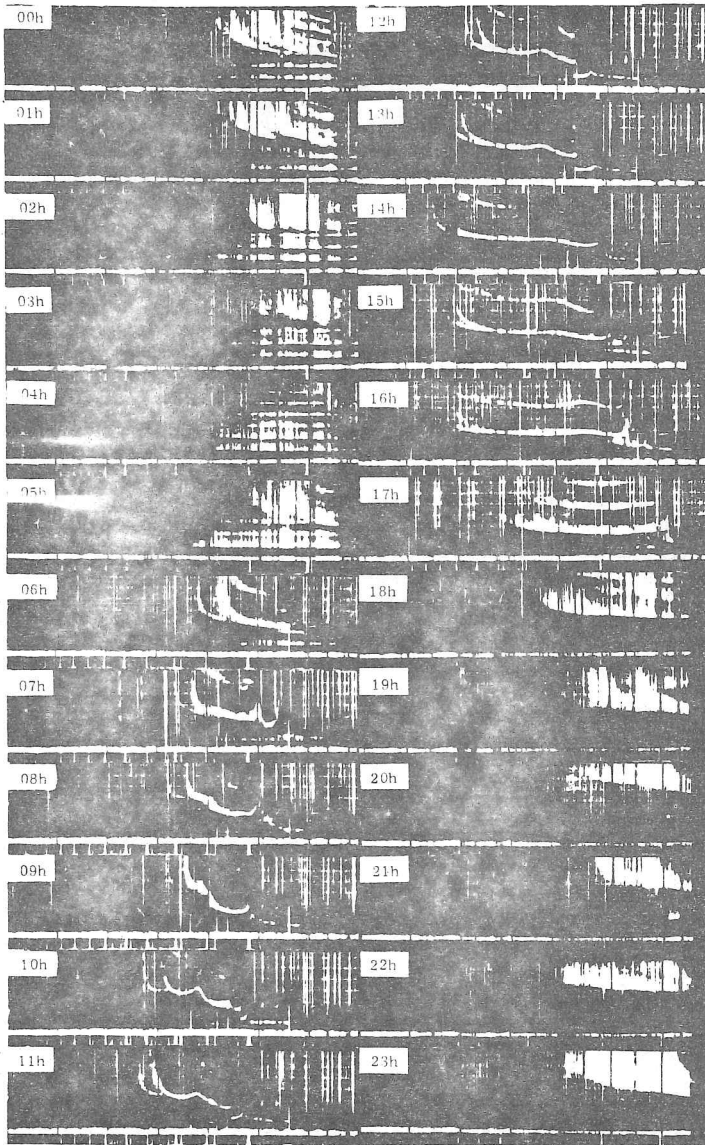
Met D. van Sabben heeft Veldkamp (1959) de vorm van een "solar



Peiling van de ionosfeer door reflectie van radiogolven van variabele frekwentie. Overdag zijn drie lagen aanwezig: de E-laag of Heaviside-laag, en daarboven de F1-laag en de F2-laag (of Appleton-laag). De frekwentie van de weerkaatste radiosignalen is een maat voor de ionisatietoestand in de ionosfeer. De magnetische dubbele breking van de radiogolven in de ionosfeer is te zien in de herhaling van de F1- en F2-reflecties bij hogere frekwenties. Ionogram van het K.N.M.I. (volgens Veldkamp, 1974; zie ook: Veldkamp en Scholte, 1954a).



Vectordiagram van de wind in de E-laag van de ionosfeer boven De Bilt (gemiddelde dagelijkse gang in januari 1970). Een lijn vanuit de oorsprong naar het punt voor een bepaald uur geeft de windvector voor dat tijdstip. Duidelijk is te zien dat de windvector in de E-laag tweemaal per etmaal ronddraait. Bovendien is er de gehele dag een zuidwest-gerichte "prevailing wind" (volgens Vesseur, 1977).



Veranderingen van de ionosfeer boven De Bilt, gedurende een etmaal. De E-, F1- en F2-lagen worden na zonsopkomst gevormd door de zonnestraling. De ionisatie is in de namiddag maximaal; dit blijkt uit de lange echosporen. Des nachts blijft betrekkelijk weinig ionisatie over. Ionogrammen van het K.N.M.I. (volgens Veldkamp, 1974).

flare effect" onderzocht, en daaruit geconcludeerd dat de elektrische stromen die het s.f.e. veroorzaken in de D-laag van de ionosfeer moeten vloeien (op een hoogte van 80 tot 100 km).

Van Sabben (1961) heeft zich toegelegd op het berekenen van stroomsystemen in de ionosfeer en in de magnetosfeer, die verantwoordelijk zijn voor de tijdelijke variaties van het aardmagnetisme. In de eerste plaats werden de stroomsystemen onderzocht die samenhangen met de kort durende geomagnetische storingen die het gevolg zijn van zonnevlammen. Ook werd de invloed van niet-periodieke winden in de ionosfeer nagegaan (van Sabben, 1962). Vervolgens werden de storende elektrische stromen vergeleken met de op dezelfde tijd aanwezige stroomsystemen die de normale dagelijkse variatie kunnen verklaren (van Sabben, 1968). Omdat bleek dat deze laatste stroomkringen asymmetrisch waren (1966), heeft van Sabben de stroomsystemen berekend die via de magnetosfeer moeten lopen, als gevolg van de asymmetrie tussen de stroomsystemen op het noordelijk en het zuidelijk halfrond (van Sabben, 1969 en 1970).

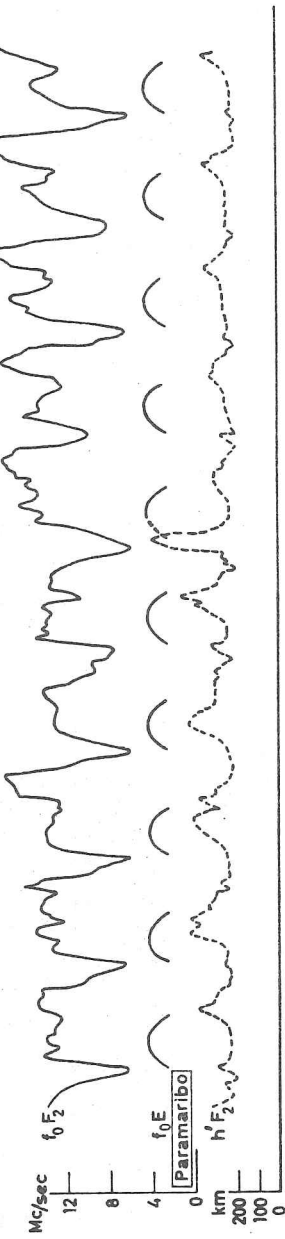
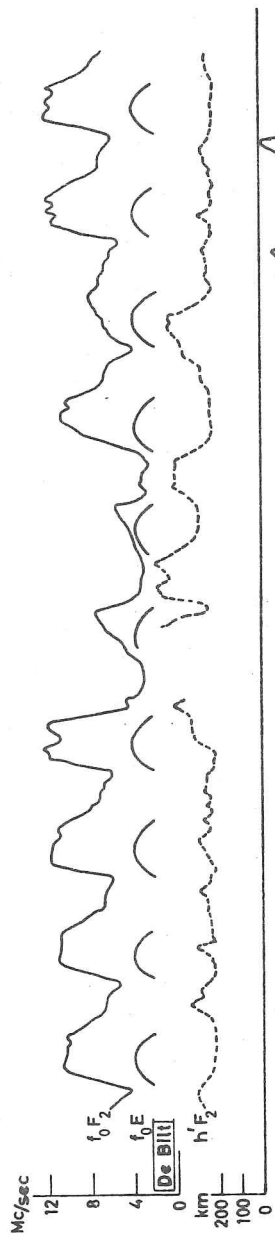
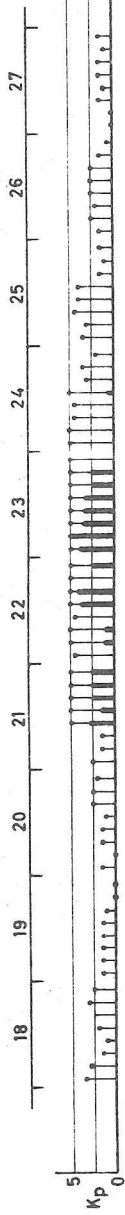
3. Aardmagnetisme en ionosfeer

De snelle tijdelijke veranderingen van het aardmagnetisme, zowel de regelmatige als de onregelmatige, worden veroorzaakt door elektrische stromen in de ionosfeer. Het onderzoek van het magneetveld van de aarde kan daarom niet worden losgemaakt van de studie der hoogste luchtlagen. Aan de andere kant worden de eigenschappen van de ionosfeer voor een belangrijk deel bepaald door de aanwezigheid van het aardmagneetveld in de ionosferische lagen.

Veldkamp, die in 1945 directeur was geworden van de geofysische afdeling van het K.N.M.I., was van mening dat de bestudering van de hoogste luchtlagen op de weg van het K.N.M.I. lag, even goed als de continue bewaking van de troposfeer en de stratosfeer. Met H.J. Groenewold begon hij in 1949 een regelmatig ionosfeeronderzoek, met behulp van een van het "Institut für Ionosphärenforschung" te Lindau (Duitsland) afkomstige zend- en ontvanginstallatie. Na enkele jaren werd een nieuwe apparatuur (met veel minder mechanisch bewegende onderdelen, dus betrouwbaarder) gebouwd door H.J.A. Vesseur (1977). Door deze "ionosfeerpeiler" werd en wordt nog steeds dag en nacht op ieder half uur door middel van gereflecteerde radiogolven de structuur en de ionisatietoestand van de ionosfeer geregistreerd. De ionosfeer gedraagt zich daarbij als een spiegel die de radiosignalen weerkaatst. Er blijken in de ionosfeer boven Nederland overdag in het algemeen drie lagen aanwezig te zijn (E, F1 en F2) op hoogten van resp. 110 km, 200 km en 300 km. Deze lagen ondergaan regelmatige veranderingen in de loop van dag en nacht, en ook onregelmatige variaties als gevolg van de activiteit van de zon.

Het doel van de peilingen is een continue bewaking van de hoogste luchtlagen. De gegevens die de ionosfeer ons verstrekt zijn deels van zuiver wetenschappelijk belang. Veldkamp en Scholte (1954) hebben zich bezig gehouden met de magnetische dubbele breking van electromagnetische

18 1/m 27 September 1957



Het gedrag van de ionosfeer boven De Bilt en boven Paramaribo. Tijdens een magnetische storm (21 tot 24 september 1957, gekenmerkt door grote waarden van de storingsindex Kp) daalt de ionisatie in de F2-laag tot zeer lage waarden (de maximale ionisatie is evenredig met het kwadraat van de grensfrequentie foF2 van de gereflecteerde radiogolven). Door de verlaagde ionisatie wordt het radioverkeer via de F2-laag sterk gestoord. De ionosfeerstoring is boven De Bilt veel sterker dan boven Paramaribo, omdat Nederland op veel hogere magnetische breedte ligt dan Suriname.

golven in de ionosfeer. H.J.A. Vesseur (1970) heeft uit het fading-patroon van in de ionosfeer teruggekaatste radiogolven de ritmische windbewegingen in de hoogste luchtlagen kunnen afleiden, die verantwoordelijk zijn voor de dagelijkse variatie van het aardmagnetisme. Door middel van een automatisch werkende apparatuur worden de windbewegingen in de E-laag vrijwel continu waargenomen. Reeds konden gedurende een aantal jaren de 24-uurs- en de 12-uurs-periode van de getijbewegingen in de E-laag boven Nederland worden bepaald (Vesseur, 1972). Een dergelijke apparatuur werd ook in Paramaribo opgesteld; deze heeft gewerkt van januari 1971 tot september 1972.

H. Kelder bestudeerde de invloed die inwendige zwaartekrachtgolven hebben op de ionendichtheid in de E-laag (1975). De getijbewegingen worden nl. sterk gestoord door zwaartekrachtgolven; dit zijn akoestische golven met zeer grote golflengte, die door de ionosfeer en door de thermosfeer lopen (Kelder, 1976).

De tijdelijke storingen van het geomagnetisme, die te danken zijn aan het binnendringen in de buitenste lagen van de dampkring van "gestoorde" zonnestraling - zowel van corpusculaire als van electro-magnetische aard - hebben gevolgen voor het reflecterend vermogen van de ionosfeer. Daardoor is het onderzoek van de ionosfeer ook van praktisch belang voor de radioverbindingen die via de ionosfeer plaats hebben (Vesseur, 1974). De resultaten worden iedere maand door het K.N.M.I. gepubliceerd in een "Ionosferisch Bulletin". Hierin worden behalve de hoogten en de grensfrequenties van de ionosferische lagen en de factoren waaruit men de radiofrequenties kan berekenen voor het overbruggen van een bepaalde afstand, de aardmagnetische en ionosferische storingsindices gegeven; en ook de storingen in de intensiteit van de kosmische straling, de intensiteit van de radiostraling van de zon, en overzichten van bijzondere verschijnselen in de zonnestraling (K.N.M.I., 1949-heden).

De maandelijks publicatie door het K.N.M.I. van het "Ionosferisch Bulletin" getuigt van de nauwe samenhang die er bestaat tussen de ionosfeer, het aardmagnetisme, de kosmische straling en de verschijnselen op de zon, een samenhang die waarlijk kosmisch kan worden genoemd.

4. Geomagnetisch onderzoek in Nederlands Oost-Indië

Toen de beroemde natuuronderzoeker Alexander von Humboldt op zijn reis door Zuid-Amerika had ontdekt dat de intensiteit van het aardmagnetisme variabel is en onder meer sterk afhangt van de geografische breedte, trachtte hij overal belangstelling te wekken voor geomagnetische observaties (hij beschouwde de breedte-afhankelijkheid van het aardmagnetisme als het belangrijkste resultaat van zijn reis door Noord- en Zuid-Amerika). Bij gelegenheid van een toevallige ontmoeting in Berlijn (in 1856) wist hij de toenmalige Gouverneur-Generaal van Nederlands-Indië te overtuigen van het belang van magnetische en meteorologische waarnemingen. Het gevolg van dit gesprek was dat de

Minister van Koloniën zich voor raad wendde tot de Hoofddirecteur van het K.N.M.I. (Buys Ballot), die een gunstig advies voor de stichting van een observatorium te Batavia uitbracht. Ook beval hij een geschikte waarnemer aan, P.A. Bergsma, die in 1862 naar Batavia vertrok en na enkele jaren de eerste directeur werd van het Koninklijk Magnetisch en Meteorologisch Observatorium te Batavia (zie: van der Lith en Snelleman, 1919). In de volgorde Magnetisch/Meteorologisch is waarschijnlijk de invloed van Von Humboldt terug te vinden!

In 1866 was het observatorium van Bergsma volop in bedrijf (in een gehuurd landhuis, zuid van Batavia). Een lange serie lijvige Jaarboeken getuigt van een intensief en veelzijdig onderzoek, vooral op meteorologisch gebied (zie bijv. K.M.M.O., 1871). Wat het aardmagnetisme betreft, werd van het begin af op ieder uur de declinatie van de magneetnaald afgelezen, en ook enkele malen per dag de inclinatie en de sterkte van de horizontale component van het aardmagneetveld. In 1883 werden variometers met fotografische registrering in gebruik genomen.

Evenals in Nederland moesten de magnetische registreringen in Nederlands-Indië enkele malen worden verplaatst vanwege storingen. Reeds in 1899 maakte de komst van de elektrische tram in Batavia de verplaatsing van het magnetisch station van Batavia naar Buitenzorg nodig. Enkele decennia lang konden de instrumenten daar ongestoord registreren. Maar omstreeks 1925 werd de spoorlijn Batavia-Buitenzorg geëlectrificeerd en kwamen de magnetometers opnieuw in moeilijkheden. De directie van het K.M.M.O. besloot tot een radicale verplaatsing nl. naar een eiland in de baai van Batavia. Eerst dacht men aan het eiland Onrust, maar toen het magnetisch klimaat daar te onrustig werd bevonden, viel de keus op het eilandje Kuyper. Daar werden de registraties en de metingen voortgezet tot de Japanse invasie (1942).

Na de oorlog werd met instrumentele hulp van het K.N.M.I. het magnetisch station op Kuyper opnieuw in orde gebracht. Helaas maakte een inbraak in het magnetisch paviljoen in 1949 het verder functioneren van de apparatuur onmogelijk; dit bleef zo tot de soevereiniteits-overdracht.

Van Rijckevorsel (1895), die tussen 1889 en 1892 magnetische metingen in Nederland uitvoerde, had vóór die tijd, tussen 1874 en 1877, een magnetische opneming van de Oost-Indische Archipel uitgevoerd. Op ongeveer 150 plaatsen op de eilanden van het toenmalig Nederlands Oost-Indië heeft hij metingen verricht van de declinatie, van de inclinatie en van de horizontale intensiteit van het aardmagnetisme. De publicatie van dit werk, met kaarten van de verschillende magnetische componenten, gereduceerd op 1-1-1876, werd door de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen verzorgd (van Rijckevorsel, 1879).

In de jaren 1903 tot 1907 heeft Van Bemmelen (1909) de magnetische opmeting van Nederlands-Indië herhaald. Op grond van de metingen die tussen 1900 en 1918 waren uitgevoerd, heeft hij een studie gemaakt van de seculaire variatie van het aardmagnetisme in de westelijke helft van de Oost-Indische Archipel (van Bemmelen, 1920). Het verschijnsel

van de seculaire variatie (dit is de geleidelijke verandering van het aardmagnetisme die zich in de loop der jaren voltrekt en die regionaal van karakter is) wekte speciale belangstelling. De snelheid van de veranderingen is zodanig, dat het moeilijk is deze aan tektonische veranderingen in de aardkorst toe te schrijven. Het herhalen van de magnetische metingen met tussenpozen van enkele jaren werd daarom een routine-aangelegenheid. Het werd in de jaren 1917 en daarna de gewoonte dat medewerkers van het Koninklijk Magnetisch en Meteorologisch Observatorium bij toerbeurt met de veldapparatuur een reis maakten om de magnetische metingen hier of daar te herhalen. De meetinstrumenten waarmee men op reis ging waren vrijwel niet verschillend van de apparatuur die van Rijckevorsel had gebruikt, nl. een magnetometer-theodoliet voor de metingen van de declinatie en de horizontale intensiteit, en een "dip-circle" of inclinatorium voor de inclinatiemetingen. Medewerkers van het K.M.M.O. die zich hebben ingezet voor de uitvoering van het meetprogramma, waren C. Braak, W. van Bemmelen, J. Voûte en S.W. Visser. Visser publiceerde op grond van deze metingen nieuwe isomagnetische kaarten van de gehele Archipel (1925).

5. Aardmagnetisch onderzoek buiten Nederland en Nederlands-Indië

Het aardmagnetisme is voor de zeevaarders altijd een belangrijk verschijnsel geweest. Vooral de declinatie van het kompas was uiteraad van groot belang. De stuurlieden verzuimden dan ook niet de miswijzingen van hun kompas te bepalen, wanneer en waar dit mogelijk was, en maakten daarvan aantekeningen in het scheepsjournaal.

W. van Bemmelen (1893) heeft voor zijn proefschrift een groot aantal scheepsjournalen van de Oost-Indische Compagnie bewerkt. Dit betreft 38 reizen tussen Nederland en Oost-Indië, waarbij ongeveer 1000 declinatie-bepalingen werden uitgevoerd. Het resultaat, aangevuld met werk van anderen, is door van Bemmelen vastgelegd in wereldkaarten met isogonen voor 1540, 1580, 1610, 1640, 1665 en 1680. De seculaire variatie van de declinatie (van 1500 tot 1850) werd door hem berekend en enkele jaren later gepubliceerd (van Bemmelen, 1897).

Enkele jaren na zijn Oost-Indische expeditie vertrok van Rijckevorsel met zijn meetinstrumenten naar Zuid-Amerika. Van 1880 tot 1885 werd het aardmagnetisme gemeten op 150 plaatsen in Brazilië. Ook het resultaat van dit onderzoek werd op kosten van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen uitgegeven. Het boek bevat kaarten van Zuid-Amerika met isogonen, isoclinen en isodynamen, voor de situatie op 1 januari 1883 (van Rijckevorsel en Engelenburg, 1980).

Gebruik makend van een aeromagnetische opname van Suriname, van 1959 tot 1963 uitgevoerd door Aero Service Corporation (Philadelphia, U.S.A.), heeft J.J.G.M. van Boeckel (die tijdens het Internationaal Geofysisch Jaar het magnetisch station te Paramaribo beheerde) voor zijn proefschrift (gedateerd 1968) een aantal sterke magnetische anomalieën in Noord-Suriname onderzocht en geïnterpreteerd, aan de hand van laboratoriumonderzoek van gesteentemonsters en ook in verband

met het zwaartekrachtveld. De sterke magnetische afwijkingen in bepaalde gebieden van Noord-Suriname kunnen in verband worden gebracht met de contactzone tussen granietmassa's en basische gesteenten, waarin magnetische mineralen (vooral magnetiet) worden opgehoopt. Op de eilanden Aruba, Bonaire en Curaçao heeft R.A. Lagaay het aardmagneetveld gemeten en in zijn proefschrift (1968) in kaart gebracht.

6. Aardmagnetisch onderzoek op zee

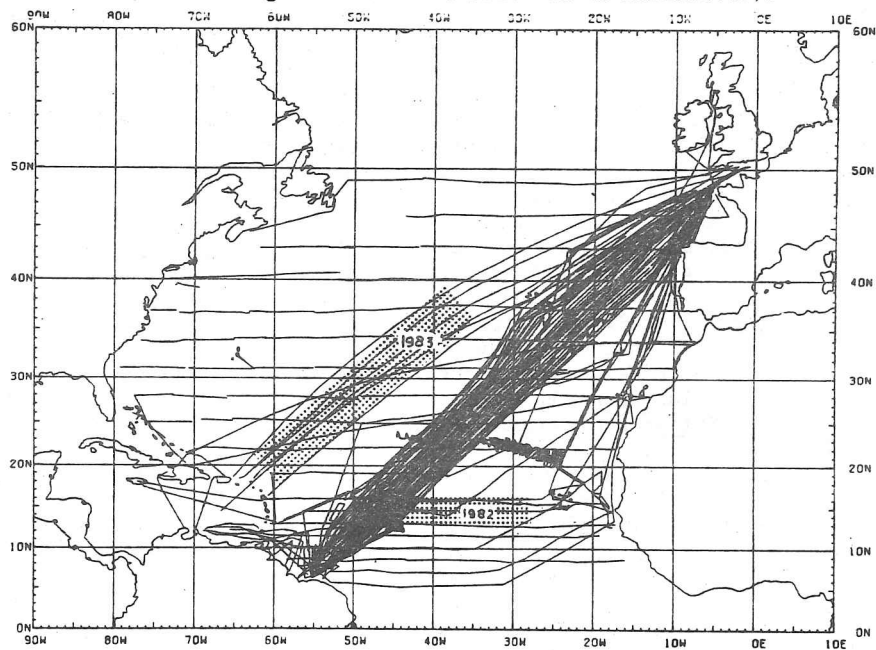
Naar aanleiding van de ontwikkeling op het K.N.M.I. van een protonmagnetometer die geschikt was gemaakt voor metingen op zee, zijn van Nederlandse zijde in de jaren 1966 en 1969 aardmagnetische metingen uitgevoerd op het continentale plat ten noorden van Suriname. Deze metingen vormden, in combinatie met metingen van de zwaartekracht, een uitbreiding van het onderzoek dat van Boeckel (1968) in het binnenland van Suriname had verricht.

De aardmagnetische metingen maakten deel uit van een multidisciplinair onderzoek, dat de codenaam O.C.P.S. (onderzoek continentaal plat van Suriname) kreeg. Het O.C.P.S. werd mogelijk gemaakt dankzij de gastvrijheid van de Hydrografische Dienst van de Koninklijke Nederlandse Marine, die het opnemingsvaartuig Hr. Ms. Snellius in 1966 en ook in 1969 voor een aantal weken beschikbaar stelde voor wetenschappelijk onderzoek. Behalve door het K.N.M.I. (voor het geomagnetisme) werd aan dit onderzoek deelgenomen door de afdeling Geodesie van de Technische Hogeschool te Delft (voor de gravimetrie), door het Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (N.I.O.Z.) op Texel (oceanografie), door de Landbouwhogeschool te Wageningen (sedimentologie) en door het Rijksmuseum van Natuurlijke Historie te Leiden (zoölogie). Coördinator van het onderzoek was Veldkamp. De metingen van het geomagnetische veld stonden onder leiding van Vesseur, die de protonmagnetometer had ontwikkeld. In 1966 werd de westelijke helft van het continentale plateau ten noorden van Suriname onderzocht, en in 1969 de oostelijke helft. De magnetische anomalieën die voor de dag kwamen, konden in verband worden gebracht met de storingen van het aardmagnetisme die door van Boeckel waren gevonden. De resultaten van het geomagnetische onderzoek op het continentale plat van Suriname werden gepubliceerd door Veldkamp en Vesseur (1967 en 1971).

Van 1955 af heeft B.J. Collette met medewerkers van het Vening Meinesz Laboratorium van de Rijksuniversiteit te Utrecht geofysisch werk uitgevoerd in de Noordzee en in de Atlantische Oceaan. Aanvankelijk werden vooral de zwaartekracht en de bodemtopografie bepaald, maar daarna ook de structuur van de sedimentbedekking op de zeebodem, en het geomagnetische veld. De structuurbepalingen van de werkgroep mariene geofysica worden in het hoofdstuk Seismologisch Onderzoek behandeld, en de zwaartekrachtmetingen in het desbetreffende hoofdstuk. Hieronder volgt een samenvatting van het geomagnetische onderzoek; het heeft geleid tot een serie publicaties en tot enkele proefschriften.



Het oceanografisch onderzoeksvaartuig Hr. Ms. Snellius (foto afge-
staan door de afdeling Maritieme Historie van de Marinestaf).



Gebied van onderzoek in de Atlantische Oceaan met de routes waarlangs
geofysische metingen werden verricht door de afdeling Mariene Geofy-
sica van het Vening Meinesz Laboratorium van de R.U. te Utrecht.

In de jaren 1964 en 1965 werd door de Marines van Engeland en Nederland, in een samenwerking met het U.S. Naval Research Laboratory, een uitgebreid oceanografisch onderzoek van de Atlantische Oceaan uitgevoerd, onder de naam van N.A.V.A.D.O.-project (North Atlantic Vidal and Dalrymple Oceanography). Op verzoek van het organiserend comité nam Nederland aan de derde fase van dit project deel door de inzet van Hr. Ms. Snellius. Tienmaal voer de Snellius over de Noord-Atlantische Oceaan, en maakte metingen mogelijk in een gebied tussen 22°N.B. en 49°N.B. Daarbij verzorgden Collette en zijn medewerkers (R.A. Lagaay, A.P. van Lennep, K.W. Rutten, J.A. Schouten, R.D. Schuiling, F.W. Warnaars en C.H. van der Weijden) de geomagnetische metingen, gebruik makend van de protonmagnetometer van het K.N.M.I. De zwaartekrachtmetingen werden uitgevoerd door G.L. Strang van Hees en T.J. Poelstra (T.H. te Delft). De registraties van de bathymetrie, het geomagnetische veld en de zwaartekracht werden gepubliceerd door het Hydrografisch Bureau van de Koninklijke Nederlandse Marine (Anonymous, 1967).

Tijdens de oversteken tussen Europa en Amerika hebben Collette en medewerkers ook getracht op enkele punten de warmtestroom in de zeebodem te meten. Deze metingen zijn niet volledig gelukt (Collette et al., 1968).

Na het N.A.V.A.D.O.-project kwam het Kroonvlag-project (1969-1979). Dit project beoogde het uitvoeren van geofysische metingen aan boord van vrachtschepen van de K.N.S.M. (Koninklijke Nederlandse Stoomboot Maatschappij) en de S.M.S. (Scheepvaart Maatschappij Suriname). De naam Kroonvlag werd ontleend aan de vlag waaronder deze schepen voeren. Meer dan 50 maal voer een groep mariene geofysici van het Vening Meinesz Laboratorium over de Noord-Atlantische Oceaan, en legde een dicht net van metingen over het oceaangebied tussen 6°N.B. en 37°N.B. Daarbij werden de topografie en de structuur van de oceaانبodem en ook de sterkte van het aardmagnetisme bepaald. Het resultaat van de magnetische metingen is te vinden in een publicatie van Collette et al. (1974). De volgende medewerkers van Collette hebben hieraan meegewerkt: K.W. Rutten, J.A. Schouten, A.P. Slootweg en W. Twigt.

Schouten ontwikkelde in zijn proefschrift (1970) een fundamentele methode voor het analyseren van magnetische anomalieën boven oceanische ruggen. Deze methode werd onder meer toegepast op de magnetische anomalieën in de Atlantische Oceaan en in de Golf van Biskaje (Schouten et al., 1971). Rutten analyseerde in zijn proefschrift (1975) de anomalieën bij IJsland.

Een van de resultaten van het Kroonvlag-project was een gedetailleerde opname van de Midden-Atlantische Rug, speciaal van de breukzones en van de centrale riftzone. Collette (1974) verklaart de breuken in de oceaانبodem als krimpstreken in de afkoelende oceanische aardkorst.

In 1977 begon een nieuw tijdperk voor de oceanografie in Nederland, door de in gebruik neming van het onderzoekingsvaartuig Hr.Ms. Tydeman. Dit schip, speciaal gebouwd voor oceanografisch onderzoek in de ruimste zin van het woord, maakte een nieuwe opzet van de Nederlandse mariene geofysica mogelijk.

Naast Hr.Ms. Tydeman werden door de werkgroep mariene geofysica echter ook gecharterde vrachtschepen gebruikt. In 1975 werd met het ms. Aegeon Express onderzoek verricht op de Midden-Atlantische Rug, en in 1977, 1978 en 1979 met het ms. Tyro eveneens op de Midden-Atlantische Rug en in de bekkens ten oosten daarvan. Het eerste resultaat van de geofysische metingen aan boord van de Tydeman werd vastgelegd in een publicatie van Twigt, Collette en Slootweg (1979).

Het ligt in de bedoeling van de werkgroep mariene geofysica in de naaste toekomst onder meer de zeebodemspreiding nader te bestuderen door de magnetische anomalieën en de zwaartekracht op de Midden-Atlantische Rug te onderzoeken. Dit zal meer informatie kunnen geven over de bewegingen van de continenten aan weerszijden van de Atlantische Oceaan.

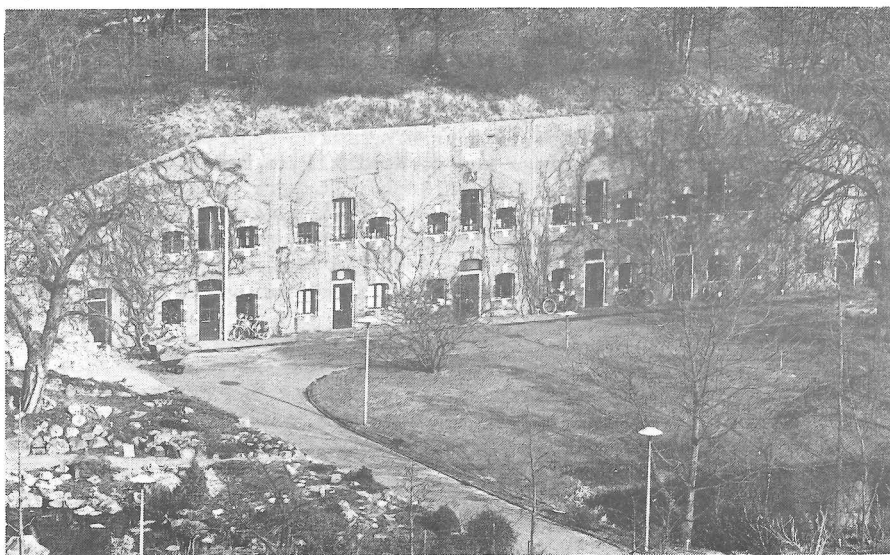
7. Paleomagnetisch onderzoek

De belangstelling van de Nederlandse geologen en geofysici voor de magnetische eigenschappen van de gesteenten (en speciaal voor het paleomagnetisme, d.i. het fossiele remanente gesteentemagnetisme) werd gewekt in de tijd toen een Utrechtse student in de geologie, J. Hospers, omstreeks 1950 op IJsland Tertiaire basaltlagen aantrof, die een natuurlijke remanente magnetisatie vertoonden, waarvan de richting tegengesteld was aan de tegenwoordige richting van het aardmagnetisme. Hospers had zijn basaltmonsters verzameld mede op verzoek van W. Nieuwenkamp, hoogleraar in de petrologie te Utrecht, die vermoedde dat het verschijnsel van een omgekeerde magnetisatie van basalten, dat in 1906 door J. Brunhes in Frankrijk was ontdekt, mogelijk ook in de IJslandse basalten voor de dag zou komen. Omdat in die tijd in Nederland nog geen geschikte meetapparatuur aanwezig was, onderzocht Hospers zijn gesteenten in het Geologisch Laboratorium van de Universiteit te Cambridge, en voltooide daar zijn proefschrift. Zijn onderzoek werd gepubliceerd in de Proceedings van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (Hospers, 1953 en 1954). Hospers concludeerde dat het aardmagneetveld tijdens het Tertiair herhaaldelijk van polariteit moet zijn veranderd, d.w.z. dat de magnetische polen hun posities enkele malen hebben verwisseld. Ook vond hij dat, althans tijdens het Mioceen, de magnetische pool gemiddeld genomen vrijwel met de geografische pool samenviel.

Het resultaat van Hospers'onderzoek had tot gevolg dat, mede op aandrang van de Utrechtse hoogleraar in de algemene geologie M.G. Rutten, in 1955 een begin werd gemaakt met het onderzoek van het magnetisme van de gesteenten, onder leiding van Veldkamp die van 1955 tot 1974 hoogleraar was in de geofysica te Utrecht. Omdat Veldkamp tevens directeur was van de geofysische afdeling van het K.N.M.I. (van 1945 tot 1972), werd in de eerste jaren het onderzoek uitgevoerd in het seismografisch paviljoen van het K.N.M.I. De instrumenten en meetmethoden werden ontwikkeld door J.A. As (K.N.M.I.) en J.D.A. Zijdeveld (R.U. te Utrecht), en de eerste resultaten kwamen daar voor de dag.



Het oceanografisch onderzoeksvaartuig Hr. Ms. Tydeman (foto afge-
staan door de Audio-visuele Dienst van de Kon. Ned. Marine).



Het Paleomagnetisch Laboratorium van de Rijksuniversiteit te Utrecht
(voormalig Fort Hoofddijk). Foto C.G. Langereis.

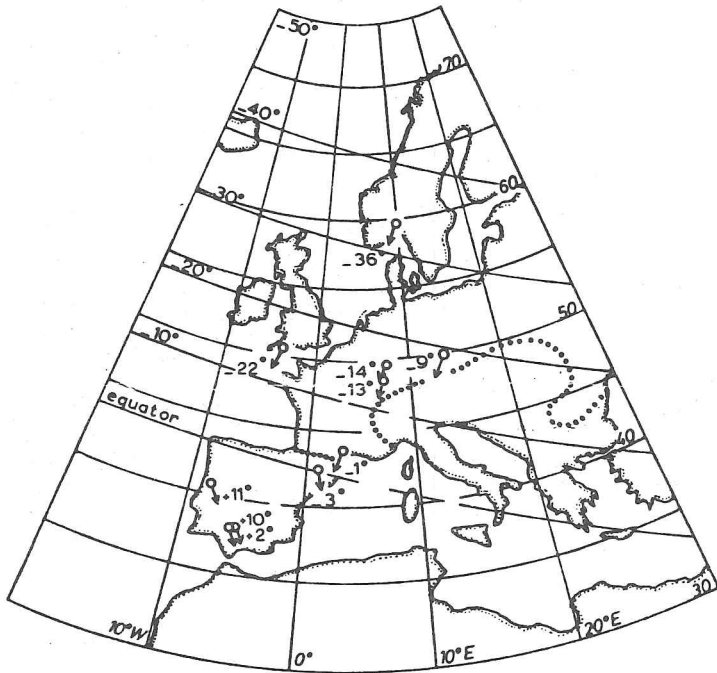
Dit werd een zeer vruchtbare ontwikkeling in de samenwerking tussen geofysici en geologen van de Utrechtse Universiteit. Enerzijds kon de geoloog zorgen voor gesteentemonsters waarvan de oriëntatie in situ werd vastgelegd, terwijl aan de andere kant de geofysicus de richting en de sterkte van de magnetische componenten in het gesteentemonster kon meten. Dit maakte het in gunstige gevallen mogelijk de richting van het lokale magneetveld ten tijde van de vorming van het gesteente te bepalen, waaruit conclusies over de vroegere posities van continenten of van continentdelen konden worden getrokken. De samenwerking tussen geofysici en geologen heeft geresulteerd in een reeks van publicaties en dissertaties, die aan de Utrechtse Universiteit tot stand kwamen. In totaal werden onder supervisie van Rutten, van Bemmelen, Veldkamp en Zijderveld niet minder dan 18 proefschriften en verder nog een aantal artikelen geproduceerd, waarvan de inhoud geheel of voor een belangrijk deel berustte op de studie van het paleomagnetisme.

As (1960) ontwikkelde de apparatuur die voor de metingen van het gesteentemagnetisme noodzakelijk was. Deze apparatuur, bestaande uit astatische magnetometers en wisselveld-demagnetisatie-apparaten, werd op het K.N.M.I. gebouwd en opgesteld in het seismografisch paviljoen aldaar. As en Zijderveld (1958) werkten methoden uit voor de analyse van het gesteentemagnetisme, zowel door middel van verhitting alsook door stapsgewijze demagnetisatie in wisselende magneetvelden. Toepassing van deze methoden maakte het mogelijk het fossiele magnetisme in een gesteentemonster te scheiden van recente magnetisaties (Zijderveld, 1967).

In 1963 werden de magnetometers en de demagnetisatie-apparaten overgebracht naar het voormalige Fort Hoofddijk, dat door de Utrechtse Universiteit speciaal was verbouwd ten behoeve van de magnetische metingen. Onder leiding van Zijderveld werd het onderzoek van het gesteentemagnetisme daar voortgezet. Het Paleomagnetisch Laboratorium bevat thans, behalve de reeds genoemde astatische magnetometers en de demagnetisatie-apparatuur, een spinnermagnetometer, een cryogene magnetometer, een magnetometer voor metingen bij lage en hoge temperaturen, en een electromagneet voor het onderzoek van de in het gesteentemonster aanwezige magnetische mineralen, alsook een zeer gevoelige meetbrug voor het meten van de magnetische susceptibiliteit van de gesteenten. As ontwikkelde een methode voor het bepalen van de susceptibiliteitstensor door middel van de astatische magnetometer (As, 1967).

Hieronder volgt een overzicht van het paleomagnetisch onderzoek dat aan de Utrechtse Universiteit tot stand kwam.

a. Het paleomagnetisch onderzoek was aanvankelijk gericht op enkele gebieden in het stabiele niet-alpine deel van Europa, waar Rutten het initiatief nam tot diverse gecombineerde geologisch-paleomagnetische studies. J.C. den Boer (1957) bestudeerde Tertiaire basalten uit de Coiron (Ardèche) en gebruikte in zijn proefschrift het paleomagnetisme als hulpmiddel bij de correlatie van lavastromen. G.P. Kruseman (1961) onderzocht Permische sedimenten en Tertiaire basalten, eveneens uit Zuid-Frankrijk. R.O. van Everdingen (1960) onderzocht voor zijn proef-



Magnetische declinaties en inclinaties in Europa tijdens het Perm. Het aardmagnetisme had in die tijd een zuidwaartse richting, dus tegengesteld aan de tegenwoordige. De stippellijn is de grens van Stabiël-Europa. Ten noorden van deze lijn is er een redelijke overeenstemming en samenhang tussen de declinaties en inclinaties van Permische gesteenten in verschillende landen. Echter zijn de declinaties in Spanje en Portugal sterk afwijkend, maar na een draaiing van 35° rechtsof passen de fossiele magnetische richtingen in Spanje en Portugal goed bij die in Stabiël-Europa. Dit wijst op een anti-klokgewijze rotatie van het Iberische Schiereiland sedert het Perm. Volgens Van der Voo en Zijderfeld, 1969; zie ook: Zijderfeld en Van der Voo, 1973.

schrift Permische vulkanieten uit Noorwegen, en Zijderveld (1967, 1975) bestudeerde gesteenten uit Zuid-Frankrijk (Esterel) en ook uit Zuid-Engeland (Exeter); dit alles voor het bepalen van de ligging van de magnetische pool ten opzichte van Europa tijdens het Perm.

b. Een aantal structureel-geologische promotie-onderzoeken in de Zuid-Alpen onder leiding van R.W. van Bemmelen werd ook uitgebreid met een paleomagnetische studie onder verantwoordelijkheid van Veldkamp, nl. van D. van Hilten (1960), G.F.L. Dietzel (1960), J. de Boer (1963) en R. Guicherit (1964). Hierbij kwam een Permische magnetisatie voor de dag die afweek van de richting in Stabiel-Europa, en die beter paste bij Afrika. Van Hilten en Zijderveld (1966) wijdden aan deze kwestie een speciale studie. Van Hilten introduceerde een nieuwe methode om paleomagnetische gegevens voor een bepaald tijdperk in beeld te brengen, nl. door de presentatie van isoclinen (1962). Hij paste deze methode toe bij een poging tot reconstructie van de ligging der continenten sedert het Carboon (van Hilten, 1964). Ook gaf hij een beschouwing over een mogelijke expansie van de aardbol, gegrond op paleomagnetische gegevens (van Hilten, 1968).

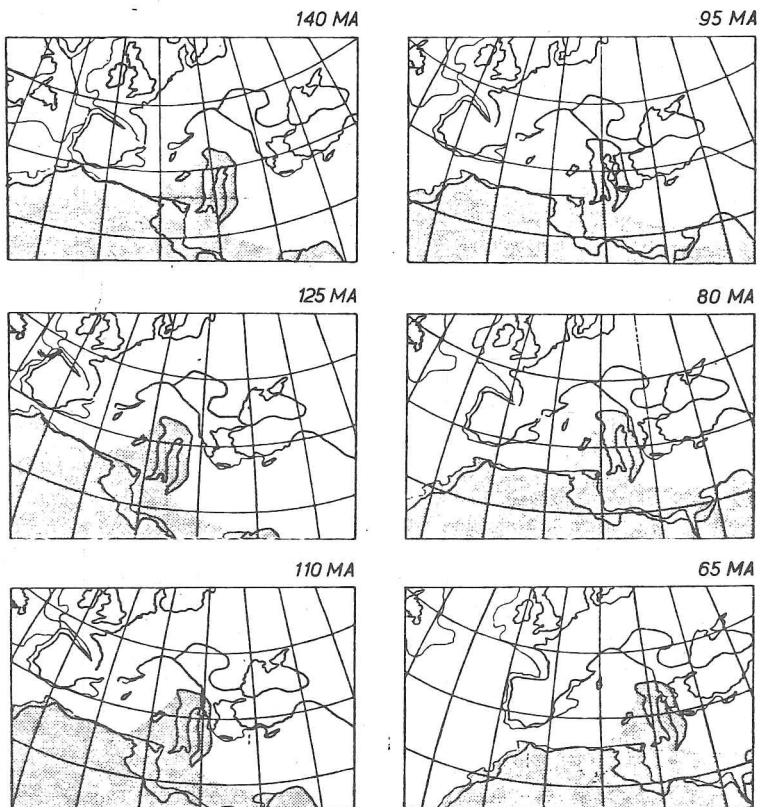
c. Op IJsland onderzocht H. Wensink (1964a en 1964b) de magnetische stratigrafie van Tertiaire en Kwartaire basalten en tillieten, en ook de seculaire variatie van het aardmagnetisme tijdens het Plio-Pleistoceen.

d. Onderzoek van Permo-Triadische gesteenten in de Pyreneeën leverde magnetische richtingen op die afwijken van de waarden in Stabiel-Europa. Dit werd door E.J. Schwarz (1963) opgemerkt en door P.G. van Dongen (1967) bevestigd. R. van der Voo (1969) bestudeerde voor zijn proefschrift het paleomagnetisme van gesteenten in Spanje en Portugal, en concludeerde hieruit dat het Iberische Schiereiland sedert het Perm een aanzienlijke rotatie moet hebben ondergaan, hetgeen zou hebben geleid tot het ontstaan van de Golf van Biskaje.

e. Uitbreiding van het paleomagnetisch onderzoek naar landen buiten Europa gaf aanleiding tot verdere publicaties. Gregor en Zijderveld (1964), van Dongen et al. (1967) en van der Voo (1968) onderzochten het magnetisme van gesteenten uit het Perm, Jura en Krijt in Turkije, Libanon en Syrië. De richting van de karakteristieke magnetisatie in deze gesteenten bleek afwijkend te zijn van die in Stabiel-Europa. De verschillen kunnen worden verklaard uit tektonische bewegingen in de Tethyszone.

f. Zijderveld (1968) maakte de reis mee van één der Belgisch-Nederlandse expedities naar Antarctica, en bestudeerde het magnetisme van monsters van het Sør Rondane gebergte met het oog op de positie van Antarctica tijdens het Vroeg-Paleozoïcum.

g. H. Wensink en C.T. Klootwijk verzamelden gesteenten in India voor een studie van de bewegingen van dit subcontinent, en van de positie daarvan ten opzichte van de andere Gondwana-continenten (1968 en 1971). Klootwijk zette dit onderzoek voort (1974 en 1975) en verwerkte de resultaten in een proefschrift (1974a). Sedert het Precambrium onderging India een draaiende beweging; tegelijk schoof dit subcontinent noordwaarts, met grote snelheid tijdens het Paleozoïcum (toen India



Mesozoïsche reconstructie van het westelijk deel van de Middellandse Zee (volgens Van den Berg, 1979). Het paleomagnetisme van de gesteenten leert dat het Middellandse Zeegebied sterke veranderingen onderging als gevolg van het langs elkaar schuiven van Zuid-Europa en Afrika. Tijdens het Laat-Krijt (tussen 95 en 65 miljoen jaren geleden) draaide het Iberische Schiereiland, waardoor de Golf van Biskaje ontstond. Italië was tot het Vroeg-Tertiair (65 miljoen jaren geleden) verbonden met het Afrikaanse continent, maar vooral na het Eoceen (50 miljoen jaren geleden) raakte Italië in een draaiende beweging los van Afrika.

met andere Gondwanacontinenten de zuidpool passeerde) en ook tijdens het Tertiair, toen India zich met Azië verenigde.

h. Om gegevens te krijgen over de onderlinge ligging van Zuid-Amerika en Afrika tijdens het Precambrium, verzamelden en bewerkten Veldkamp en medewerkers gesteentemonsters uit Suriname (1971).

i. Een geheel ander onderwerp werd door van der Voo en Klootwijk aangepakt (1972), nl. de anisotropie van de magnetische susceptibiliteit van een gesteente. In de graniet-extrusie van Flamanville (Normandië) bleek de anisotropie bepaald te zijn door de richting waarin de magnetische mineralen waren uitgekristalliseerd.

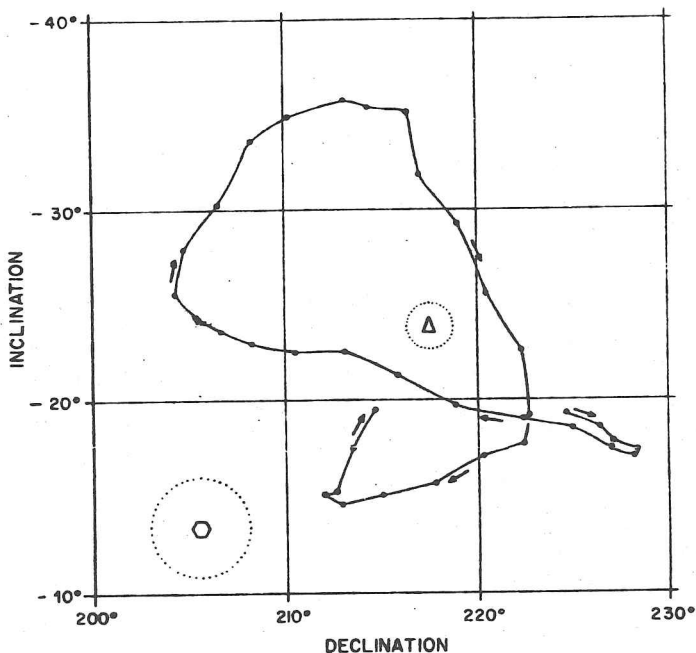
j. Voor het paleomagnetisch onderzoek in Europa is Scandinavië met zijn rijke verzameling van gesteenten uit allerlei geologische tijdperken een aantrekkelijk land. F.G. Mulder bestudeerde gesteenten uit Noorwegen en Zweden, en besprak in zijn proefschrift (1970) de posities en bewegingen van Fennoscandië tijdens het Paleozoïcum en het Precambrium. Het werk van Mulder werd voortgezet door R.P.E. Poorter (1976) die in zijn proefschrift de configuratie behandelde van de continenten op het noordelijk halfrond op verschillende momenten tijdens het Precambrium. Er heeft een heen en weer gaande beweging plaats gehad.

k. Zijdeveld zette met anderen het onderzoek in het Middellandse Zeegebied voort, dit met het oog op het vaststellen van de tektonische bewegingen in de Tethyszone. Een uitvoerig overzicht hiervan werd geschreven door van der Voo en Zijdeveld (1969). In het westelijk gedeelte van het Middellandse Zeegebied kunnen de afwijkende richtingen van het remanente magnetisme worden verklaard uit een verschuiving van Afrika oostwaarts ten opzichte van Europa (met een rotatie van Spanje, Sardinië en Corsica) of ook uit een samenhang met het Afrikaanse blok. Voorlopig bleef de keuze onbeslist. In een nog vollediger overzicht komen Zijdeveld en van der Voo (1973) tot de conclusie dat het Iberische Schiereiland, Sardinië, Corsica en Noord-Italië zijn gedraaid als gevolg van onderlinge verschuivingen tussen Europa en Afrika. In het oostelijk deel van de Middellandse Zee bewijzen de magnetische gegevens dat Turkije tijdens het Krijt bij het Afrikaanse blok behoorde, maar daarna losraakte. Verder onderzoek van J. van den Berg, C.T. Klootwijk en A.A.H. Wonders (1978), en van van den Berg en Wonders (1976) leidde tot de conclusie dat ook Italië tot aan het Vroeg-Tertiair verbonden is geweest met Afrika, maar dat na het Eoceen Italië is gedraaid ten opzichte van het Afrikaanse vasteland. Het proefschrift van van den Berg (1979) was gewijd aan de veranderingen in het westelijk deel van de Middellandse Zee, die volgens het paleomagnetisme hebben plaats gehad. Wat betreft Spanje is het aan R. van der Voo en A. Boessenkool (1973) gelukt de paleomagnetische grens tussen Iberië en Stabiel-Europa vast te stellen, alsmede de geologische tijdperken waarin de rotatie optrad, gevolgd door de noordwaartse verschuiving van het Iberische blok onder de vorming van de Pyreneeën.

l. De onderzoekingen van het paleomagnetisme in het Middellandse Zeegebied gaven aanleiding tot nog enkele specialistische dissertaties. A.A. Dijkstra onderzocht de magnetische polariteitswisselingen in een



Baan van de magnetische noordpool tijdens een polariteitswisseling van het aardmagnetisme, volgens Dijkstra (1977). De pool bewoog zich van het zuidelijk halfrond (posities 10 tot 15) naar noordelijke regionen, terwijl het dipoolmoment van het aardmagnetisme abnormaal klein werd. Na aankomst op het noordelijk halfrond (posities 17 tot 20) groeide de sterkte van het aardmagnetisme geleidelijk weer naar de normale waarde. De totale ompoling voltrok zich in de tijd van ongeveer 15000 jaren. Tijdens het Tertiair hebben ongeveer 100 polariteitswisselingen van de aardmagneet plaats gehad.



Seculaire variatie van het geomagnetische veld in de Permische "red beds" van de Dôme de Barrot (Zuid-Frankrijk). Volgens Van den Ende (1977). In een pakket van regelmatig afgezette sedimenten werd de fossiele magnetisatie zeer gedetailleerd gemeten. Daarbij bleek dat de magnetische richting veranderde overeenkomstig de getekende kromme. In de loop van enkele honderden jaren ondergingen de declinatie en de inclinatie tijdens de vorming van deze afzettingen quasi-periodieke veranderingen, die sprekend lijken op het gedrag van het aardmagnetisme in de laatste eeuwen in West-Europa. Dit wijst op werkingen in de aardkern, die zowel in het verre verleden evenals ook nu de seculaire variatie van het aardmagnetisme bepalen.

kolom van Miocene sedimenten in Spanje (1977). Het bleek mogelijk een beschrijving te geven van het gedrag van het aardmagnetisme tijdens sommige omkeringen van het aardveld. Het onderzoek van sedimenten in Zuid-Frankrijk door C. van den Ende (1977) gaf inlichtingen over de seculaire variatie van het aardmagnetisme tijdens het Perm. Ook werd de magnetische susceptibiliteit van de gesteenten onderzocht met het oog op een eventuele relatie tussen de anisotropie van de susceptibiliteit en de natuurlijke remanente magnetisatie. Tenslotte moet nog worden genoemd het proefschrift van P.H.M. Dankers (1978) dat handelt over het verband tussen de magnetische eigenschappen en de korrelgrootte van de magnetische mineralen, en over de invloed van de temperatuur daarop.

Amsterdam. Onder leiding van J. Hospers, die van 1965 tot 1975 hoogleraar in Amsterdam was, werden aan de Gemeentelijke Universiteit aldaar verschillende onderzoeken op paleomagnetisch gebied opgezet. J. Hospers en S.I. van Andel hebben getracht voor diverse geologische tijdperken de grootte van de aardstraal te berekenen uit paleomagnetische gegevens (1967 en 1968). De conclusie was dat volgens deze gegevens evengoed van een constante aardstraal kan worden gesproken als van een langzame uitzetting of van een geringe krimpung. In ieder geval kan het uiteengaan van de Pangea-continenten niet door een uitdijende aarde worden verklaard. Dit werk leidde tot de dissertatie van van Andel (1968). Door H.M. van Montfrans (eveneens van de Gemeentelijke Universiteit van Amsterdam) werden Kwartaire sedimenten uit het Noordzee-bekken onderzocht met het oog op de correlatie tussen de stratigrafische niveaus en de tijdschaal van de omkeringen van het aardmagnetisme. Het bleek mogelijk een aantal niveaus absoluut te dateren door middel van de polariteitswisselingen (1971).

Besluit. In dit hoofdstuk werden resultaten van Utrechts paleomagnetisch onderzoek besproken met betrekking tot Stabiel-Europa (a), de Zuid-Alpen (b), IJsland (c), de Pyreneeën (d), het Midden-Oosten (e), Antarctica (f), India (g), Suriname (h), Normandië (i), Scandinavië (j), het Middellandse Zeegebied (k) en nog enkele andere onderwerpen (l). Ook werd het onderzoek van Hospers en medewerkers te Amsterdam gememoreerd (dit werd in 1975 gestaakt in verband met de concentratie van de geologie en geofysica bij Utrecht).

Men mag verwachten dat het magnetische gedrag van de gesteenten en speciaal het onderzoek van het paleomagnetisme onder leiding van Zijderveld, die in 1981 tot bijzonder hoogleraar werd benoemd, ook in de toekomst belangrijke inlichtingen zal geven over de processen en de bewegingen in de aardkorst.

REFERENTIES BIJ HOOFDSTUK I

- Andel, S.I. van (1968) - A test of earth expansion hypotheses by means of paleomagnetic data. Proefschrift, Amsterdam.
- Anonymous (1967) - NAVADO III. Bathymetric, magnetic and gravity investigations, 1964-1965. Hydrographic Newsletter, Spec. Publ. Nr. 3, parts 1, 2 and 3, 1967.
- As, J.A. and J.D.A. Zijderveld (1958) - Magnetic cleaning in paleomagnetic research. Geophys. Journ., 1, 308-319.
- As, J.A. (1960) - Instruments and measuring methods in paleomagnetic research. Meded. en Verh. K.N.M.I., Nr. 78.
- As, J.A. (1967a) - Past, present and future changes in the earth's magnetic field. Magnetism and the Cosmos, 29-44, 1967, Oliver and Boyd, Edinburgh.
- As, J.A. (1967b) - Measurement of the anisotropy of the susceptibility. In: Methods in Paleomagnetic Research, 362-367, 1967, Elsevier, Amsterdam.
- As, J.A. (1973) - The compensation method for measuring the components of the earth's magnetic field. Zeitschr. für Geophysik, 39, 303-311, 1973.
- As, J.A. (1975) - World-wide belts in the earth's magnetic field. Progress in geodynamics, Proc. nat. symp. on geodynamics held in Amsterdam, North Holland Publ. Cy. Amsterdam, 1975.
- Bemmelen, W. van (1892) - Historisch overzicht van de aardmagnetische waarnemingen in Nederland. Jaarboek K.N.M.I., 1892, De Bilt.
- Bemmelen, W. van (1893) - De isogonen der 16e en 17e eeuw. Proefschrift, Leiden.
- Bemmelen, W. van (1897) - Werte der erdmagnetischen Deklination 1500-1700, und ihrer Säcular-Variation 1500-1850. Kon. Ned. Akad. Wet., Amsterdam.
- Bemmelen, W. van (1909) - Magnetic Survey of the Dutch East-Indies made in the years 1903-1907. Waarn. Kon. Magn. Met. Obs. Batavia, Vol. 30.
- Bemmelen, W. van (1920) - De seculaire veranderingen der aardmagnetische Declinatie, Inclinatie en Horizontale Intensiteit in de westelijke helft van den Oost-Indischen Archipel, 1905-1916/18. Nat. Tijdschr. Ned. Indië, 79, 202-204, 1920.
- Berg, J. van den, and A.A.H. Wonders (1976) - Paleomagnetic evidence of large fault displacements around the Po-basin. Tectonophysics, 33, 301-320.

- Berg, J. van den, C.T. Klootwijk and A.A.H. Wonders (1978) - Late Mesozoic and Cenozoic movements of the Italian Peninsula. Further paleomagnetic data from the Umbrian sequence. Geol. Soc. Amer. Bull., 89, 133-150.
- Berg, J. van den (1979) - Paleomagnetism and the changing configuration of the Western Mediterranean area in the Mesozoic and Cenozoic eras. Proefschrift, Utrecht.
- Boeckel, J.J.G.M. van (1968) - Gravitational and geomagnetic investigations in Surinam and their structural implications. Proefschrift, Amsterdam. Ook in: Mededelingen Geol. Mijnb. Dienst, 1968, Paramaribo, Suriname.
- Boer, J. de (1963) - The geology of the Vicentinian Alps (NE-Italy). Proefschrift, Utrecht.
- Boer, J.C. den (1957) - Etude géologique et paléomagnétique des montagnes du Coiron (Ardèche, France). Proefschrift, Utrecht.
- Collette, B.J., R.A. Lagaay, A.P. van Lennep, J.A. Schouten and R.D. Schuiling (1968) - Some heat-flow measurements in the North Atlantic Ocean. Proc. Kon. Ned. Akad. Wet., Series B, 71, 203-208, 1968.
- Collette, B.J., K.W. Rutten, J.A. Schouten and A.P. Slotweg (1974) - Continuous seismic and magnetic profiles over the Mid Atlantic Ridge between 12°N and 18°N. Marine Geophys. Res., 2, 133-141, 1974.
- Collette, B.J. (1974b) - Thermal contraction joints in a spreading sea-floor as origin of fracture zones. Nature, 251, 299-300, 1974.
- Dankers, P.H.M. (1978) - Magnetic properties of dispersed natural iron-oxides of known grain-size. Proefschrift, Utrecht.
- Dietzel, G.F.L. (1960) - Geology and Permian Paleomagnetism of the Merano region (Province of Bolzano, N.-Italy). Proefschrift, Utrecht.
- Dijksman, A.A. (1977) - Geomagnetic reversals as recorded in the Miocene red beds of the Calatayud-Teruel basin (Central Spain). Proefschrift, Utrecht.
- Dongen, P.G. van (1967) - The rotation of Spain: paleomagnetic evidence from the Eastern Pyrenees. Paleogeogr., Paleoclim., Paleoecol., 3, 417-432, 1967.
- Dongen, P.G. van, R. van der Voo and Th. Raven (1967) - Paleomagnetism and the Alpine tectonics of Eurasia (part 3). Paleomagnetic research in the Central Lebanon mountains and in the Tartous area (Syria). Tectonophysics, 4, 35-53, 1967.
- Everdingen, R.O. van (1960) - Paleomagnetic analysis of Permian extrusives in the Oslo region, Norway. Proefschrift, Utrecht.

- Ende, C. van den (1977) - Paleomagnetism of Permian red beds of the Dôme de Barrot (Southern France). Proefschrift, Utrecht.
- Gregor, C.B. and J.D.A. Zijdeveld (1964) - Paleomagnetism and the Alpine tectonics of Eurasia, part I. The magnetism of some Permian red sandstones from northwestern Turkey. *Tectonophysics*, 1, 289-306, 1964.
- Guicherit, R. (1964) - Gravity tectonics, gravity field, and paleomagnetism in NE-Italy. Proefschrift, Utrecht.
- Hartmann, Ph.C.P. (1945) - Aardmagnetische anomalieën in Nederland. Proefschrift, Utrecht.
- Hilten, D. van (1960) - Geology and Permian Paleomagnetism of the Val-di-Non area (W. Dolomites, N. Italy). Proefschrift, Utrecht.
- Hilten, D. van (1962) - Presentation of paleomagnetic data, polar wandering and continental drift. *Amer. Journ. Sc.*, Vol. 260, 401-426, 1962.
- Hilten, D. van (1964) - Evaluation of some geotectonic hypotheses by paleomagnetism. *Tectonophysics*, 1, 3-71, 1964.
- Hilten, D. van and J.D.A. Zijdeveld (1966) - The magnetism of the Permian porphyries near Lugano (Northern Italy/Switzerland). *Tectonophysics*, 3, 429-449, 1966.
- Hilten, D. van (1968) - Global expansion and paleomagnetic data. *Tectonophysics*, 5, 191-210, 1968.
- Hospers, J. (1953 and 1954) - Reversals of the main geomagnetic field, I, II, III. *Proc. Kon. Ned. Akad. Wet.*, 56, 467-476; 56, 477-491; 57, 112-121.
- Hospers, J. and S.I. van Andel (1967) - Paleomagnetism and the hypothesis of an expanding earth. *Tectonophysics*, 5, 5-24, 1967.
- Hospers, J. and S.I. van Andel (1968) - Paleomagnetism and the hypothesis of an expanding earth: a new calculation method and its results. *Tectonophysics*, 5, 273-285, 1968.
- I.A.G.A. (1949-1968) - Bulletin on Geomagnetic Indices, Rapid Variations, Magnetic Storms. K.N.M.I., De Bilt.
- I.A.G.A. (1969-heden) - Bulletin on Geomagnetic Indices, Rapid Variations, Magnetic Storms. K.N.M.I., De Bilt.
- Kelder, H. (1975) - Een eenvoudig model voor de berekening van de verandering in de ionendichtheid van de E-laag veroorzaakt door een inwendige zwaartekrachtgolf. K.N.M.I. Wetensch. Rapport 75-12, 1975.
- Kelder, H. (1976) - Reflection of the semi-diurnal tide in the thermosphere. *E.O.S. Transactions A.G.U.*, 57, 668-669, 1976.

- Klootwijk, C.T. (1974) - Paleomagnetic results on a dolerite sill of Deccan Trap age in the Sonhat coal basin, India. *Tectonophysics*, 22, 335-353, 1974.
- Klootwijk, C.T. (1974a) - Paleomagnetism of Indian rocks and implications for the drift of the Indian part of Gondwanaland. Proefschrift, Utrecht.
- Klootwijk, C.T. (1975) - Paleomagnetism of Upper Permian redbeds in the Wardha Valley, Central India. *Tectonophysics*, 23, 115-137, 1975.
- K.M.M.O. (1871) - Observations made at the Magnetic and Meteorological Observatory at Batavia, Vol. 1 (1866-1870).
- K.N.M.I. (1894) - Meteorologisch Jaarboek 1894. K.N.M.I., De Bilt.
- K.N.M.I. (1903-heden).- Jaarboeken B - Aardmagnetisme, 1903-heden. K.N.M.I., De Bilt.
- K.N.M.I. (1949-heden) - Monthly Bulletin on ionospheric, geomagnetic, etc. data.
- K.N.M.I. (1954) - Gedenkboek van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 1854-1954. Staatsdrukkerij, 's-Gravenhage.
- Kruseman, G.P. (1961) - Etude paléomagnétique et sédimentologique du Bassin Permien de Lodève (Hérault, France). Proefschrift, Utrecht.
- Lith, P.A. van der, en J.F. Snelleman, red. (1919) - Encyclopaedie van Nederlands Indië, deel 3, 41-50.
- Lagaay, R.A. (1968) - Geophysical investigations of the Netherlands Leeward Antilles. Proefschrift, Utrecht.
- Mulder, F.G. (1970) - Paleomagnetic research in some parts of Central and Southern Sweden. *Sver. Geol. Unders.*, Ser. C 653, 1970. Proefschrift, Utrecht.
- Montfrans, H.M. van (1971) - Paleomagnetic dating in the North Sea Basin. Proefschrift, Amsterdam.
- Poorter, R.P.E. (1976) - Paleomagnetism of Precambrian rocks from Norway and Sweden. Proefschrift, Utrecht.
- Rijkevorsel, E. van (1879) - Magnetische opneming van den Indischen Archipel, 1874-1877. Kon. Ned. Akad. van Wet., Amsterdam.
- Rijkevorsel, E. van, and E. Engelenburg (1890) - Magnetic Survey of the eastern part of Brasil 1880-1885. Kon. Ned. Akad. van Wet., Amsterdam.
- Rijkevorsel, E. van (1895) - A magnetic survey of the Netherlands for the epoch January 1, 1891. K.N.M.I., De Bilt.
- Rijkevorsel, E. van, en W. van Bemmelen (1899) - Magnetische Beobachtungen in der Schweiz. K.N.M.I., De Bilt.

- Rutten, K.W. (1975) - Two-dimensionality of magnetic anomalies over Iceland and Reykjanes Ridge. *Marine Geoph. Res.*, 2, 243-263, 1975. Proefschrift, Utrecht.
- Sabben, D. van (1961) - Ionospheric current systems of ten I.G.Y.-solar flare effects. *Journ. Atm. Terr. Phys.* 22, 32-42, 1961.
- Sabben, D. van (1962) - Ionospheric current systems caused by non-periodic winds. *Journ. Atm. Terr. Phys.* 24, 959-974, 1962.
- Sabben, D. van (1966) - Magnetospheric currents, associated with the N-S asymmetry of Sq. *Journ. Atm. Terr. Phys.*, 28, 965-981, 1966.
- Sabben, D. van (1968) - Solar flare effects and simultaneous magnetic daily variations, 1959-1961. *Journ. Atm. Terr. Phys.*, 30, 1641-1648, 1968.
- Sabben, D. van (1969) - The computation of magnetospheric currents caused by dynamo action in the ionosphere. *Journ. Atm. Terr. Phys.*, 31, 469-474, 1969.
- Sabben, D. van (1970) - Solstitial Sq-currents through the magnetosphere. *Journ. Atm. Terr. Phys.*, 32, 1331-1336, 1970.
- Scholte, J.G.J. and J. Veldkamp (1955) - Geomagnetic and Geoelectric variations. *Journ. Atm. Terr. Phys.*, 6, 33-45, 1955.
- Scholte, J.G.J. (1960) - On the theory of giant pulsations. *Journ. Atm. Terr. Phys.*, 17, 325-336, 1960.
- Schouten, J.A. (1970) - A fundamental analysis of magnetic anomalies over ocean ridges. *Marine Geophys. Res.*, 1, 111-144, 1971. Proefschrift, Utrecht, 1970.
- Schouten, J.A., B.J. Collette, K.W. Rutten (1971) - Magnetic anomaly symmetry in the Bay of Biscay. *Histoire Structurale du Golfe de Gascogne*, VI. 13, Paris, 1971.
- Schwarz, E.J. (1963) - A paleomagnetic investigation of Permo-Triassic redbeds and andesites from the Spanish Pyrenees. *Journ. Geophys. Res.* 68, 3265-3271, 1963.
- Twigt, W., B.J. Collette and A.P. Slootweg (1979) - Topography and magnetic analysis of an area southeast of the Azores. *Marine Geophys. Res.*, 4, 91-104, 1979.
- Veldkamp, J. (1951) - The geomagnetic field of the Netherlands, reduced to 1945,0. *Mededelingen en Verhandelingen K.N.M.I.*, no. 134.
- Veldkamp, J. and J.G.J. Scholte (1954) - Some remarks on the Equatorial Electrojet, as revealed by the analysis of solar flare effects. *Indian Journ. of Meteor. and Geophysics*, 5, 203-212, 1954.
- Veldkamp, J. and J.G.J. Scholte (1954a) - Magnetische dubbele breking in de ionosfeer. *Gedenkboek K.N.M.I.*, 430-442, 1954.

- Veldkamp, J. and D. van Sabben (1959) - On the current system of solar flare effects. Symposium on rapid magnetic variations, I.A.G.A., Utrecht, 1959.
- Veldkamp, J. (1960) - A giant geomagnetic pulsation. Journ. Atm. Terr. Physics, 17, 320-324, 1960.
- Veldkamp, J. and H.J.A. Vesseur (1967) - Geomagnetic anomalies in the western part of the continental shelf of Surinam. Hydrographic Newsletter, Spec. Publ., 5, 1967.
- Veldkamp, J. and H.J.A. Vesseur (1971) - Geomagnetic anomalies in the continental shelf of Surinam. Hydrographic Newsletter, Spec. Publ. 6, 1971.
- Veldkamp, J., F.G. Mulder and J.D.A. Zijderveld (1971) - Paleomagnetism of Suriname dolerites. Phys. Earth and Planet. Interiors, 4, 370-380, 1971.
- Vesseur, H.J.A. (1970) - A correlation apparatus for the measurement of the drift in the ionosphere by the spaced receiver method. Journ. Atm. Terr. Physics, 32, 829-835, 1970.
- Vesseur, H.J.A. (1972) - Results of E-layer drift measurements at De Bilt. Phil. Trans Royal Soc. London, A 271, 485-497, 1972.
- Vesseur, H.J.A. (1974) - Radioverbindingen via de ionosfeer. Nautisch Technisch Tijdschrift "De Zee", juni, 1974.
- Vesseur, H.J.A. (1977) - Ionosfeeronderzoek op het K.N.M.I. Nederl. Tijdschrift voor Natuurkunde, A 43, 128-134, 1977.
- Visser, S.W. (1925) - Isomagnetism for the Netherlands East Indian Archipelago, Epoch 1925,0. Verh. Kon. Magn. Met. Obs. te Batavia, Nr. 13, 1925.
- Voo, R. van der (1968) - Paleomagnetism and the Alpine tectonics of Eurasia, part IV. Jurassic, Cretaceous and Eocene pole positions from NE Turkey. Tectonophysics, 6, 251-269, 1968.
- Voo, R. van der, and J.D.A. Zijderveld (1969) - Paleomagnetism in the Western Mediterranean area. Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen., Vol. XXVI, 121-138, 1969.
- Voo, R. van der (1969) - Paleomagnetic evidence for the rotation of the Iberian Peninsula. Proefschrift, Utrecht.
- Voo, R. van der, and C.T. Klootwijk (1972) - Paleomagnetic reconnaissance study of the Flamanville granite, with special reference to the anisotropy of its susceptibility. Geologie en Mijnbouw 51, 609-617, 1972.
- Voo, R. van der, and A. Boessenkool (1973) - Permian paleomagnetic result from the Western Pyrenees delineating the Plate Boundary between the Iberian Peninsula and Stable Europe. Journ. Geophys. Res., 78, 5118-5127, 1973.

- Wensink, H. (1964a) - Paleomagnetic stratigraphy of younger basalts and intercalated Plio-Pleistocene tillites in Iceland. Geol. Rundschau, 54, 364-384, 1964.
- Wensink, H. (1964b) - Secular variation of earth's magnetism in Plio-Pleistocene basalts of eastern Iceland. Geol. en Mijnb., 43, 403-413, 1964.
- Wensink, H. and C.T. Klootwijk (1968) - The paleomagnetism of the Talchir series of the Lower Gondwana system, Central India. Earth and Plan. Sc. Lett., 4, 191-196.
- Wensink, H. and C.T. Klootwijk (1971) - Paleomagnetism of the Deccan Traps in the Western Ghats near Poona, India. Tectonophysics, 11, 175-190, 1971.
- Zijderveld, J.D.A. (1967) - AC demagnetisation of rocks: analysis of results. In: Methods in Paleomagnetic Research (1967), 254-286, Elsevier, Amsterdam.
- Zijderveld, J.D.A. (1967) - The natural remanent magnetization of the Exeter volcanic traps (Permian, Europe). Tectonophysics, 4, 121-153, 1967.
- Zijderveld, J.D.A. (1968) - Natural remanent magnetization of some intrusive rocks from the Sør Rondane Mountains, Queen Maud Land, Antarctica. Journ. Geophys. Res., 73, 3773-3785, 1968.
- Zijderveld, J.D.A. and R. van der Voo (1973) - Paleomagnetism in the Mediterranean Area. In: Implications of Continental Drift to the Earth Sciences, Vol. 1, 133-161, New York, Academic Press, 1973.
- Zijderveld, J.D.A. (1975) - Paleomagnetism of the Esterel rocks. Proefschrift, Utrecht.

ALGEMENE REFERENTIE BIJ ALLE HOOFDSTUKKEN

Veldkamp, J. (1974) - Geofysica. Aula Paperback 20, Het Spectrum, Utrecht.

HOOFDSTUK II

SEISMOLOGISCH ONDERZOEK

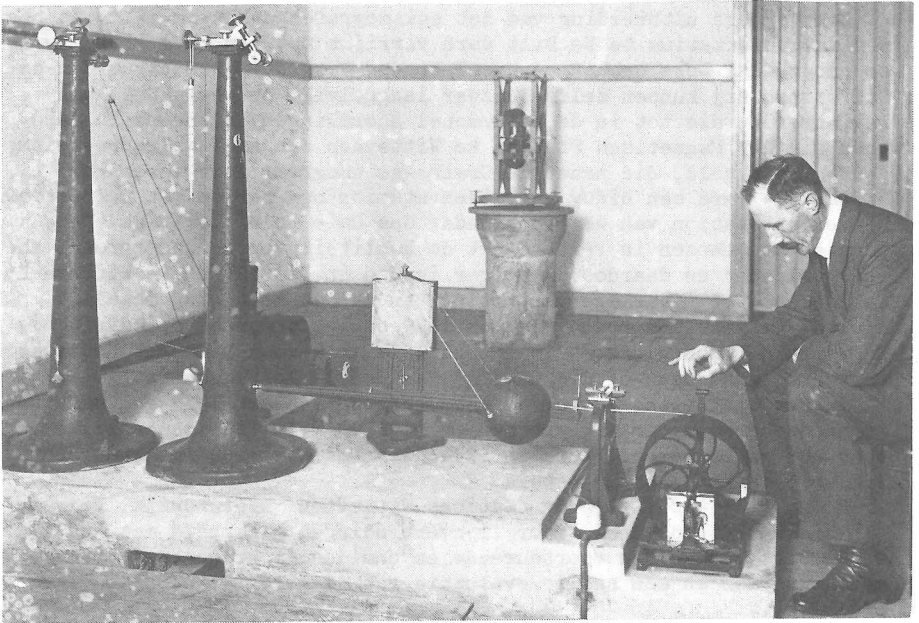
1. Seismografie

Hoewel Nederland behoort tot de landen met een zeer geringe seismiciteit, werden reeds kort na de vestiging van het K.N.M.I. in De Bilt seismografen in de kelder van het Instituut opgesteld (Gedenkboek, 1954). De belangstelling voor de seismologie was gewekt door de successen van de Duitse geofysici op het gebied van de interpretatie van aardbevingsregistreringen. Ook paste de regelmatige dagelijkse verzorging van de apparatuur en het regelmatig verzamelen van registreringen van de bodemtrillingen bij de werkwijze van het Meteorologisch Instituut, dat immers ook continu de meteorologische gegevens verzamelde.

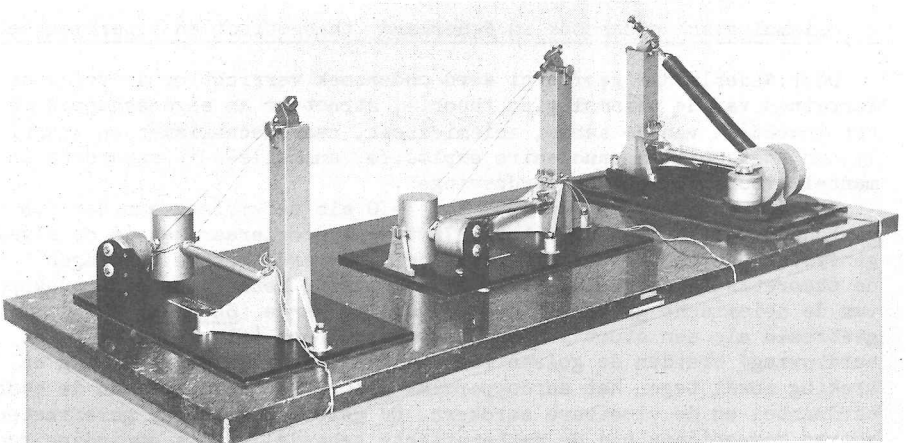
De eerste seismografen die (in 1904) op het K.N.M.I. in bedrijf zijn geweest, waren twee lichte slingers volgens Von Rebeur-Paschwitz, die echter heel weinig bruikbare registreringen opleverden. In 1908 kwamen er instrumenten die de bodembeweging wat sterker konden vergroten: twee horizontale slingers van Bosch, en een astatische seismograaf van Wiechert. Deze seismografen behoren nu tot de museumstukken, die nog altijd met succes aan bezoekers worden gedemonstreerd.

In 1912 werden twee horizontaal-seismografen volgens Galitzin aangeschaft, met galvanometrische registrering. Een bijpassende verticaal-seismograaf, ook volgens Galitzin, werd in 1922 opgesteld. De aanschaf van deze seismograaf ging niet zonder moeilijkheden. De instrumentmaker, die voor Prins Galitzin de seismografen construeerde, was vanwege de revolutie uit Petersburg naar Dorpat (Estland) uitgeweken, en het kostte veel tijd en moeite voordat zijn adres was opgespoord. De drie Galitzin-seismografen vormen nog steeds een stel hoogwaardige instrumenten, die vanwege hun grote eigenperioden speciaal geschikt zijn voor het registreren van aardbevingen op grote afstand.

Voor het optekenen van trillingen met kortere perioden werd in 1949 een seismograaf van Grenet aangeschaft. Het bleek niet mogelijk, vanwege de bodemonrust door het verkeer, deze zeer gevoelige seismograaf bij het K.N.M.I. op te stellen. Een veel betere plaats, hoewel nog niet ideaal, bleek het Magnetisch Station te Witteveen. Door de sterke vergroting bij een periode van ongeveer 1 seconde, bleek de Grenet-seismograaf speciaal geschikt voor het registreren van trillingen die de aardkern hebben doorlopen.



Seismografen van Bosch (rechts: G. van Dijk, eerste directeur van de afdeling Aardmagnetisme en Seismologie van het K.N.M.I.). De horizontale component van de bodembeweging werd door deze seismografen 20 maal vergroot.



Seismografen van Press-Ewing. Links en midden de seismografen voor horizontale, rechts een seismograaf voor verticale bodembewegingen. Maximale vergroting ruim 2000 maal.

Een verdere uitbreiding van het seismografenpark kwam in 1966, toen het instrumentarium te De Bilt werd verrijkt met een stel Press-Ewing seismografen. Deze hebben een veel breder vergrotingspectrum dan de Galitzins; zij kunnen zelfs de zeer langgolfige oppervlaktegolven registreren, die tot in de aardmantel doordringen. Eveneens in 1966 werd bij het Magnetisch Station te Witteveen een stel Willmore-seismografen opgesteld, die naast de Grenet-seismograaf functioneren.

In 1974 werd een nieuw seismisch station opgezet op het terrein van het exportstation van de Nederlandse Gas Unie te Winterswijk. Deze plaats was gekozen in verband met de kwaliteit van de ondergrond, die veel solider en daardoor rustiger is dan in De Bilt en in Witteveen, en die een veel sterkere vergroting van de bodembeweging mogelijk maakte. Om dezelfde reden werd in 1979 een seismograaf opgesteld bij Epen (Zuid-Limburg); evenals in Winterswijk is ook hier het Mesozoïsche gesteente ontsloten of dichtbij het aardoppervlak aanwezig.

In het Geologisch Museum te Heerlen, waar sedert 1926 een eenvoudige mechanische seismograaf, gebouwd op het K.N.M.I., de plaatselijke aardshokken registreerde, werd in 1972 eveneens een electromagnetische Willmore-seismograaf opgesteld.

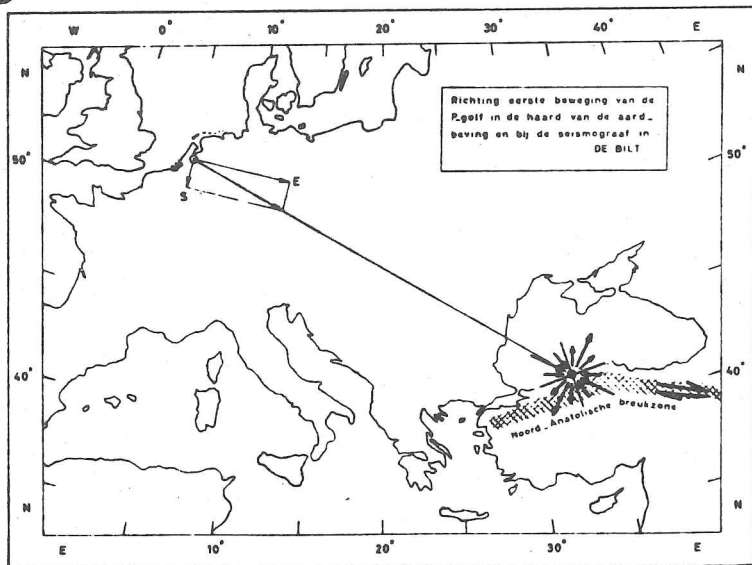
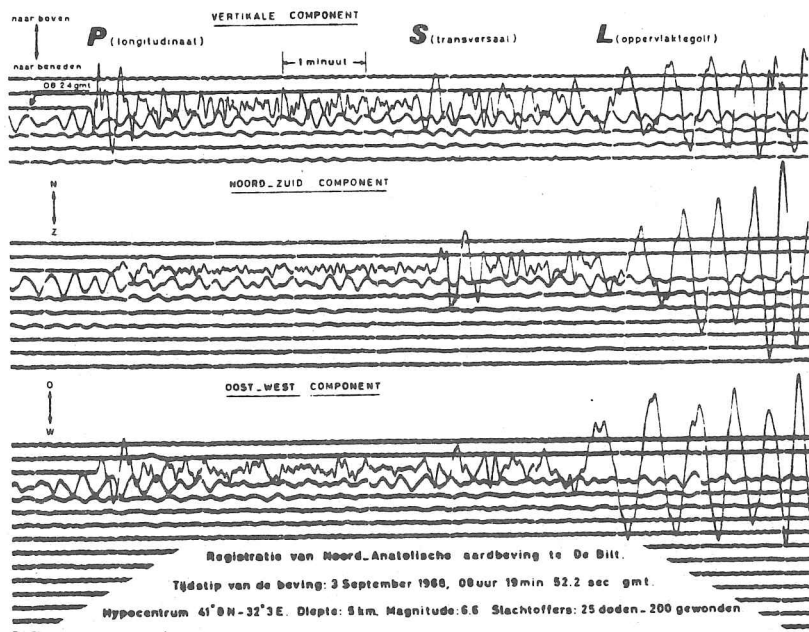
Momenteel (1980) zijn de stations Witteveen, Winterswijk, Heerlen (en binnenkort ook Epen) door lijnverbindingen gekoppeld met het K.N.M.I. te De Bilt, zodat een voortdurende en onmiddellijke controle van de seismogrammen en een snelle evaluatie van de geregistreerde bevingen mogelijk is.

De uitwerking van de seismogrammen van het K.N.M.I. werd van 1904 tot 1942 jaarlijks gepubliceerd in de reeks "Seismische Registreringen in De Bilt". Na 1942 werd de titel van de seismische jaarboeken: "Seismic Records at De Bilt" (K.N.M.I., 1943-heden).

2. Seismologisch onderzoek in Nederland (theoretisch en experimenteel)

Door Nederlandse geofysici werd onderzoek verricht op de volgende terreinen van de seismologie: theorie, structuur en eigenschappen van het inwendige van de aarde, seismiciteit, haardmechanismen en spanningsvelden, detectie van nucleaire explosies, anomalieën in aardkorst en mantel, voorspelling van aardbevingen.

J.G.J. Scholte, die van 1950 tot 1970 als seismoloog aan het K.N.M.I. verbonden was, en van 1957 tot 1970 tevens hoogleraar was in de algemene geofysica aan de Utrechtse Universiteit, leverde enkele bijdragen tot de theoretische seismologie. De belangrijkste betreft de eigenschappen van de seismische golven in een bolvormige aarde (Scholte, 1956). Uitgestraald als een stoot in een puntvormige bron (als model voor een aardbeving) breiden de golven zich uit en ondergaan weerkaatsing en breking zowel tegen het aardoppervlak alsook aan de grens van de vaste aardmantel en de vloeibare aardkern. De gereflecteerde en gerefracteerde golven verschijnen bij de mathematische behandeling als oneindige reeksen van sferische golven, die worden omgezet in integralen. Allerlei bekende verschijnselen komen in de oplossingen voor de dag, zoals de



Seismogrammen van een aardbeving in de Noord-Anatolische breukzone. Uitstraling van compressies en dilataties (volgens de richtingen van de korte pijltjes) als gevolg van een dextrale blokverschuiving in het hypocentrum.

kernschaduw, de caustica en de gebogen golven in het schaduwgebied van de aardkern. Ook heeft Scholte gerekend aan de golfvoortplanting in inhomogene media (Scholte, 1962), en aan de oppervlaktegolven in isotrope en anisotrope media (Scholte, 1958). Onder toezicht van Scholte ontstond het proefschrift van H.J. van Veen over de laser-seismometer (1969), terwijl I. Csikós de theorie van de electromagnetische seismograaf behandelde (1975), met Veldkamp als promotor.

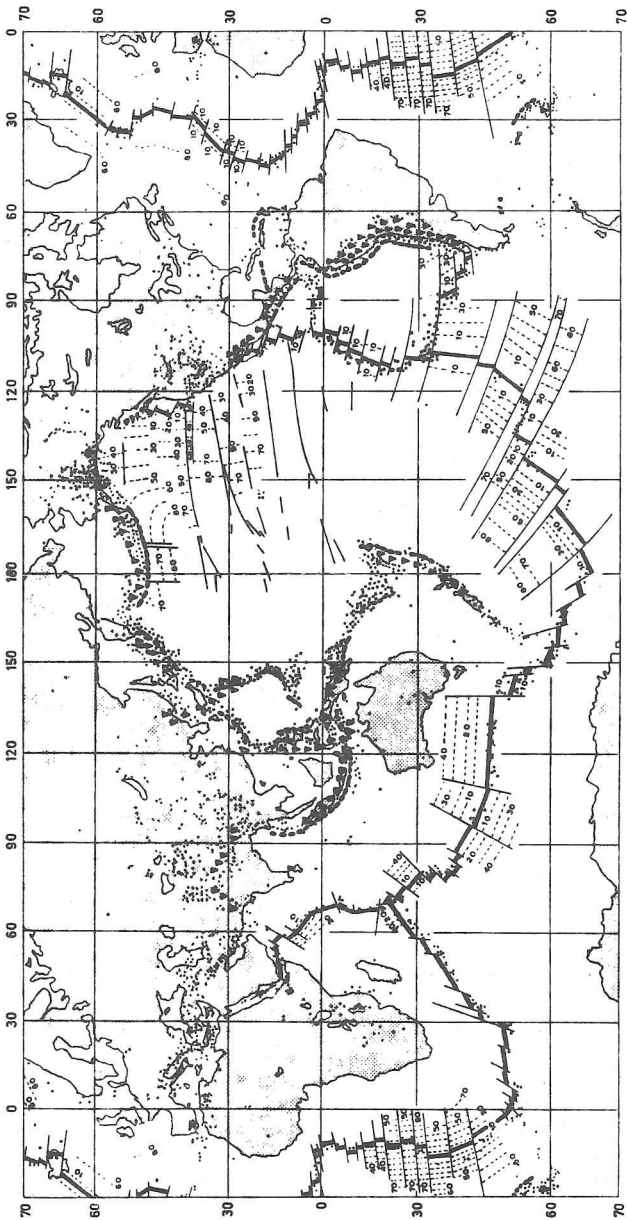
Na het overlijden van Scholte (in 1970) werd N.J. Vlaar in 1973 benoemd tot zijn opvolger, met het Vening Meinsz Laboratorium te Utrecht als werkterrein. Aanvankelijk was het werk van Vlaar sterk theoretisch-seismologisch. Zo bestudeerde hij de excitatie van golven in horizontaal gelaagde inhomogene media (Vlaar, 1966 en 1968) en ook in een bolvormige, radiaal inhomogene en tangentieel homogene aarde (Vlaar, 1969). Hij maakte daarbij gebruik van de ontwikkeling van de functie van Green (als oplossing van de golfvergelijking) naar de eigenfuncties, die als normaaltrillingen ("normal modes") kunnen worden geïnterpreteerd.

Contacten van Vlaar met het Amerikaans-Noorse seismografische "array" (netwerk) NORSAR (bij Hamar) leidden tot het proefschrift van D.J. Doornbos (1974) over de eigenschappen en de structuur van de aardkern en over de verstrooiing en de demping van golven die door de aardkern gaan. Onder meer werd gevonden dat het materiaal van de binnenkern (vermoedelijk ijzer) waarschijnlijk in een gedeeltelijk gesmolten toestand verkeert, wat tot een aanzienlijke demping van passerende seismische golven leidt.

J.M. Vermeulen en D.J. Doornbos (1977) behandelden het probleem van de plaatsbepaling van hypocentra door middel van array-registraties, vergeleken met de conventionele stationsmethoden. De verschillen worden toegeschreven aan laterale inhomogeniteiten in de aardmantel of aan structuren in de omgeving van de seismografen.

G. Nolet (1976) analyseerde in zijn proefschrift seismische oppervlaktegolven met het oog op de bepaling van de mantelstructuur. Gebruik makend van de seismogrammen van een groot aantal West-Europese stations, slaagde hij er in de dispersiekrommen te construeren voor de fundamentele trillingswijze plus zes boventonen van Rayleighgolven, opgewekt door bevingen in de omgeving van Japan en de Koerilen. Hieruit kon de structuur van de buitenmantel onder West-Europa tot een diepte van 800 km worden afgeleid. Tesamen met B.L.N. Kennett legde Nolet (1978 en 1979) theoretische verbanden tussen de dispersieve eigenschappen van de verschillende boventonen, en hij berekende de invloed van discontinuïteiten in de seismische snelheid in de buitenmantel op de toroïdale vrije trillingen van de aarde. In 1980 werd hem de Prix Lagrange toegekend door de Belgische Akademie van Wetenschappen.

S.A.P.L. Cloetingh (1980a) onderzocht met G. Nolet en M.J.R. Wortel de dispersie van Rayleigh-golven in het oostelijk deel van de Middellandse Zee. De uitkomst is dat de aardkorst daar een continentale dikte heeft. Ook werd het duidelijk (Cloetingh et al., 1979) dat de analyse van de snelheid van de oppervlaktegolven een uitstekend middel is om passieve randen van de aardkorst te onderzoeken. De diepte van de Moho



Oceanische riftzones (dikke onderbroken lijnen) met aan weerszijden isochronen (stippellijnen die de ouderdom van de oceanbodem in miljoenen jaren aangeven). Stippen zijn epicentra van ondiepe bevingen, driehoekjes van diepe. De blokkijnen stellen diepzeetroggen voor. De diepe bevingen en de diepzeetroggen zijn kenmerkend voor subductie-zones (gebieden waar plaatranden in de aardmantel onlaag zakken). Riftzones volgens Heirtzler in Continents Adrift, 1968.

is via de oppervlaktegolven in gunstige omstandigheden met een nauwkeurigheid van enkele km te bepalen (Cloetingh et al., 1980b).

J.C. Mondt keerde in zijn proefschrift (1977) terug naar het probleem dat reeds door Doornbos was aangesneden, nl. de buiging van seismische golven in de overgang van de aardmantel naar de aardkern. Uitgaande van theoretische modellen van de mantel en de kern, heeft hij de golfpotentialen berekend en hieruit de amplitudo's van de gebogen golven afgeleid. Deze resultaten werden verder uitgewerkt door Doornbos en Mondt (1979a en 1979b).

Gestimuleerd door de groeiende mogelijkheden voor de waarneming van vrije trillingen van de aarde, publiceerde Vlaar (1976) een artikel over de excitatie van deze trillingen, waarin hij het concept van de puntbron verlaat. Behalve door een dislocatie (blokverschuiving) kan een aardbeving ook worden veroorzaakt door een volumeverandering (implosie als gevolg van faseverandering). Dit vormde de aanleiding voor verder onderzoek naar de gravitatieve effecten van een volumebron (Vlaar en Wortel, 1978). Voorts schreven Vlaar en Nolet (1978) een overzichtsartikel over oppervlaktegolven. Ook Doornbos (1977) rekende aan de excitatie van normaaltrillingen door een implosie. De verdeling van de energie over de verschillende boventonen van de vrije aardtrillingen is bij een implosie anders dan bij een blokverschuiving.

Nadat het seismologisch onderzoek min of meer was gestabiliseerd, ging de werkgroep theoretische geofysica van het Vening Meinesz Laboratorium te Utrecht zich onder leiding van Vlaar ook bezig houden met tektonofysische problemen. Aanleiding hiertoe was een hypothese van Vlaar (1975), waarin werd uitgesproken dat de gravitationele instabiliteit van de afkoelende oceaانبodem de drijvende kracht moet zijn voor de platentektoniek. Dit idee werd door M.J.R. Wortel uitgewerkt in zijn dissertatie (1980). De rheologische eigenschappen van de onderduikende lithosfeerplaat worden bepaald door de ouderdom. Neemt men deze ouderdomsafankelijkheid in aanmerking, dan kan men de verschillen tussen de diverse subductiezones verklaren. Langs numerieke weg zijn de spanningsvelden in de subductiezones te berekenen. Het ontstaan van rekzones met vulkanisme wordt begrijpelijk, evenals op andere plaatsen het optreden van aardbevingen.

Het seismologisch-geotektonisch onderzoek wordt in het Vening Meinesz Laboratorium voortgezet. In de naaste toekomst zal een Nederlands Netwerk van Automatisch Registrerende Stations (NARS-project) worden opgezet, om hiermee te kunnen beschikken over een homogeen seismografisch materiaal, geschikt voor het onderzoek van de boventonen van oppervlaktegolven.

3. Haardmechanismen van aardbevingen

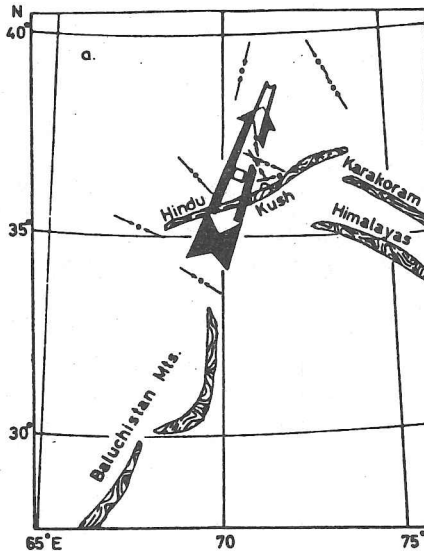
Verschillende Nederlandse seismologen hebben een speciale belangstelling getoond voor het onderzoek van het mechanisme, dat verant-

woordelijk kan worden gesteld voor de uitstraling van de seismische trillingen in de haard van een aardbeving. Het eerst is aan dit probleem gewerkt door L.P.G. Koning, die in zijn proefschrift (1941) tot de conclusie kwam dat een model van een haardmechanisme, waarbij de eerste inzetten van de P-golven als druk- en rekgolven in een kwadrantensysteem in het centrum van een aardbeving zijn verdeeld, bruikbaar was voor de door hem bestudeerde bevingen. Een kwadrantensysteem van druk- en rekgolven moet voor de dag komen als de aardbeving te danken is aan een plotselinge verschuiving van twee blokken langs elkaar. Blokverschuiving kan men verwachten als de aardkorst of aardmantel plaatselijk bezwijkt onder een geleidelijke vervorming, en inderdaad kan men dergelijke verschuivingen, horizontaal of verticaal, bij ondiepe bevingen dikwijls in het aardoppervlak constateren. De moeilijkheid is echter dat de seismische stralen in het inwendige van de aarde sterke richtingsveranderingen ondergaan, waardoor de scheidingsvlakken tussen druk- en rekgolven worden gedeformeerd tot onregelmatig gebogen vlakken.

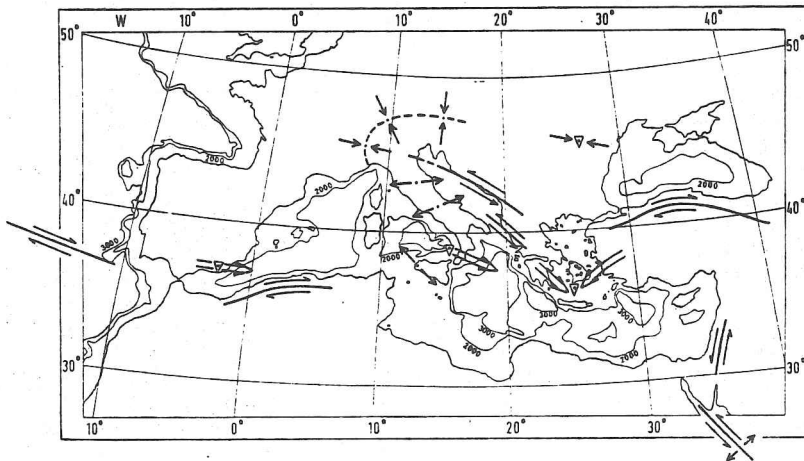
Na Koning heeft A.R. Ritsema, die van 1952 tot 1958 werkzaam was bij de Geofysische Dienst van de Republiek Indonesia te Jakarta, en van 1958 tot heden verbonden was aan het K.N.M.I. te De Bilt, het haardmechanismeonderzoek voortgezet en sterk verbreed. Een belangrijke verbetering in de onderzoeksmethode was het terugbrengen van de uitgestraalde compressies en dilataties naar de nabije omgeving van het hypocentrum, waar de seismische stralen nog rechte lijnen zijn. Dit komt neer op een seismische projectie van de waarnemingsstations op een bol rondom de aardbevingshaard. De kwadranten van druk en rek moeten op deze bol gescheiden zijn door grote cirkels die elkaar loodrecht snijden.

In zijn dissertatie (1952) gebruikte Ritsema een stereografische afbeelding van de aardbevingshaard, waardoor de verdeling van compressies en dilataties (inzetten van druk- en rekgolven) in geval van een voldoende aantal seismografische stations gemakkelijk kon worden geconstrueerd. Een verdere uitbreiding van het onderzoek werd mogelijk door het beschouwen van samengestelde compressie- en dilatatiepatronen van meerdere bevingen in een bepaald gebied (Ritsema, 1955). Het gebruik van de inzetten der S-golven als aanvulling op de studie van de P-golven werd door Ritsema het eerst toegepast (1957). Voor de constructie van de seismische projecties van aardbevingsstations op een focale bol rondom een aardbevingshaard berekende hij curven die bruikbaar zijn voor alle epicentrale afstanden en voorkomende haarddiepten (Ritsema, 1958).

Het haardmechanisme geeft inlichtingen over de spanningstoestand in de aardkorst en in de aardmantel, voorzover zich daar aardbevingen voordoen. Het spanningsveld is van grote betekenis geworden voor de theorie van de platentektoniek. De richtingen van maximale en van minimale druk in het gesteente in de aardbevingshaard, die uit de verdeling van de compressies en dilataties volgen, kunnen rechtstreeks in verband worden gebracht met de spanningen in de platen of schollen waarin de lithosfeer is verdeeld. Onderzoek van het haardmechanisme van een aantal bevingen in een seismische zone (die meestal in het grensgebied tussen de platen ligt) kan indicaties geven over de recente



Onderzoek van het haardmechanisme van aardbevingen in het gebied van de Hindu-Kush in Centraal-Azië. De diepe bevingen wijzen op onderschuiving van de diepere lithosfeer in N.N.O.-richting (volgens de brede zwarte pijl), overeenkomstig de subductie van India onder het Tibet-plateau. Volgens Ritsema, 1966a.



De beweging van platen of blokken van de lithosfeer in het gebied van de Middellandse Zee. Het oostelijk deel van de Middellandse Zee beweegt naar het westen en het westelijke deel naar het oosten. De Aegeïsche Zee is een subductie-zone. Volgens Ritsema, 1969 a.

plaatbewegingen.

In samenwerking met Veldkamp kwam een samenvattend overzicht van aardbevingsmechanismen in Z.O.-Azië tot stand (Ritsema en Veldkamp, 1960). In samenwerking met Scholte (1962a) werd een theoretisch model van een aardbevingshaard opgesteld met een eindig volume (in plaats van een puntbron), en de verdeling van compressies en dilataties werd berekend en vergeleken met de waarnemingen (Ritsema, 1962). Scholte (1962b) schreef een artikel over het probleem van het haardmechanisme van aardbevingen. Een verbetering van Scholte's model werd door Csikós (1975) tot stand gebracht.

Ritsema publiceerde samenvattingen van haardmechanismen en beschouwingen over daaruit afgeleide tektonische processen in het gebied van de Hindu Kush en in Europa, speciaal wat betreft het Middellandse Zeegebied en de Balkan. Terwijl de ondiepe bevingen in de Hindu Kush (Ritsema, 1966a) kennelijk te maken hebben met de oppervlaktegeologie (compressie loodrecht op de richting van de bergketens), wijzen de haardmechanismen van de diepe bevingen (hypocentra tussen 150 en 250 km) op subductie; de lithosfeer van het Hindu Kush-gebied wordt onder een hoek van 25° in noordelijke richting onder de Aziatische aardkorst geschoven, in overeenstemming met de druk die het Indiase subcontinent tegen Azië uitoefent.

Een onderzoek van Ritsema (1969a en 1974a) naar de haardmechanismen van een 1000-tal Europese aardbevingen leverde het volgende op. Horizontale druk is aanwezig in de seismische zones van Joegoslavië, Griekenland, het Alpengebied en de Pyreneeën. Horizontale rek is kenmerkend voor de aardbevingen in de Apennijnen, in de Calabrische Boog, en in de aardkorst onder de Aegeïsche Zee. In het algemeen kan men zeggen dat de Europese bevingen niet rechtstreeks te danken zijn aan de botsing tussen Afrika en Europa, maar hoofdzakelijk aan een beweging, van oost naar west, van het Anatolisch-Aegeïsche blok ten opzichte van Eurazië en Afrika. Dextrale langsschuivingen komen voor in een zone die zich uitstrekt van de Azoren door Afrika naar Noord-Anatolië. Sinistrale blokverschuivingen vindt men in de Balkan en de Rode Zee. Combineert men deze verschijnselen, dan blijkt dat het westelijk deel van de Middellandse Zee naar het oosten schuift. Het oostelijk deel van de Middellandse Zee beweegt zich naar het westen, tussen de Noord-Anatolische zone en de Rode Zee-rift. De Aegeïsche Zee is een subductie-zone (zinkput) waarin korstmateriaal uit het noordwesten en uit het noordoosten in de aardmantel verdwijnt.

Ritsema wijdde een zevental artikelen aan de seismiciteit en de haardmechanismen in het Middellandse Zeegebied (1969b, 1969c, 1970a, 1970b, 1972, 1975d en 1979). De aardkorst onder de Middellandse Zee bestaat uit zes blokken of schollen die langs elkaar bewegen. In het algemeen zijn de onderlinge bewegingen zodanig dat zij corresponderen met een dextrale verschuiving van Europa ten opzichte van Afrika, terwijl tegelijk Afrika in noordelijke richting druk uitoefent tegen Europa. In de westelijke helft van de Middellandse Zee is de bodem oceanisch van structuur. De Calabrische Boog schuift in oost-zuidoostelijke richting over de Ionische Zee. Compressie van de aardkorst is aanwezig in een

gordel die loopt van de Azoren naar Zuid-Spanje, de Atlas en West-Sicilië. Ook de Alpen, een strook langs de Adriatische Zee en de Helleense boog liggen in deze drukgordel. Rek komt voor in een zone die loopt door West-Algerije, Oost-Sicilië en de Apennijnen. De sinistrale beweging van de aardkorst in de Balkan geeft een Z.Z.O./N.N.W. gerichte compressie van het Alpegebergte. Diepe bevingen komen voor in de Aegeïsche Zee (tot 170 km diepte), in de Tyrreense Zee (tot 500 km) en onder Zuid-Spanje (tot 600 km). De diepe bevingen in de Tyrreense Zee worden toegeschreven aan een lithosfeerplaat die in W.N.W.-richting onder de Tyrreense Zee omlaag gaat; waarschijnlijk is dit de rand van de Ionische plaat. Ook de diepe bevingen in de Aegeïsche Zee worden veroorzaakt door subductie, zoals reeds werd opgemerkt.

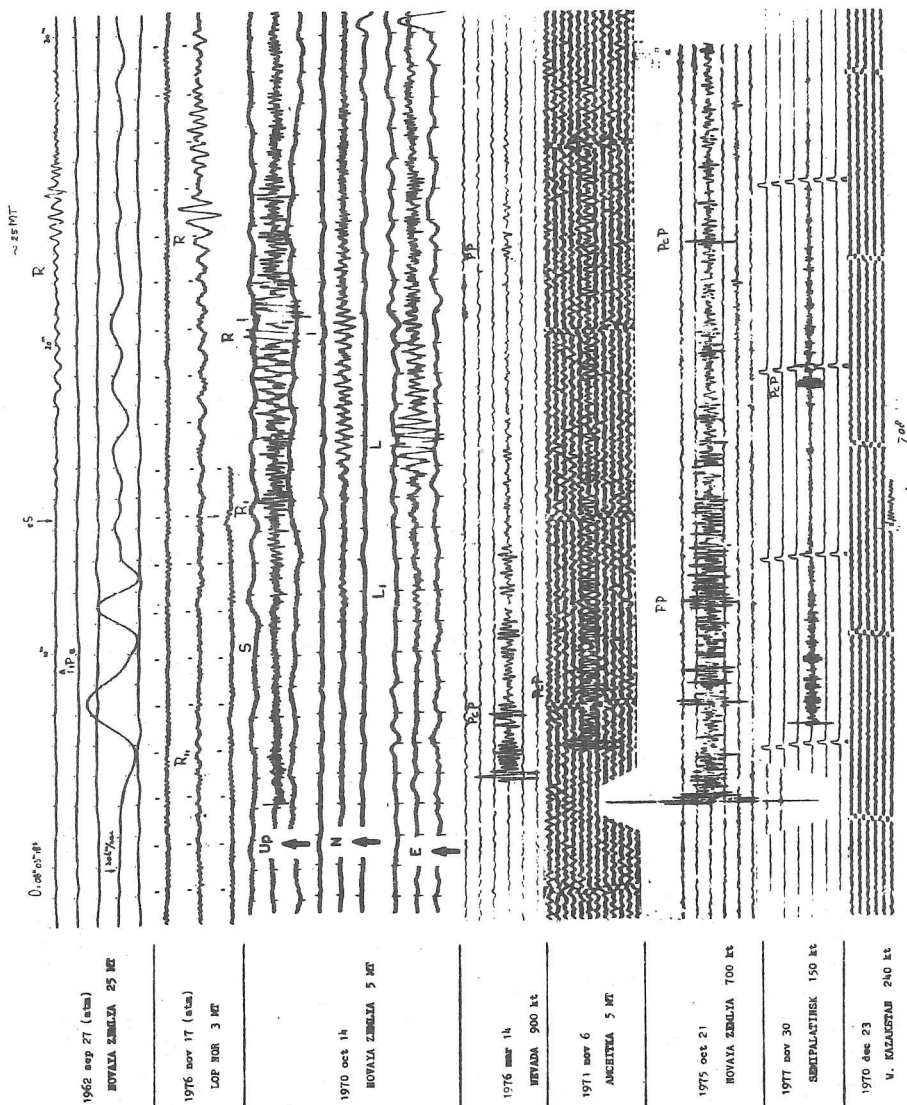
Ritsema (1974b) controleerde de gegevens afkomstig van 700 aardbevingen in de Balkan. De haardmechanismen zijn in het algemeen te interpreteren als het gevolg van een transport van aardkorstmateriaal, gericht naar het zuidwesten. Het daardoor veroorzaakte spanningsveld is ingewikkeld: er is compressie in de zone Alpen-Dalmatië-Albanië, in Zuidwest-Griekenland en in de Helleense boog. Daarentegen is er rek in een zone die loopt door West-Anatolië en het Aegeïsche bekken. De compressie-gordel is te verklaren uit de botsing tussen Afrika en de blokken van Europa en Anatolië.

4. Subductie, seismiciteit, nucleaire explosies

De aardbevingen in de Tyrreense Zee gaven Ritsema (1972 en 1979) aanleiding tot een beschouwing over actieve en passieve subductie. De aardkorst onder de Tyrreense Zee werd door de oostwaartse drift van de Calabrische boog uitgerekt en geocéaniseerd. Vulkanisme treedt aan de dag tussen de fragmenten van de oorspronkelijke continentale korst. Het Ionische blok is stabiel en moet waarschijnlijk als een deel van Afrika worden beschouwd. De haardmechanismen van de bevingen in de Calabrische zone kunnen het best worden verklaard uit een passieve subductie, dwz. een overschuiving van de Tyrreense plaat over het Afrikaanse blok. Het subductieproces in de Tyrreense Zee en in de Ionische Zee kan men beschouwen als de eindfase van de verdwijning van de voormalige Tethyszee, die tussen Afrika en Eurazië werd dichtgeknepen.

In Nederland komen zwakke aardbevingen voor in verband met de geologische breuken in de ondergrond. De seismiciteit is het grootst in Zuid-Limburg en neemt toe in Z.O.-richting. Waterpassingen over de Peelrandbreuk wijzen op een continue kruipbeweging van de schollen langs elkaar. Bevingen treden op als de kruip stagneert (Ritsema, 1966b).

De seismologen in Nederland, België en N.W.-Duitsland ontwierpen een seismiciteitskaart van N.W.-Europa (Ahorner, Flick, van Gils, Houtgast en Ritsema, 1976). Deze studie werd opgenomen in het verslag van een symposium (Ritsema ed., 1976) dat speciaal was gewijd aan



Seismogrammen van nucleaire explosies, geregistreerd door het K.N.M.I. De bovenste registreringen zijn seismogrammen van explosies boven Novaya Zemlya en Lop Nor; zij zijn te danken aan kernbommen die in de atmosfeer tot ontploffing werden gebracht. De andere zijn registreringen van ondergrondse kernexplosies. Vergeleken met "natuurlijke" aardbevingen bevatten ondergrondse "nucleaire" bevingen veel meer hoge frekwenties.

aardbevingsrisico's voor kerncentrales in Europa. Ritsema publiceerde een monografie over de aardbevingskansen in het gebied van de Noordzee (1980).

De seismiciteit in het oostelijk deel van de Middellandse Zee ver- toont het merkwaardige verschijnsel van lopende epicentra. Series bevingen komen voor in de oostelijke Middellandse Zee en langs het Anatolisch-Aegeïsche blok (Ritsema, 1975b). Na een zware aardbeving in Anatolië bijv. treden vaak reeksen van naschokken op waarvan de epicentra met een snelheid van meer dan 100 km/dag in westelijke richting lopen. In het algemeen verschuiven de epicentra in de loop van de tijd in westelijke richting langs de bestaande breukvlakken, meestal langzaam (snelheid minder dan 1 km/dag).

A.R. Ritsema en Z.V. Karnik (1979) publiceerden een overzicht van catastrofale aardbevingen in Europa. Deze komen voor in een zone die loopt van Lissabon/Agadir tot in Noord-Anatolië/Kaukasus. In de laatste 25 jaren waren hier meer dan 25000 doden te betreuren. Wat betreft het voor en tegen van een waarschuwingdienst voor aardbevingen is Ritsema van mening dat het handhaven van goede bouwvoorschriften beter is dan het uitgeven van voorspellingen.

Bij nucleaire explosies (Ritsema, 1971, 1973, 1979 en 1980) wordt in de P-golven veel meer energie in de hoge frekwenties uitgestraald dan bij natuurlijke bevingen. De amplitude van de horizontale S-golven is zeer klein, er komen minder oppervlaktegolven voor de dag, en de eerste inzet van de P-golven is uiteraard een alzijdige drukgolf. Deze criteria moeten worden gebruikt als men nucleaire explosies wil identificeren. Wil men internationaal komen tot een bevredigende controle van de proeven met kernwapens, dan is het noodzakelijk te beschikken over een meer homogene verdeling van seismografen over de aardbol dan nu het geval is.

5. Seismologisch onderzoek in Nederlands-Indië

Buiten Nederland werd seismologisch onderzoek verricht in het Koninklijk Magnetisch en Meteorologisch Observatorium te Batavia, dat in 1866 was gesticht. Het ligt voor de hand dat de geofysici, verbonden aan dit Observatorium, aandacht schonken aan de bevingen die in het aardbevingsrijke gebied van het voormalig Nederlands Oost-Indië veelvuldig optraden. Vulkanische verschijnselen en aardbevingen vormden vanaf 1898 een vaste rubriek in het Natuurkundig Tijdschrift van Nederlands-Indië (N.T.v.N.I., 1898- 1942).

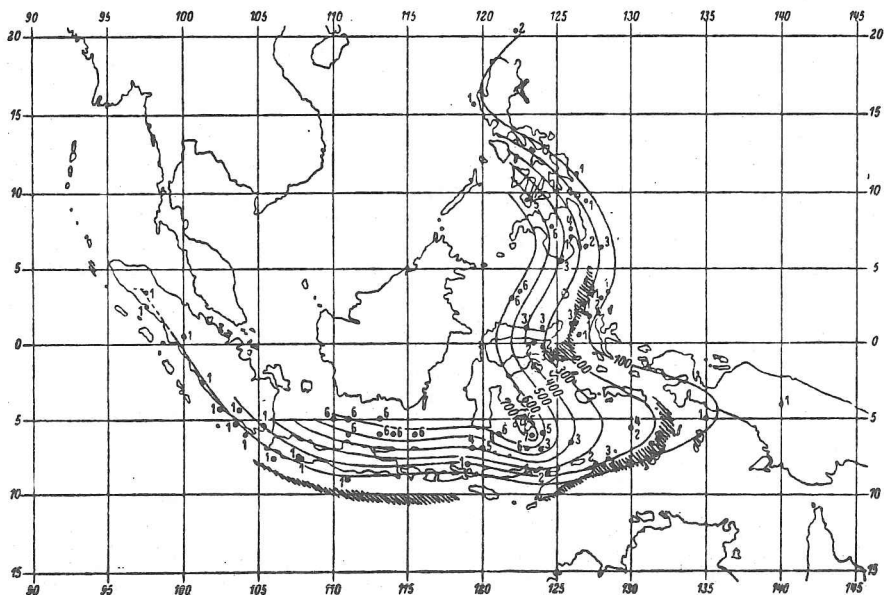
Vóór 1898 waren op het Observatorium reeds enkele primitieve seismo- graafjes aanwezig, die in staat waren sterke bodemtrillingen op te tekenen. Het seismologisch onderzoek begon in 1898, toen een Milne- seismograaf in bedrijf werd gesteld, waardoor het mogelijk werd de be- richten over gevoelde aardschokken die zo nu en dan in Batavia binnen- kwamen, enigszins te controleren. Seismografen, ontworpen door de seismoloog Milne, werden op veel plaatsen in de Engelse koloniën gebruikt, maar hadden een slechts geringe vergroting.

Een grote verbetering bracht de aanschaf van een 1000 kg zware Wiechert-horizontaal-seismograaf, die in 1908 door C. Braak werd opgesteld. Het werd nu mogelijk van veel aardbevingen het epicentrum te bepalen, alleen al op grond van de registraties te Batavia. In 1911 werd een kleine Wiechert-seismograaf (massa 100 kg) opgesteld bij Malabar (West-Java). De seismografische apparatuur te Batavia werd in 1928 uitgebreid met een verticaal-seismograaf volgens Wiechert van 1300 kg. Omdat in het oostelijk deel van de Archipel veel zware bevingen voorkwamen en ook bevingen met zeer diepe haard, werd eveneens een grote seismograaf, een 1000 kg Wiechert-horizontaal, opgesteld op Amboina, in 1925. Een kleinere seismograaf werd enkele jaren later bij Medan (Sumatra) in bedrijf gezet. Het goede functioneren van de seismografen in de Buitengewesten gaf veel zorg. Tijdens zware bevingen werden nogal eens de registreerpennen afgeworpen; ook de tijdmarkering op de seismogrammen was een zwak punt.

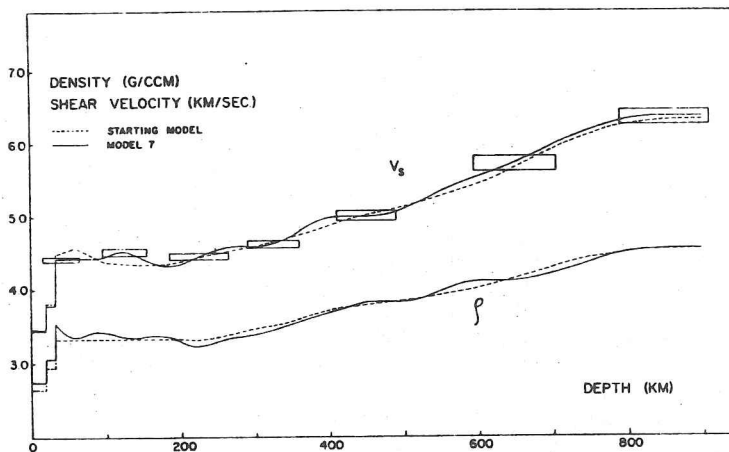
Een bijzonder feit voor het Observatorium te Batavia was de komst in 1927 van H.P. Berlage, die in Zürich was gepromoveerd op de seismograaftheorie en die in zijn proefschrift (1924) het probleem van de plaats- en dieptebeeping van een aardbevingshaard had behandeld. De diepte van een aardbevingshaard werd berekend uit het verschil in looptijd tussen de normale P-golf en de reflecties daarvan tegen de aardkern en tegen het aardoppervlak. In de eerste jaren van zijn verblijf in Batavia schreef Berlage een groot artikel getiteld "Seismometrie" in het Handbuch der Geophysik, Band 4 (Berlage, 1932). Hierin wordt een beschrijving gegeven van alle in die tijd bekende seismoscopen en seismografen, alsmede van de vergrotingstheorie. Ook behandelt Berlage de epicentrumbeeping en de methoden om de haarddiepte van een beving vast te stellen (momenteel kan men deze en andere parameters veel nauwkeuriger en sneller berekenen door gebruik te maken van het mondiale seismografennetwerk en van een computer-program).

Een studie van de diepe aardbevingen in het oostelijk deel van de Oost-Indische Archipel (Berlage, 1937) bracht hem tot de belangrijke conclusie dat de hypocentra daarvan op een vlak liggen dat onder de Archipel tot zeer grote diepte afdaalt in de richting van het Aziatische continent. Ook bij Japan en aan de westkust van Zuid-Amerika bleken de haarden van de diepe bevingen meer continentwaarts te liggen dan de ondiepe (wij zien deze hellende vlakken nu als subductiezones in de zin van de mondiale platentektoniek). Overigens heeft Berlage zich in Batavia hoofdzakelijk bezig gehouden met meteorologische en klimatologische verschijnselen. De seismologie en het aardmagnetisme waren meer het werkterrein van S.W. Visser.

Het grote aantal aardbevingen dat jaarlijks werd geregistreerd, gaf aanleiding tot verschillende publicaties. Visser (1921, 1922 en 1931) bewerkte de bevingen van de jaren 1909-1926 in enkele artikelen. In zeer veel gevallen bleken de epicentra in zee te liggen, in tegenstelling tot de algemene opinie die in die tijd de centra van de bevingen op het land zocht. Visser ontwikkelde een methode om de haarddiepte van diepe aardbevingen te schatten. Deze methode (minder



Aardbevingen met diepe haard in het voormalig Ned. Indië (volgens Berlage, 1937). De cijfers bij de epicentra geven de haarddiepte in honderden km. De hypocentra liggen op een vlak dat in N.W.-richting helt. Dit vlak wordt nu beschouwd als de subductie-zone, waarin de Australische lithosfeerplaat onder de Aziatische wordt geschoven.



De dichtheid (ρ) en de transversale snelheid (v_s) in de buitenmantel, berekend uit de analyse van oppervlaktegolven van aardbevingen. De zone van iets geringere dichtheid en snelheid (tussen 150 en 250 km diepte) is de asthenosfeer. Volgens Nolet, 1976.

nauwkeurig dan die van Berlage) berustte op het feit dat bij een diepe aardbeving de oppervlaktegolven een geringe amplitudo hebben. Uitgaande van gegevens gepubliceerd in de "International Seismological Summary" kwam hij tot de conclusie dat de diepe bevingen meestal aan de continentzijde van de aardbevingsgordels liggen; hoe verder continentwaarts, hoe dieper (Visser, 1936a, 1936b en 1937). Daarmee werd Berlage's vondst van de ligging van de diepe aardbevingen bevestigd. Visser zocht de verklaring van de diepe bevingen in de door Vening Meinesz in navolging van Holmes gepostuleerde stromingsstelsels in de aardmantel (opwaarts onder de continenten, neerwaarts onder de oceanen). In het overgangsgebied tussen subcontinentale en suboceanische stromingen kan men evenwichtstoornissen verwachten, die zich uiten in aardbevingen. Visser onderzocht ook het verband tussen het optreden van aardbevingen en de oceanische getijden (Visser, 1933). Hij schreef ook een verhandeling over de voortplantingsnelheid van de seismische oppervlaktegolven (Visser, 1925).

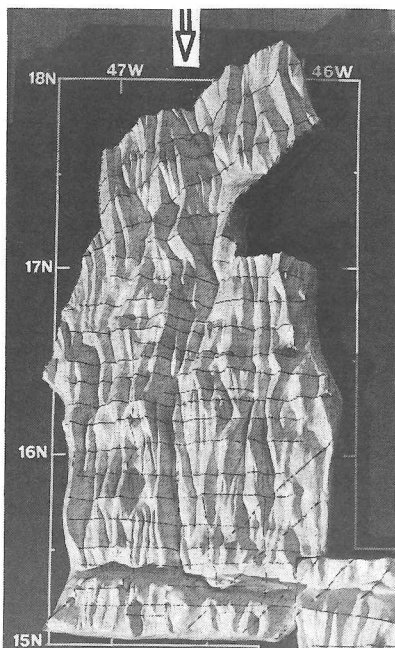
Ritsema, die van 1952 tot 1958 verbonden was aan het Observatorium te Batavia, onderzocht in navolging van Berlage en Visser de seismiteit van de Soenda-boog (Ritsema, 1954 en 1977). Als nieuw element werd daarbij rekening gehouden met de energie van de bevingen.

6. Seismisch onderzoek op zee

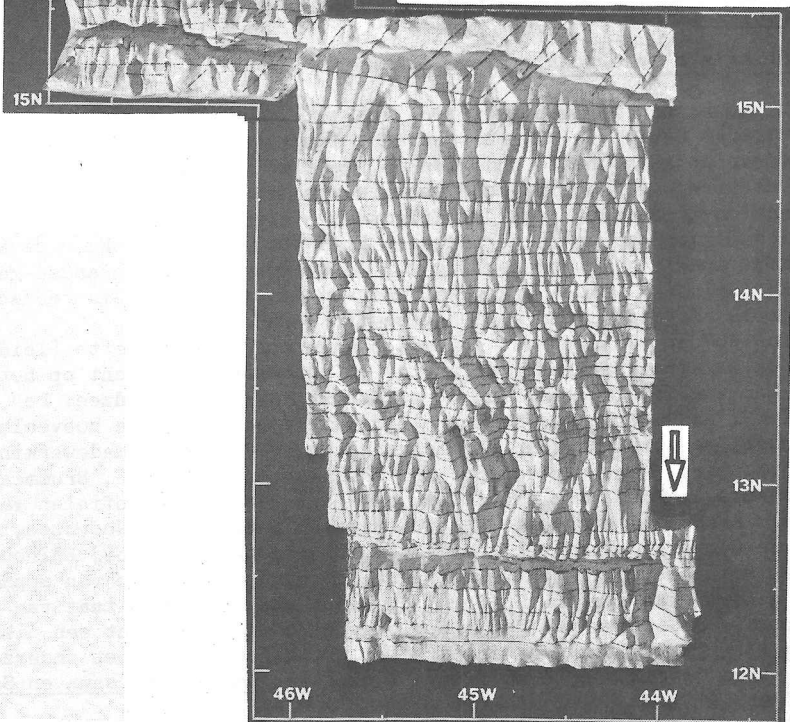
De werkgroep mariene geofysica van het Vening Meinesz Laboratorium te Utrecht heeft van 1964 af getracht langs seismische weg de structuur van de zeebodem te onderzoeken. Meestal gebeurde dit door middel van de air-gun. De seismische energie van deze trillingsbron was voldoende om door middel van de reflecteerde signalen de gelaagdheid van de sedimentbedekking op de zeebodem te bestuderen. In enkele gevallen konden, dank zij de medewerking van de Koninklijke Nederlandse Marine, zware explosies worden opgewekt, waarvan de trillingen als refracties op grote afstand konden worden geregistreerd.

In 1964 en 1965 was het seismisch onderzoek van Collette (leider van de werkgroep mariene geofysica) en medewerkers gericht op het bepalen van de structuur van de aardkorst onder de Noordzee. De Koninklijke Nederlandse Marine stelde hiervoor een grote hoeveelheid overtollige springstoffen ter beschikking en verleende medewerking bij de explosies. Met hulp van Hr. Ms. marineschepen Abcoude, Brummen, Cerberus, Leersum, Lochem en Luymes werden refractie-profielen van enkele honderden km lengte gelegd over een deel van de Noordzee, nl. bij de Doggersbank en ter hoogte van Flamborough Head (bij Edinburgh). De seismische trillingen werden geregistreerd met behulp van apparatuur die geleend was van B.P.M./Shell in Nederland. Het resultaat van dit refractie-onderzoek was dat onder enkele km slap sediment een dikke laag vast gesteente werd aangetroffen. De Moho werd in het onderzochte zeegebied bereikt op 30 km diepte (Collette, Lagaay, Ritsema en Schouten, 1967 en 1970).

Als onderdeel van het N.A.V.A.D.O.-project (zie: Aardmagnetisch



Topografie van de oceaانبodem in een deel van de Atlantische Oceaan, volgens seismisch onderzoek van het Vening Meinesz Laboratorium (R.U. te Utrecht). De Atlantische Riftzone (zie pijltjes) loopt noord-zuid en wordt bij 15°20' N.B. en ook bij 12°40' N.B. onderbroken door een oost-west gerichte "fracture zone". Volgens Collette et al., 1974b en 1980. Foto van de Stichting Film en Wetenschap (Utrecht).



Onderzoek) werd in een samenwerking tussen het Vening Meinesz Laboratorium te Utrecht en het Lamont Observatory te New York een onderzoek verricht naar de sedimentverdeling in de Noord-Atlantische Oceaan, door Collette, Ewing, Lagaay en Truchan (1969). Met behulp van een air-gun en een diepzee-echolood werd aan boord van het vaartuig H.M.S. Vidal de dikte van de sedimentbedekking gemeten langs een viertal profielen over de Midden-Atlantische Rug, tussen 10° N.B. en 19° N.B. Langs de Midden-Atlantische Rug en in een brede strook aan weerszijden daarvan werd weinig of geen sediment gevonden. In de diepe bekkens vond men sedimenten in enkele lagen tot een totale dikte van 2000 m. Uit de verdeling van de sedimenten volgt een spreidingsnelheid van de oceaانبodem van 1,2 cm per jaar, sedert het begin van de Krijt-periode.

Door Collette, Schouten en Rutten (1971) werd een speciaal onderzoek naar de sedimentbedekking uitgevoerd in het West-Europese bekken dat zich uitstrekt van de Golf van Biskaje tot Ierland, met medewerking van vrachtschepen van het Kroonvlag-project (zie: Aardmagnetisch Onderzoek). De volgende K.N.S.M.-schepen werden hierbij ingeschakeld: Themis, Aegis, Hathor, Osiris en Charis. Behalve de dikte van de sedimentlagen werd ook de sterkte van het aardmagneetveld geregistreerd.

In aansluiting aan het O.C.P.S. (onderzoek continentaal plateau van Suriname, zie: Aardmagnetisch Onderzoek) werd door Collette en medewerkers (1971) op het Guyana Plateau en op het continentale plat ter hoogte van de Surinaamse kust, een seismometrisch-geomagnetisch-gravimetrisch onderzoek uitgevoerd. Er werd gevaren zowel met Hr. Ms. Luymes alsook met het vrachtschip Themis van de S.M.S. (Scheepvaart Maatschappij Suriname). Langs acht profielen van circa 500 km lengte werd de structuur van de zeebodem, de sterkte van het aardmagnetische veld, en de versnelling van de zwaartekracht geregistreerd. Opmerkelijke resultaten waren de asymmetrische structuur van het Guyana Plateau en de aanwezigheid van aanzienlijke negatieve zwaartekraftsanomalieën op het continentale plat ten noorden van Suriname.

Na het N.A.V.A.D.O.-project zetten Collette en zijn werkgroep het geofysisch onderzoek op de Atlantische Oceaan voort in het Kroonvlag-project, gesteund door subsidies van Z.W.O. en van aardolie-maatschappijen. Dank zij de medewerking van de K.N.S.M. en de S.M.S. werden meer dan 50 seismische en magnetische profielen gelegd over het zeegebied tussen het Kanaal en Midden- en Zuid-Amerika, van 6° N.B. tot 37° N.B. De structuur van de oceaانبodem werd vrijwel continu bepaald door middel van een air-gun (type Lamont, verbeterd door Philips). Het aardmagneetveld werd continu gemeten met een protonmagnetometer. Alle data werden op magneetband geregistreerd door middel van een computer. De volgende schepen boden gastvrijheid voor het onderzoek: Luymes, Snellius en Vidal (tijdens het N.A.V.A.D.O.-project) en daarna de Kroonvlag-schepen Achilles, Adonis, Aegis, Arabian Express, Ares, Aristoteles, Charis, Chiron, Daphnis, Hathor, Hercules, Hermes, Marathon, Mercurius, Osiris, Palamedes, Themis. De gevaren profielen waren meest N.O./Z.W. gericht, maar ook wel O./W. wanneer de schepen op verzoek konden afwijken van de normale route.

Een enorme hoeveelheid gegevens van bathymetrie, seismiek en geo-

magnetisme (en na de beginjaren ook van de zwaartekracht) werd verzameld en bewerkt. Speciale aandacht werd geschonken aan de "fracture zones", die in de Midden-Atlantische Rug loodrecht staan op de Centrale Rift-zone. Het optreden van deze breukzones maakt de magnetische structuren in de Rug extra ingewikkeld. Collette en Rutten (1972) hebben reeds in het begin van de Kroonvlag-campagne getracht het verband te leggen tussen de richting van de Midden-Atlantische Rift, het patroon van de magnetische anomalieën en de breukzones. De voorlopige resultaten van het uitvoerige onderzoek werden vastgelegd in twee publicaties van Collette, Schouten, Rutten en Slootweg (1974a en 1974b).

Collette (1975) publiceerde een overzicht van de uitkomsten van het in de jaren 1964-1974 uitgevoerde onderzoek in het verslag van het Nationale Geodynamica Symposium (Amsterdam, 1975).

In 1979 werd Collette door het Ministerie van Economische Zaken om advies gevraagd voor het probleem van de opberging van sterk radioactief afval in de oceaانبodem. Dit is een internationaal probleem, waarvoor de O.E.S.O. (organisatie voor economische samenwerking en ontwikkeling) een "Seabed Working Group" heeft ingesteld, waarin de volgende landen zijn vertegenwoordigd: U.S.A., Canada, Engeland, Frankrijk, Japan en Nederland. De vraag was, of een geschikte plaats kon worden aangewezen waar het sterk radioactieve afval van kerncentrales en laboratoria in de oceaانبodem zou kunnen worden begraven. Er wordt thans een "Seabed Program" opgesteld, dat uitgaat van het seismisch onderzoek van de bodem van de Atlantische Oceaan, dat onder meer door het Vening Meinesz Laboratorium werd verricht. Voorlopig denkt men aan begraven van dit afval in een seismisch en structureel rustig gedeelte van een diep oceaانبekken (en dus niet in een subductie-zone). De Rijks Geologische Dienst te Haarlem zet momenteel het onderzoek voort.

Het in gebruik nemen van Hr. Ms. Tydeman (in 1977, zie: Aardmagnetisme) bracht een nieuwe fase in het onderzoek van de Atlantische Oceaan. De werkgroep mariene geofysica van het Vening Meinesz Laboratorium nam als eerste object een gebied ten zuidoosten van de Azoren in studie, om daar de invloed van de bodemtopografie op de magnetische anomalieën na te gaan, alsmede de storingen die "fracture zones" daarin aanbrengen (Twigt, Slootweg en Collette, 1979). Omdat nauwkeurige echolodgingen van de zeebodem een eerste vereiste zijn voor de bathymetrie, ontwikkelde Slootweg de theorie en de apparatuur om op zee drie-dimensionale echolodgingen uit te voeren. Zijn onderzoek leidde tot een dissertatie (1980). Het ligt uiteraard in de bedoeling dat de werkgroep mariene geofysica ook bij ieder toekomstig onderzoek, indien wenselijk, de akoestisch-seismische echolodging zal inschakelen.

REFERENTIES BIJ HOOFDSTUK II

- Ahorner, L., J.A. Flick, J.M. van Gils, G. Houtgast, A.R. Ritsema (1976) - First draft of an earthquake zoning map of N.W. Germany, Belgium, Luxemburg and the Netherlands. K.N.M.I. Publ. 153, 39-41, 1976.
- Berlage, H.P. (1924) - Untersuchung der De Quervain-Piccard'schen Seismographen und einiger allgemeiner seismometrischen Probleme. Dissertation, Zürich.
- Berlage, H.P. (1932) - Seismometer. Handbuch der Geophysik, Band 4, 299-526, 1932.
- Berlage, H.P. (1937) - A provisional catalogue of deep-focus earthquakes in the Netherlands East Indies, 1918-1936. Gerlands Beitr. zur Geophysik, 50, 7-17, 1937.
- Cloetingh, S.A.P.L., G. Nolet and M.J.R. Wortel (1980a) - Crustal structure of the Eastern Mediterranean inferred from Rayleigh wave dispersion. Earth Plan. Sci. Lett., 51, 336-342, 1980.
- Cloetingh, S.A.P.L., G. Nolet and M.J.R. Wortel (1980b) - Standard graphs and tables for the interpretation of Rayleigh wave group velocities in crustal studies. Proc. Kon. Ned. Akad. Wet., B 83 (1), 101-118, 1980.
- Cloetingh, S.A.P.L., G. Nolet and M.J.R. Wortel (1979) - On the use of Rayleigh wave group velocities for the analysis of continental margins. Tectonophysics, 59, 335-346.
- Csikós, I. (1975) - On the theory of the electromagnetic seismograph. Mededelingen en Verhandelingen van het K.N.M.I., no. 95 (1975).
- Csikós, I. (1975) - A preliminary note on Scholte's model of the earthquake focus with a discontinuous stress field, Sc. Rep. no. 13, Proc. Geodyn. Symp., Amsterdam, 1975.
- Collette, B.J., R.A. Lagaay, A.R. Ritsema and J.A. Schouten (1967) - Seismic investigations in the North Sea, 1 & 2. Geophys. Journ. Roy. Astr. Soc., 12, 363-373, 1967.
- Collette, B.J., J.I. Ewing, R.A. Lagaay and M. Truchan (1969) - Sediment distribution in the oceans: the Atlantic between 10°N and 19°N. Marine Geology, 7, 279-345, 1969.
- Collette, B.J., R.A. Lagaay, A.R. Ritsema and J.A. Schouten (1970) - Seismic investigations in the North Sea, 3 to 7. Geophys. Journ. Roy. Astr. Soc., 19, 183-199, 1970.
- Collette, B.J., J.A. Schouten and K.W. Rutten (1971) - Sediment distribution in the West European basin of the Atlantic Ocean. In: Histoire structurale du Golfe de Gascogne, VI.7, Ed. Technip, Paris, 1971.

- Collette, B.J., J.A. Schouten, K.W. Rutten, D.J. Doornbos and W.H. Staverman (1971) - Geophysical investigations off the Surinam Coast. Hydrogr. Newsl. Spec. Publ. 6, 17-24.
- Collette, B.J. and K.W. Rutten (1972) - Crest and fracture zone geometry of the Mid Atlantic Ridge between 10°N and 16°N. Nature Phys. Sciences, 237, 131-134, 1972.
- Collette, B.J., K.W. Rutten, J.A. Schouten and A.P. Slootweg (1974a) - Continuous seismic and magnetic profiles over the Mid Atlantic Ridge between 12°N and 18°N. Marine Geophys. Research, 2, 133-141, 1974.
- Collette, B.J., J.A. Schouten, K.W. Rutten and A.P. Slootweg (1974b) - Structure of the Mid Atlantic Ridge Province between 12°N and 18°N. Marine Geophys. Res., 2, 143-179.
- Collette, B.J. (1975) - Fracture zones in the Central North Atlantic: a review and progress report. In: Progress in Geodynamics, 208-217, Kon. Ned. Akad. Wet., 1975.
- Doornbos, D.J. (1974) - Array analysis of Core phases. Proefschrift, Utrecht.
- Doornbos, D.J. (1977) - The excitation of normal modes of the Earth by sources with volume change. Geophys. Journ. Roy. Astr. Soc., 51, 465-474, 1977.
- Doornbos, D.J. and J.C. Mondt (1979a) - Attenuation of P- and S-waves diffracted around the core. Geophys. Journ. Roy. Astr. Soc., 57, 353-380, 1979.
- Doornbos, D.J. and J.C. Mondt (1979b) - P- and S-waves diffracted around the core and the velocity structure at the base of the mantle. Geophys. Journ. Roy. Astr. Soc., 57, 381-396, 1979.
- Gedenkboek (1954) - Gedenkboek van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 1854-1954. Rijksuitgeverij, Den Haag.
- K.N.M.I. (1904-heden) - Seismische Registreringen in De Bilt, Vol. 1 (1904) - 30 (1942); Seismic Records at De Bilt, Vol. 31 (1943)-heden.
- Koning, L.P.G. (1941) - Over het mechanisme in den haard van diepe aardbevingen. Proefschrift, Amsterdam, 1941.
- Kennett, B.L.N. and G. Nolet (1979) - The influence of Upper Mantle discontinuities on the toroidal free oscillations of the Earth. Geoph. J. Roy. Astr. Soc., 56, 283-308.
- Mondt, J.C. (1977) - Full wave theory and the structure of the Lower Mantle. Proefschrift, Utrecht, 1977.
- Nolet, G. (1976) - Higher modes and the determination of Upper Mantle structure. Proefschrift, Utrecht, 1976.

- Nolet, G. and B.L.N. Kennett (1978) - Normal mode representation of multiple-ray reflections in a spherical Earth. Journ. Roy. Astr. Soc., 53, 219-226, 1978.
- N.T.v.N.I. (1898-1942) - Vulkanische verschijnselen en aardbevingen in den Oost-Indischen Archipel. Natuurkundig Tijdschrift van Nederlands-Indië, 1898-1942.
- Ritsema, A.R. (1952) - Over diepe aardbevingen in de Indische Archipel. Proefschrift, Utrecht, 1952.
- Ritsema, A.R. (1954) - The seismicity of the Sunda Arc in space and time. Indonesian Journal for Natural Sciences, , 41-50, 1954.
- Ritsema, A.R. (1955) - The fault plane technique and the mechanism in the focus of the Hindu Kush earthquakes. Indian Journ. Meteor. Geophys., 6, 41-50, 1955.
- Ritsema, A.R. (1957) - On the use of transverse waves in earthquake mechanism studies. Verhand. 52, Lemb. Meteor. Geof., Djakarta, 1957.
- Ritsema, A.R. (1958) - (i, Δ)- curves for bodily seismic waves of any focal depth. Verh. 54, Lemb. Meteor. Geof., Djakarta, 1958.
- Ritsema, A.R. and J. Veldkamp (1960) - Fault plane mechanisms of South-east Asian earthquakes. Meded. en Verhand. Kon. Ned. Meteor. Inst., No. 76, 1960.
- Ritsema, A.R. (1962) - P and S amplitudes of two earthquakes of the single force couple type. Bull. Seism. Soc. Amer., 52, 723-746, 1962.
- Ritsema, A.R. (1966a) - The fault plane solutions of earthquakes of the Hindu Kush Centre. Tectonophysics, 3, 147-163, 1966.
- Ritsema, A.R. (1966b) - Note on the seismicity of the Netherlands. Kon. Ned. Akad. van Wet., Proc. Ser. B, 69, 2, 235-239, 1966.
- Ritsema, A.R. (1969a) - Seismic-tectonic implications of a review of European earthquake mechanisms. Geol. Rundschau, 59, 36-56, 1969.
- Ritsema, A.R. (1969b) - Seismic data of the West Mediterranean and the problem of oceanization. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen., 26, 105-120, 1969.
- Ritsema, A.R. (1970a) - Notes on Plate Tectonics and Arc Movements in the Mediterranean Region. Proc. XII Gen. Ass. Eur. Seism. Comm., 1970.
- Ritsema, A.R. (1970b) - On the origin of the Western Mediterranean Sea Basins. Tectonophysics, 10, 609-623, 1970.
- Ritsema, A.R. (1972) - Deep earthquakes of the Tyrrhenian Sea. Geologie en Mijnbouw, 51, 541-545, 1972.

- Ritsema, A.R. (1974a) - General trends of fault plane solutions in Europe. Proc. General Assembly E.S.C., Trieste, 379-385, 1974
- Ritsema, A.R. (1974b) - The earthquake mechanisms of the Balkan Region. U.N.D.P.-Project Rem/70/172: K.N.M.I. Scient. Rep. 74-4, pp86, 1974.
- Ritsema, A.R. (1975a) - The contribution of the study of seismicity and earthquake mechanisms to the knowledge of Mediterranean geodynamic processes. Progress in Geodyn., Proc. Nat. Symp. Geod., Amsterdam, 142-153, 1975.
- Ritsema, A.R. (1975b) - Seismic sequences in the European Mediterranean. Proc. XIV General Assembly E.S.C., Trieste, 367-372, 1975.
- Ritsema, A.R. (1976, editor) - On earthquake risk for Nuclear Power Plants. K.N.M.I. Publ. 153, pp. 192, 1976.
- Ritsema, A.R. (1979) - Active and passive subduction at the Calabrian Arc. Geologie en Mijnbouw, 58, 127-134, 1979.
- Ritsema, A.R. and Z.V. Karnik (editors, 1979) - European Catastrophic Earthquakes. Tectonophysics, 53, 155-337, 1979.
- Ritsema, A.R. (1977) - Seismicity and seismic risk in the Sunda Arc. Proc. Symp. on the analysis of seismicity and on seismic risk, Liblica, 151-156, 1977.
- Ritsema, A.R. (1980) - On the assessment of seismic risk in the North Sea Area. K.N.M.I. Publ. V366, pp. 19, 1980.
- Ritsema, A.R. (1971, 1973, 1979) - Seismic detection and identification of underground nuclear explosions. Working paper Netherlands at C.C.D. no. 323/416, and C.D. no. 7, 1971, 1973, 1979.
- Ritsema, A.R. (1980) - Seismische controle op kernwapenproeven. Verslag afd. Natuurkunde Kon. Ned. Akad. Wet., 89, 36-41, 1980.
- Scholte, J.G.J. (1956) - On seismic waves in a spherical earth. Mededelingen en Verhandelingen K.N.M.I., 65, 1956.
- Scholte, J.G.J. (1958) - Rayleigh waves in isotropic and anisotropic elastic media. Mededelingen en Verhandelingen K.N.M.I., 72, 1958.
- Scholte, J.G.J. (1962) - Oblique propagation of waves in inhomogeneous media. Geophys. Journ. 7, 244-261, 1962.
- Scholte, J.G.J. and A.R. Ritsema (1962a) - Generation of earthquakes by a volume source with moment. Bull. Seism. Soc. Amer., 52, 747-765, 1962.
- Scholte, J.G.J. (1962b) - The mechanism at the focus of an earthquake. Bull. Seism. Soc. of America, 52, 711-721, 1962.
- Slootweg, A.P. (1980) - Multiple beam generation with a digital computer for echo-sounding at low and high frequencies. Proefschrift, Utrecht, 1980.

- Twigt, W., A.P. Slootweg and B.J. Collette (1979) - Topography and a magnetic analysis of an area south-east of the Azores. *Mar. Geophys. Res.*, 4, 91-104, 1979.
- Veen, H.J. van (1969) - A laser strain seismometer. *Proefschrift, Utrecht*, 1969.
- Vermeulen, J.M. and D.J. Doornbos (1977) - Mantle heterogeneity and mislocation patterns for seismic networks. *Journ. Geophys.*, 43, 545-559, 1977.
- Visser, S.W. (1921) - On the distribution of earthquakes in the Netherlands East Indian Archipelago, 1909-1919. *Verh. Kon. Magn. en Meteor. Obs. te Batavia*, 7, 1921.
- Visser, S.W. (1922) - Inland and submarine epicentra of Sumatra and Java earthquakes. *Verh. Kon. Magn. en Meteor. Obs. te Batavia*, 9, 1922.
- Visser, S.W. (1925) - Some researches into the propagation of Seismic Long Waves. *Verh. Kon. Magn. en Meteor. Obs. te Batavia*, 16, 1925.
- Visser, S.W. (1931) - On the distribution of earthquakes in the Netherlands East Indian Archipelago, 1920-1926. *Verh. Kon. Magn. en Meteor. Obs. te Batavia*, 22, 1931.
- Visser, S.W. (1933) - Aardbevingen en getijden te Amboina in 1932. *Natuurk. Tijdschr. voor Ned. Indië*, 93, 143-147, 1933.
- Visser, S.W. (1936a) - Some remarks on the deep-focus earthquakes in the I.S.S. *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, 47, 321-332, 1936.
- Visser, S.W. (1936b) - Some remarks on the deep-focus earthquakes in the I.S.S. *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, 48, 254-267, 1936.
- Visser, S.W. (1937) - Aardbevingen met zeer diepe haard in Nederlandsch Indië. *Natuurk. Tijdschr. voor Ned. Indië*, 97, 168-172, 1937.
- Visser, S.W. (1937a) - Aardbevingen met zeer diepen haard. *Tijdschrift Kon. Ned. Aardr. Gen.*, 54, 313-335, 1937.
- Vlaar, N.J. (1966) - The field from an SH-point source in a continuously layered medium. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 56, 715 and 56, 6, 1305 (1966).
- Vlaar, N.J. (1968) - Ray theory for an anisotropic inhomogeneous elastic medium. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 58, 6, 2053-2072, 1968.
- Vlaar, N.J. (1969) - Rays and travel times in a spherical anisotropic earth. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 59, 3, 1051-1060, 1969.
- Vlaar, N.J. (1975) - The driving mechanism of plate tectonics: a qualitative approach. In: *Progress in Geodynamics*, North Holland Publ. Cy., Amsterdam, 234-245, 1975.
- Vlaar, N.J. (1976) - On the excitation of the earth's seismic Normal Modes. *Pure and Appl. Geophys.*, 114, 863-875, 1976.

- Vlaar, N.J. and M.J.R. Wortel (1978) - Gravity and the earthquake mechanism. *Phys. Earth and Planetary Interiors*, 16, 240-246, 1978.
- Vlaar, N.J. and G. Nolet (1978) - Seismic surface waves. In: *Modern problems in elastic wave propagation*, ed. J. Miklowitz, 419-443, 1978.
- Wortel, M.J.R. (1980) - Age-dependent subduction of oceanic lithosphere. *Proefschrift, Utrecht*, 1980.

HOOFDSTUK III

ONDERZOEK VAN DE ZWAARTEKRACHT

1. Het levenswerk van F.A. Vening Meinesz

Het derde en jongste gebied waarop in Nederland (en ook door Nederlanders in het buitenland) geofysisch onderzoek werd en nog wordt verricht, is de studie van de zwaartekracht. Terwijl het aardmagnetisme reeds eeuwen lang in ons land belangstelling genoot, werd pas in het begin van deze eeuw begonnen met het registreren en analyseren van aardbevingen. Het onderzoek van de zwaartekracht in Nederland begon iets later, nl. in 1912, toen een jonge civiel-ingenieur, F.A. Vening Meinesz, trachtte de aantrekkingskracht van de aarde op veel plaatsen te meten met behulp van zwaartekrachtslingers.

Na de graad van civiel-ingenieur te hebben behaald (in 1910) trad Vening Meinesz in dienst bij de Rijkscommissie voor Graadmeting en Waterpassing (tegenwoordige naam: Rijkscommissie voor Geodesie). Hij werd belast met het verrichten van zwaartekrachtmetingen door middel van slingertijdbepalingen, maar ondervond daarbij hinder van de bewegelijke bodem, vooral in het westen van ons land. Voor een belangrijk deel konden de storingen worden opgeheven door het gebruik van paren van slingers, die zich in eenzelfde vlak in tegengestelde richtingen bewogen; het effect van de horizontale versnellingen van de bodem kon daardoor in eerste benadering worden geëlimineerd. Het onderzoek in deze richting leidde tot een proefschrift (Vening Meinesz, 1915).

Inmiddels was in de kringen van de internationale geodesie een interessant probleem aan de orde gesteld. Het vermoeden was gerezen dat de aarde meer leek op een drie-assige dan op een twee-assige ellipsoïde, met andere woorden: de equatoriale doorsnede van de aarde zou enigszins elliptisch zijn. Graadmetingen in verschillende continenten hadden aanleiding gegeven tot dit vermoeden (dat overigens uit fysisch oogpunt moeilijk te aanvaarden was). De graadmetingen waren onvoldoende nauwkeurig om de vorm van de aarde met de vereiste precisie te bepalen; dit was wel mogelijk door middel van zwaartekrachtmetingen.

De vorm van de aarde kan het best worden benaderd door de geoïde, d.i. het oppervlak gevormd door het gemiddelde zeeniveau in de oceanen, doorgetrokken door de vastelanden. Een zeer bruikbare mathematische benadering van de aardvorm is een omwentelingsellipsoïde, waarvan de korte as samenvalt met de polaire as van de aarde. Het probleem van de



Prof. Dr. Ir. F.A. Vening Meinesz met de slinger-gravimeter.

aardvorm is nu de bepaling van de ligging van de geoïde ten opzichte van een standaard-omwentelingsellipsoïde, en dit probleem kan via een theorema (van Stokes) worden opgelost, mits men beschikt over een voldoende dicht net van zwaartekrachtgegevens.

Vening Meinesz heeft de taak op zich genomen zoveel mogelijk metingen van de zwaartekracht te verrichten over een zo groot mogelijk gebied. Aangezien het overgrote deel van het aardoppervlak wordt ingenomen door de oceanen, moest de slingerapparatuur aan boord van een schip kunnen worden geplaatst. Een onderzeeboot gaf een vrijwel ideale oplossing: op een diepte van enkele tientallen meters bleken de schommelingen van het schip zo sterk gereduceerd, dat een nauwkeurige meting van de slingertijd en dus ook van de zwaartekrachtsversnelling mogelijk werd. Elke meting vergde een onderwatervaart van ruim een half uur, waarin de bewegingen van de slingers werden geregistreerd. De nauwkeurigheid van een dergelijke zwaartekrachtmeting was enkele milligal ($1 \text{ mgal} = 0,001 \text{ cm/sec}^2$). De voor zeemetingen aangepaste apparatuur werd in de jaren 1923 tot 1928 op het K.N.M.I. ontwikkeld. Gedurende meer dan 30 jaren was het slingertoestel van Vening Meinesz de beste en nauwkeurigste zeegravimeter ter wereld.

Voor het probleem van de twee- of drie-assigheid van de aarde waren reeksen van metingen nodig, zo mogelijk langs of parallel aan de evenaar, of tenminste langs een flink deel daarvan. Vandaar de grote reizen die Vening Meinesz heeft gemaakt: met Hr. Ms. K II in 1923 van Den Helder via het Suezkanaal naar Nederlands-Indië; daarna met Hr. Ms. K XIII via het Panamakanaal naar Nederlands-Indië (1926-1927), en als meest bekende tocht de reis met Hr. Ms. K XVIII naar Nederlands-Indië via Buenos Aires, Kaapstad en Perth (1934-1935). In de wateren van de Oost-Indische Archipel werden na aankomst nog veel metingen gedaan, vooral in de jaren 1929 en 1930, toen Hr. Ms. K XIII gedurende enkele maanden beschikbaar werd gesteld voor wetenschappelijk onderzoek. In totaal heeft Vening Meinesz een afstand van enkele malen de aardomtrek afgelegd en daarbij ruim 1000 zwaartekrachtmetingen uitgevoerd. De verslagen van deze reizen en de interpretaties van de meetresultaten werden gepubliceerd door de Rijkscommissie voor Graadmeting en Waterpassing (Vening Meinesz, 1932, 1934, 1941 en 1948).

Uiteraard heeft Vening Meinesz zich intensief bezig gehouden met de theorie van de zwaartekracht in verband met de tektoniek van de aardkorst, en met de reducties en correcties, nodig om de meetresultaten onderling vergelijkbaar te maken (Vening Meinesz, 1929 en 1941). Hij heeft de theorie van de tektonische processen in de aarde verdiept en uitgebreid, door het mechanisme van een thermische convectorie in de aarde in zijn beschouwingen op te nemen (Vening Meinesz, 1934, 1940, 1947). De grootte van de viscositeit onder de aardkorst werd bepaald uit de post-glaciale rijzing van Scandinavië (Vening Meinesz, 1937).

Een van de uitkomsten van de metingen was de ontdekking van een significante ellipticiteit van de evenaar. Daarmee was de oorspronkelijke aanleiding tot de meetreizen negatief beantwoord. Maar daar stonden veel positieve en belangrijke resultaten tegenover. In de eerste plaats was er het resultaat dat, mondiaal bekeken, het veld van de

zwaartekrachtwaarden in het algemeen wees op een tamelijk evenwichtige situatie van de aardkorst: de isostatische anomalieën van de zwaartekracht bleken in het algemeen klein te zijn. Men kan dit resultaat als volgt interpreteren: de aardkorst verkeert in een toestand van drijvend evenwicht ten opzichte van de daaronder gelegen lagen. Voorzover er afwijkingen van de isostasie voor de dag komen, moeten deze worden toegeschreven aan tektonische processen die het evenwicht verstoren.

Het belangrijkste resultaat van de metingen in de Indonesische Archipel was de ontdekking van een smalle strook met grote negatieve anomalieën, die loopt langs West-Sumatra, ten zuiden van Java, via Timor naar Ceram. Een tweede strook loopt van de Filipijnen naar Noordwest-Celebes. In de diepe binnenzeeën (zoals de Banda-zee) werden daarentegen positieve afwijkingen van de zwaartekracht gevonden, in velden gegroepeerd.

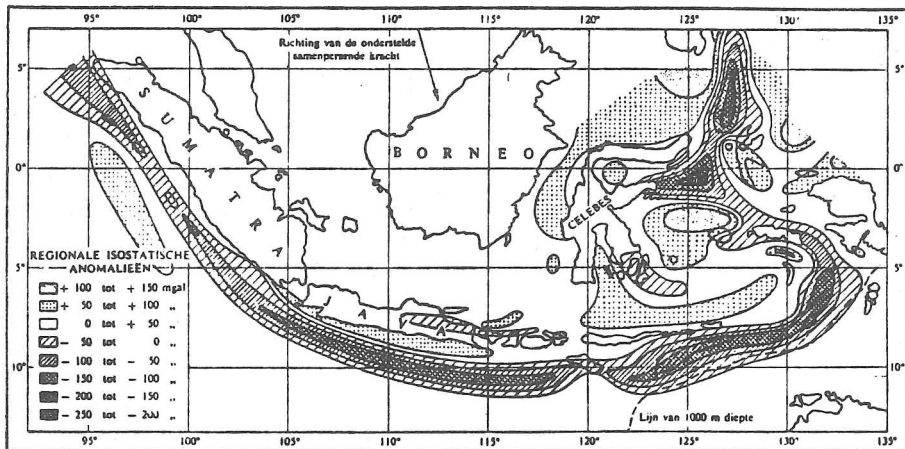
De negatieve gordel werd door Vening Meinesz verklaard met de knik- of plooi-theorie. Onder invloed van een veronderstelde samenpersende kracht uit N.N.W.-richting (veroorzaakt door het Aziatisch continent?) zou de aardkorst met een smalle plooi diep in de buitenmantel zijn binnengedrongen. Onder de plooi bevindt zich een wortel van lichte gesteenten, vandaar de sterk negatieve afwijking van de zwaartekracht. De eilanden die in de negatieve strook zijn gelegen (Timor, Kei, Ceram, Noord-Celebes) vertonen kenmerken van plooiing en overschuiving, als gevolg van de samenpersing.

Als civiel-ingenieur wist Vening Meinesz van het gedrag van een drijvende elastisch-plastische plaat die aan sterke zijdelingse compressie wordt onderworpen. Bij toenemende druk vormen zich golven in de plaat, totdat hij het overschrijden van een zekere grens een sterk eenzijdige uitwijking naar beneden optreedt. Naar beneden, omdat door de zwaartekracht een neerwaartse knik minder energie kost dan een opwaartse. De kniktheorie van Vening Meinesz werd door Ph.H. Kuenen experimenteel toegelicht (Kuenen, 1936).

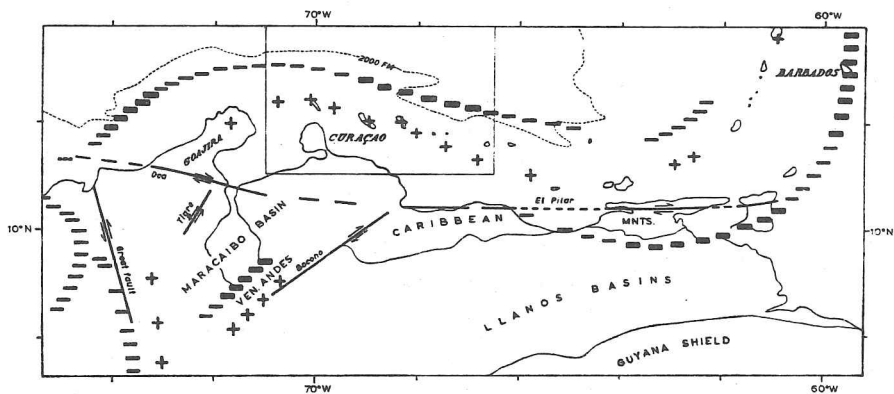
Vening Meinesz veronderstelde dat de gebergtevorming begint met de vorming van een synclinale golving, waarop de inknikking kan volgen. Daarna kan het evenwicht zich herstellen door de rijzing van de knikgordel en de vorming van een langgerekt gebergte. Vulkanisme en seismiciteit zijn gevolgen van de tektonische spanningen in het gebied. De sterk positieve afwijkingen van de zwaartekracht in de diepe bekkens (Soenda, Soela, Banda, enz.) kon Vening Meinesz verklaren door te veronderstellen dat deze gebieden gedaald zijn ten gevolge van convectiestromen in een plastische laag onder de aardkorst, die in gang zouden zijn gezet door de rijzing van de knikgordel. Boven convectieve dalstromen moeten inderdaad positieve anomalieën van de zwaartekracht en dalingen van het aardoppervlak optreden.

In zijn proefschrift (1954) heeft B.J. Collette de negatieve gordel met de flankerende positieve zones aan een meer gedetailleerd onderzoek onderworpen. Verschillende korstmodellen en viscositeitsconstanten werden vergeleken met het waargenomen zwaartekrachtveld.

De kniktheorie vond steun bij de geoloog J.H.F. Umbgrove (zie: Vening Meinesz, Umbgrove en Kuenen, 1934), die een uitvoerig onderzoek



Gordel van zwaartekrachtstekort in Indonesië (zie: Vening Meinesz, 1934). Het tekort is volgens Vening Meinesz te danken aan een instulping van de aardkorst als gevolg van horizontale druk uit N.N.W.-richting. Volgens de theorie van de platentektoniek is inderdaad een instulping in de aardkorst de oorzaak van de negatieve anomalieën, maar die instulping ontstaat doordat de Australische lithosfeerplaat onder de rand van de Aziatische plaat in een subductiezone verdwijnt.



Structureel-geologische elementen en zwaartekrachtsanomalieën in het Caraïbische gebied (Lagaay, 1968). De golfvormige korstdeformatie, die tot uitdrukking komt in de gebogen zones van negatieve en positieve zwaartekrachtsanomalieën, wordt toegeschreven aan een samenpersende kracht in N.W.-Z.O. - richting. Deze is het gevolg van de drift van Zuid-Amerika in N.W. - richting. Het spanningsveld is ook de oorzaak van een dextrale blokverschuiving langs een breukvlak dat in O.W. - richting door de rand van het continent loopt.

had gedaan naar de geschiedenis van het Tertiair in Indonesië. De knik was volgens hem opgetreden tijdens het Mioceen, zoals bleek op Timor, de Tanimber-eilanden en de Kei-eilanden. Ook op Sumatra en Java en op sommige eilanden oostelijk van Java vond Umbgrove sporen van een Mioceene plooiing. Volgens Umbgrove was het reliëf van de diepzeebekken van post-Mioceene ouderdom, en ontstaan door bodemdaling van een oorspronkelijk ondiepe zee. Dit was in overeenstemming met de door Vening Meinesz veronderstelde convectieve dalstroom.

Steuw ondervond Vening Meinesz ook van de geoloog-oceanograaf Kuener (1934), die de Snellius-expeditie had meegemaakt. Ook hij beschouwde, evenals Umbgrove, de meeste diepzeebekken als verzonken continentale gebieden. De ingewikkelde morfologie en tektoniek van de Oost-Indische Archipel zag hij als het gevolg van processen in de oorspronkelijke ontmoetingszone tussen Azië en Australië.

In deel II van "Gravity Expeditions at Sea" geeft Vening Meinesz een interpretatie van de zwaartekrachtsgegevens in andere zeeën en oceanen. De metingen in West-Indië toonden een zwaartekrachtsveld dat verrassende overeenkomsten heeft met dat van Nederlands Oost-Indië. Ook hier een smalle gordel met negatieve afwijkingen, geflankeerd door positieve gebieden. De negatieve gordel begint bij de oostpunt van Cuba, loopt langs de buitenkant van de boog van de Bovenwindse Eilanden, dan ten noorden van de Benedenwindse Eilanden en eindigt bij de kust van Zuid-Amerika. Vening Meinesz vermoedde dat dit zwaartekrachtsveld het gevolg is van een instulping in de aardkorst, ontstaan door compressie uit westelijke richting.

Wat de Atlantische Oceaan betreft, spreekt Vening Meinesz zich duidelijk uit als een tegenstander van de theorie van Alfred Wegener. Hij baseert zich op de stelling, dat vanwege het verschil in radioactiviteit tussen de continentale en de oceanische gesteenten, onder de continenten steeds convectieve stijgstromen aanwezig moeten zijn, en onder de oceanen dalstromen. Derhalve zouden bijv. Afrika en Zuid-Amerika niet uiteen gaan, zoals Wegener beweerde, maar integendeel naar elkaar toe geschoven worden.

Ook in de Middellandse Zee vond Vening Meinesz stroken van negatieve anomalieën die werden toegeschreven aan tangentiële druk, en positieve velden boven de diepe zeebekken. H.P. Coster behandelde deze kwesties in zijn proefschrift (Coster, 1945).

In 1948 werden, na een onderbreking van 10 jaren, de zwaartekracht-expedities hervat. Omdat Vening Meinesz hoofddirecteur van het K.N.M.I. was geworden, werden zowel medewerkers van het K.N.M.I. als van de afdeling Geodesie van de T.H. te Delft ingeschakeld. De zwaartekracht-expedities waren na de oorlog gericht op West-Indië en op Midden-Amerika.

Het slingertoestel werd in 1948 en 1949 gebruikt in Hr. Ms. O 24, op een tocht van Rotterdam naar Curaçao en terug, met G.J. Bruins en H.J.A. Vesseur als waarnemers. In 1951 werd opnieuw een tocht naar Curaçao gemaakt, nu met Hr. Ms. Tijgerhaai; de waarnemingen werden hoofdzakelijk verricht door R. Dorrestein. Van beide reizen verscheen een verslag in "Gravity Expeditions 1948-1958, Vol. V" (Bruins, Dorrestein, Vesseur, Bakker en Otto, 1960). Technische moeilijkheden

tijdens deze tochten (het optreden van zoutneerslag op de optiek van het slingertoestel) verhinderden een volledig succes. De meest uitvoerige meetreis was de tocht van Hr. Ms. Walrus in 1957. In verband met het Geofysisch Jaar (1957-1958) was dit schip, behalve voor de heen- en terugreis, ook voor ruim 5 weken beschikbaar gesteld voor wetenschappelijk onderzoek. Door L. Otto (K.N.M.I.) en G. Bakker (T.H.) werden 64 metingen van de zwaartekracht uitgevoerd in de Grote Oceaan bij de kusten van Columbia, Ecuador, Costa Rica en Panama. Aan de andere kant, in de Caraïbische Zee, werden 15 zwaartekrachtbepalingen uitgevoerd bij Columbia en Panama. Ook van deze expeditie vindt men het verslag in "Gravity Expeditions 1948-1958" (Bruins et al., 1960).

Het doel van deze grote reis, die de laatste was waaraan het K.N.M.I. personele medewerking verleende, was de studie van het Midden-Amerikaanse gebied met zijn ingewikkelde topografische en tektonische structuren. Vening Meinesz interpreteerde de resultaten als volgt. Een gordel van negatieve anomalieën in het kustgebied van Venezuela tot Haïti kan worden toegeschreven aan samenpersing van de aardkorst in de richting N.35^o., door het opdringen van Zuid-Amerika in deze richting ten opzichte van het Caraïbische gebied. Ten zuiden van Panama komen positieve anomalieën voor de dag boven diepzeebekkens, te vergelijken met de positieve velden in de Indonesische Archipel.

Na 1958 werd het slingertoestel van Vening Meinesz niet langer gebruikt (het staat nu als museumstuk opgesteld in het Geodetisch Laboratorium te Delft). Dit was enerzijds het gevolg van een verandering in de constructie van de Nederlandse onderzeeboten die geen ruimte meer liet voor het slingertoestel, en aan de andere kant door de ontwikkeling (door Askania) van een gravimeter die in combinatie met een gestabiliseerd platform kon worden gebruikt aan boord van oppervlakteschepen en die een continue registratie van de zwaartekracht mogelijk maakte.

2. Vening Meinesz en de theorie van Wegener

Zoals reeds werd vermeld, was Vening Meinesz een tegenstander van de theorie van Wegener. Hij achtte de grote continentverschuivingen (die volgens Wegener sedert het Carboon en vooral tijdens het kwartaair zouden hebben plaats gehad) alleen mogelijk in een zeer vroeg stadium van de aardgeschiedenis, en wel in de tijd toen de oceanische aardkorst als gevolg van de hoge temperatuur zo plastisch was dat de continentale blokken zich daarin konden verplaatsen. Na het Precambrium zouden slechts beperkte bewegingen in de aardkorst mogelijk geweest zijn, zoals de vorming van geosynclinalen en bergketens in de vastelanden en van troggen in de oceanen. In een boek dat Vening Meinesz samen met W.A. Heiskanen schreef (The Earth and its Gravity Field) en waarin hij onderwerpen behandelde zoals de mechanica van de aardkorst, de geofysische geschiedenis van een geosynclinaal, en de theorie van de thermische convectie in de aarde, wordt van Wegener's theorie alleen gezegd dat het oercontinent inderdaad uiteen werd gescheurd door convectiestromen in de aardmantel, maar dat dit uitsluitend mogelijk was in de

beginfase van de aardhistorie (Heiskanen and Vening Meinesz, 1958).

Enkele jaren vóór zijn dood publiceerde Vening Meinesz een beknopte samenvatting (1964) van zijn opvattingen over de processen in de aardkorst en in de aardmantel, waarin een zekere toenadering tot Wegener opvalt. Onder de indruk van de resultaten van het paleomagnetisch onderzoek van gesteenten uit allerlei werelddelen, die wezen op grote verplaatsingen, kwam hij tot de conclusie dat inderdaad onder de oceanen zeer grote delen van de aardkorst kunnen verdwijnen door instulpen en smelten; dat kan de ligging van de vastelanden veranderen. Echter zou een dergelijke continentendrift beperkt blijven tot de orogene tijdperken in de aardgeschiedenis. Een vrijwel voortdurende continentdrift, zoals door het paleomagnetisme wordt geleerd, heeft Vening Meinesz niet kunnen aanvaarden. Wel vond hij in de continentverplaatsingen een bevestiging van zijn stelling, dat in de aardmantel convectiestromen werkzaam waren.

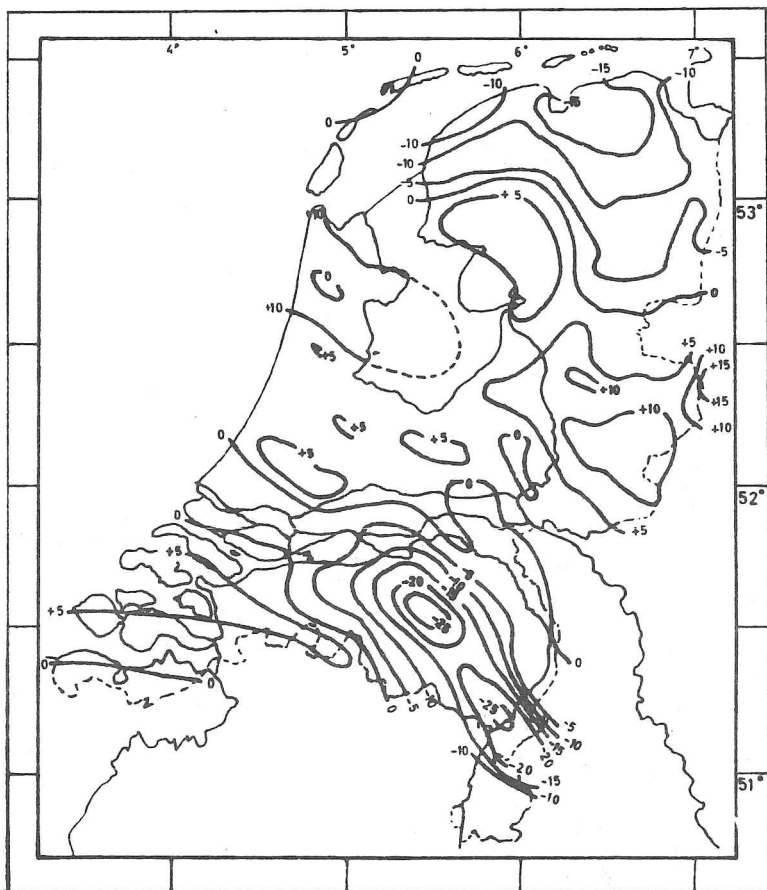
3. Het levenswerk van Vening Meinesz (slot)

Het levenswerk van Vening Meinesz is van grote betekenis zowel voor de geodesie als voor de geofysica en de geologie. Veel onderzoekers zijn gestimuleerd door zijn ideeën die met grote overtuigingskracht werden gebracht. Ook zij die hem niet in alles konden volgen, kwamen onder de indruk van zijn mathematische beheersing van de vaak moeilijke problemen. De internationale waardering die Vening Meinesz genoot, blijkt duidelijk uit het Gedenboek F.A. Vening Meinesz (1957) dat hem werd aangeboden bij gelegenheid van zijn 70ste verjaardag. Het bevat een 30-tal artikelen van geodeten en geofysici uit de internationale gemeenschap.

Veel van wat Vening Meinesz heeft gepubliceerd is nog steeds waardevol, maar sommige theorieën zijn minder succesvol gebleken. De kniktheorie heeft het in de gordels van negatieve zwaartekrachtanomalieën moeten afleggen tegen het subductieproces van de mondiale platenktoniek. Het axioma dat onder vastelanden steeds stijgende convectiestromen moeten voorkomen en onder oceanen dalende, berustte op onjuiste gegevens omtrent de warmtehuishouding in en onder de aardkorst. Maar het overgrote deel van zijn oeuvre zal nog lang gehandhaafd blijven.

4. Zwaartekrachtsonderzoek door anderen

Gedurende de oorlog en ook in de jaren daarna zijn in Nederland zeer veel metingen van de zwaartekracht verricht door de Rijkscmissie voor Geodesie (door G.J. Bruins en G.L. Strang van Hees) en vooral door medewerkers van de Bataafse Petroleum Maatschappij (B.P.M.). De metingen werden uitgevoerd met Thyssen- en Graf-gravimeters, en later ook met gravimeters van Askania, Worden en North American Company. Een zeer gedetailleerde isogrammenkaart van Bouguer-anomalieën in Nederland, gebaseerd op ruim 26000 metingen, werd door A. van Weelden gepubliceerd



Anomalieën van de zwaartekracht in Nederland. Negatieve waarden vooral boven de Centrale Slenk in Noord-Brabant, als gevolg van de diepe ligging van de zwaardere gesteenten. Een meer gedetailleerde kaart verscheen in het Gedenkboek F.A. Vening Meinesz (van Weelden, 1957).

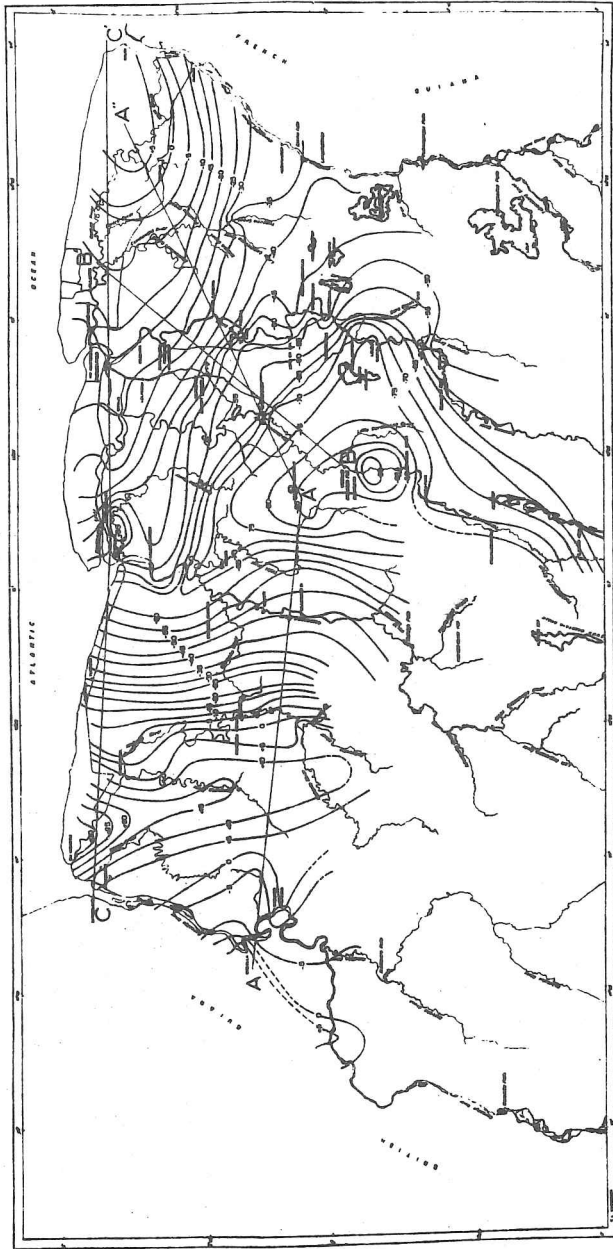
in het Gedenboek F.A. Vening Meinesz (1957). In het zwaartekrachtveld van Nederland is de geologische structuur van de ondergrond zichtbaar.

Gebruik makend van een zeer groot aantal zwaartekrachtmetingen, door medewerkers van B.P.M./Shell verricht, heeft J.W. de Bruyn (B.P.M.) kaarten van de zwaartekracht gepubliceerd voor het Caraïbische gebied en voor Zuidoost-Azië (de Bruyn, 1951), en ook voor Europa en Noord-Afrika (de Bruyn, 1955). J. Hospers en J.C. van Wijnen bestudeerden het zwaartekrachtveld van de Venezolaanse Andes en de aangrenzende bekkens (1959). Hun conclusie is, dat deze Andes werden gevormd door een overschuiving van een zuidoostelijk korstblok over een noordwestelijk deel.

Inmiddels hadden Amerikaanse onderzoekers onder leiding van M. Ewing honderden zwaartekrachtmetingen in onderzeeboten van de U.S. Navy uitgevoerd langs de westkust van Zuid-Amerika en in het Caraïbische Zeegebied. De uitkomsten van deze metingen werden gepubliceerd in het Gedenboek dat in 1957 aan Vening Meinesz werd aangeboden. In 1964 gaf Vening Meinesz een interpretatie van deze uitkomsten. De vorming van het Andes-gebergte en van de diepe troggen in de zeebodem langs de westkust van Zuid-Amerika, gepaard aan negatieve waarden van de zwaartekrachtanomalieën langs de westkust, werd toegeschreven aan de invloed van een veronderstelde convectiestroom in de aardmantel, opstijgend onder de Pacifische Rug en druk uitoefenend in de Zuid-Amerikaanse aardkorst in noord-noordwestelijke richting. Het gehele gebied van topografie en zwaartekracht is analoog aan de situatie in de Indonesische Archipel, en ook de interpretatie is in wezen dezelfde (Vening Meinesz, 1964).

Het onderzoek van Vening Meinesz werd in de Noordzee voortgezet door B.J. Collette (1960), met behulp van een duikboot en van oppervlakteschepen van de Kon. Ned. Marine. In 1955 werd Hr. Ms. Vos beschikbaar gesteld voor de metingen, in 1956 Hr. Ms. onderzeeboot Zeeleeuw en in 1957 Hr. Ms. Fret. Tijdens de reizen met de Vos en de Fret werden de gravimeters (North American) op 250 plaatsen op de bodem van de Noordzee neergezet, en via kabels afgelezen. Waar de zee te diep was, werd het slingertoestel van Vening Meinesz ingeschakeld (aan boord van de Zeeleeuw). De aanleiding tot dit onderzoek was de stormramp van 1953. Vening Meinesz achtte het mogelijk dat de bodemdaling van Nederland een reactie zou zijn op de post-glaciale stijging van Fennoscandië, en dit zou door zwaartekrachtmetingen te controleren zijn. De metingen van Collette hebben deze theorie echter niet bevestigd. De isostatische anomalieën in de Noordzee konden worden verklaard uit de geologische structuren. In het onderzochte gebied kon geen invloed van de stijging van Fennoscandië worden geconstateerd. Dit klopt ook met berekeningen van J.M. Burgers en B.J. Collette (1958), die de glaciale daling van een aardkorstmodel als functie van de tijd hebben bestudeerd.

In het kader van het programma voor het Geofysisch Jaar werden in 1957 door Veldkamp (1960) zwaartekrachtmetingen uitgevoerd langs de Marowijne in Suriname en ook langs de spoorbaan Paramaribo-Kabel-Dam. Deze metingen sloten aan bij de slingermetingen van Vening Meinesz, in 1949 uitgevoerd in de Atlantische Oceaan aan boord van Hr. Ms. O 24.



Zwaartekrachtsanomalieën in Noord-Suriname (van Boeckel, 1968). Het tekort aan zwaartekracht in Noord-Suriname wordt volgens van Boeckel veroorzaakt door een batholiet, een enorme granietmassa in de aardkorst, waarvan het centrum onder A'B is gelegen en die zich in een groot gedeelte van de Noord-Surinaamse aardkorst heeft uitgebreid.

Het resultaat wees op een geleidelijke overgang van de continentale in de oceanische aardkorst noordelijk van Suriname. Het onderzoek werd voortgezet door J.J.G.M. van Boeckel, die in de jaren 1958 en 1960 op ruim 400 plaatsen in Noord-Suriname de zwaartekracht bepaalde. Dit onderzoek leidde tot een proefschrift (van Boeckel, 1968). Zeer opvallend was hierbij een groot gebied van zwaartekrachtstekort in Centraal-Suriname, dat door van Boeckel wordt toegeschreven aan een graniet-batholiet. De afmetingen daarvan zijn zo groot, dat de geodetische plaatsbepalingen merkbaar worden gestoord.

R.A. Lagaay heeft metingen uitgevoerd op de Nederlandse Antillen en de resultaten daarvan bewerkt in zijn proefschrift (1969). De zwaartekracht wijst op een golfvormige deformatie van de aardkorst in het overgangsgebied tussen continent en oceaan. De ingewikkelde structuren in het Caraïbische gebied worden volgens Lagaay bepaald door de drift van Zuid-Amerika naar het noordwesten, en door de oost-noordoost gerichte beweging van de bodem van de Grote Oceaan. De gravimetrische gedeelten in de proefschriften van Van Boeckel en Lagaay werden ook apart gepubliceerd door de Rijkscommissie voor Geodesie (Veldkamp, 1969).

In de jaren 1964-1965 werden in het kader van het N.A.V.A.D.O.-project (zie: Aardmagnetisme) door een Nederlands team aan boord van Hr. Ms. Snellius tien oversteken gemaakt over de Noord-Atlantische Oceaan, tussen 22°N.B. en 49°N.B. Op deze reizen werd de zwaartekracht geregistreerd met behulp van een Askania-zeegravimeter, die ontwikkeld was voor gebruik op oppervlakteschepen. Onder gunstige omstandigheden, afhankelijk van de navigatie en plaatsbepaling, behaalt dit instrument een nauwkeurigheid van enkele mgal of beter. Het grote voordeel van deze zeegravimeter boven een slingerapparaat is de continuïteit van de registrering. Tijdens N.A.V.A.D.O. III werd de Askania-zeegravimeter beheerd door G.L. Strang van Hees (T.H. te Delft). De registraties van bathymetrie, geomagnetisme en zwaartekracht werden gepubliceerd door het Hydrografische Bureau van de Kon. Ned. Marine (Anonymous, 1967).

Zwaartekrachtmetingen waren ook opgenomen in het O.C.P.S.-program (multidisciplinair onderzoek op het continentale plateau van Suriname). In 1966 werd de zwaartekracht op het westelijk deel van dit zeegebied in kaart gebracht door Strang van Hees, door middel van de Askania-zeegravimeter aan boord van de Snellius. Het oostelijk deel van het Surinaamse Plateau werd door Strang van Hees en Vesseur opgenomen in 1969; hierbij kon gebruik worden gemaakt van het opnemingsvaartuig Hr. Ms. Luymes (Veldkamp, 1967 en 1971). Collette en medewerkers (1971) voerden met de Luymes een aansluitend onderzoek uit op het aangrenzende Guyana Plateau; ook werden enkele profielen gevaren met behulp van de Themis (S.M.S.). De zwaartekracht speelde bij dit onderzoek een belangrijke rol.

Het onderzoek van de Midden-Atlantische Rift in de jaren 1975 tot 1978 leidde tot een model waarin de rift wordt verklaard als het resultaat van het uiteengaan van de lithosfeer en de daarmee verbonden reactie van de viskeuze asthenosfeer op de veranderde belasting (Collette, Verhoef en de Mulder, 1980).

In de toekomst zal het geofysisch onderzoek van de oceanen worden

uitgevoerd, hetzij met het oceanografisch onderzoekingsvaartuig Hr. Ms. Tydeman (zie: Aardmagnetisme) of met gecharterde vrachtschepen. Het is de bedoeling in ieder geval de zwaartekrachtmetingen voort te zetten. Verwacht mag worden, dat het onderzoek van de zwaartekracht inzicht zal verschaffen in de diepere structuren en processen in de aardmantel.

REFERENTIES BIJ HOOFDSTUK III

- Anonymous (1967) - N.A.V.A.D.O. III, Bathymetric, Magnetic and Gravity Investigations, Hr. NL. Ms. Snellius. Hydrogr. Newsletter, Spec. Publ. Nr. 3, Parts 1, 2, 3. Hydrografisch Bureau van de Kon. Ned. Marine.
- Boeckel, J.J.G.M. van (1968) - Gravitational and geomagnetic investigations in Surinam and their structural implications. Proefschrift, Amsterdam, 1968.
- Bruyn, J.W. de (1951) - Isogam maps of Caribbean Sea and surroundings and of south east Asia. Proc. Third World Petr. Congress, Section Geol. and Geoph., Leiden, 598-612, 1951.
- Bruyn, J.W. de (1955) - Isogam maps of Europe and North Africa. Geophys. Prospect. 3, 1-14, 1955.
- Bruins, G.J., R. Dorrestein, H.J.A. Vesseur, G. Bakker, L. Otto (1960) - Gravity Expeditions 1948-1958, Vol. V. Atlantic, Caribbean and Pacific Cruises. Rijkscommissie voor Geodesie, Delft, 1960.
- Burgers, J.M. and B.J. Collette (1958) - On the problem of the post-glacial uplift of Fennoscandia. Proc. Kon. Ned. Akad. Wet., Series B 61, 221-241, 1958.
- Collette, B.J. (1954) - On the gravity field of the Sunda region (West Indonesia). Proefschrift, Utrecht, 1954.
- Collette, B.J. (1960) - The gravity Field of the North Sea. Gravity expeditions, 1948-1958, Vol. V, Rijkscommissie voor Geodesie, Delft, 1960.
- Collette, B.J., J.A. Schouten, K.W. Rutten, D.J. Doornbos and W.H. Staverman (1971) - Geophysical investigations off the Surinam Coast. Hydrograph. Newsletter, Spec. Publ. Nr. 6, 17-24, Hydrografisch Bureau Kon. Ned. Marine.
- Collette, B.J., J. Verhoef and A.F.J. de Mulder (1980) - Gravity and a Model of the Median Valley. Journal of Geophysics, 47, 91-98, 1980.
- Coster, H.P. (1945) - The gravity field of the Western and Central Mediterranean. Proefschrift, Utrecht, 1945.
- Gedenkboek F.A. Vening Meinesz (1957) - Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnbouw. Genootschap, Geol. Serie, Vol. 18, 1957.
- Heiskanen, W.A. and F.A. Vening Meinesz (1958) - The Earth and its Gravity Field. McGraw-Hill Book Comp. Inc., 1958.
- Hospers, J. and J.C. van Wijnen (1959) - The gravity field of the Venezuelan Andes and adjacent basins. Verh. Kon. Ned. Akad. Wet., Afd. Nat., deel 23, Nr. 1, 1959.

- Kuenen, Ph. H. (1936) - The negative isostatic anomalies in the East Indies. Leidse Geol. Mededelingen, VIII, 169-214, 1936.
- Lagaay, R.A. (1969) - Geophysical investigations of the Netherlands Leeward Antilles. Proefschrift, Utrecht, 1969.
- Veldkamp, J. (1960) - Measurements of gravity in Surinam. Gravity expeditions 1948-1958, Vol. V, Rijkscommissie voor Geodesie, Delft, 1960.
- Veldkamp, J. (ed.) (1967) - Scientific Investigations on the shelf of Surinam, Hr. NL. Ms. Snellius (1966). Hydrographic Newsletter, Spec. Publ. Nr. 5, Hydrografisch Bureau Kon. Ned. Marine.
- Veldkamp, J. (ed.) (1969) - Gravity surveys in Surinam and the Netherlands Leeward Islands area, 1958-1965. Rijkscom. Geodesie, Vol. 3, Nr. 3, Delft, 1969.
- Veldkamp, J. (ed.) (1971) - Scientific investigations on the shelf of Surinam, Hr. NL. Ms. Luymes (1969). Hydrographic Newsletter, Spec. Publ. Nr. 6, Hydrografisch Bureau Kon. Ned. Marine, 1971.
- Vening Meinesz, F.A. (1915) - Bijdragen tot de theorie der slingerwaarnemingen. Proefschrift, Delft, 1915.
- Vening Meinesz, F.A. (1929 and 1941) - Theory and practice of Pendulum Observations at Sea, Vol. I, 1929 and Vol. II, 1941. Rijkscommissie voor Geodesie, Delft.
- Vening Meinesz, F.A. (1932) - Gravity expeditions at Sea, 1923-1930, Vol. I. Rijkscommissie voor Graadmeting en Waterpassing, Delft, 1932.
- Vening Meinesz, F.A., J.H.F. Umbgrove, Ph. H. Kuenen (1934) - Gravity expeditions at Sea, 1923-1932, Vol. II. Rijkscommissie voor Graadmeting en Waterpassing, Delft.
- Vening Meinesz, F.A. (1934) - Gravity and the hypothesis of convection currents in the earth. Verh. Kon. Ned. Akad. Wet., Vol. 37, 37-45, 1934.
- Vening Meinesz, F.A. (1937) - The determination of the earth's plasticity from the post-glacial uplift of Scandinavia. Proc. Kon. Ned. Ak. Wet., Vol. 40, 654-662.
- Vening Meinesz, F.A. (1940) - The earth's crust deformation in the East Indies. Proc. Kon. Ned. Akad. Wet., Vol. 43, 278-293, 1940.
- Vening Meinesz, F.A. (1941) - Gravity expeditions at Sea, 1934-1939. The expeditions, the computations and the results, Vol. III. Rijkscommissie voor Geodesie, Delft.
- Vening Meinesz, F.A. (1948) - Gravity expeditions at Sea, 1923-1938. Complete results with isostatic reduction. Interpretations of the results, Vol. IV. Rijkscommissie voor Geodesie, 1948.

- Vening Meinesz, F.A. (1947) - Convection Currents in the Earth. Proc. Kon. Ned. Akad. Wet., Vol. 50, 237-245, 1947.
- Vening Meinesz, F.A. (1964) - The Earth's Crust and Mantle. Developments in Solid Earth Physics 1, Elsevier Publ. Comp., Amsterdam, 1964.
- Vening Meinesz, F.A. (1964) - Interpretation of gravity anomalies on the west coast of South America and in the Caribbean. Neth. Geod. Comm., Publ. on Geodesy, New Series Vol. 2, Nr. 1, 1964.
- Weelden, A. van (1957) - History of gravity observations in the Netherlands. Gedenkboek F.A. Vening Meinesz, 305-309, 1957.

HOOFDSTUK IV

GEOFYSISCHE ACTIVITEIT IN INTERNATIONAAL VERBAND

1. Pooljaren

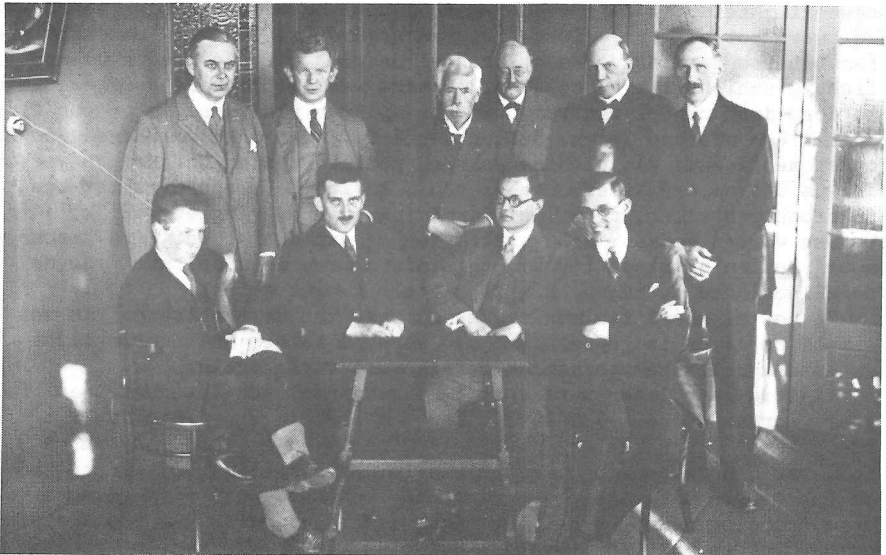
De internationale belangstelling voor de poolstreken en voor de toen nog onbegrepen geofysische verschijnselen die zich daar afspelen (magnetische stormen en poollicht) hebben geleid tot de organisatie van het Eerste Internationale Pooljaar 1882-1883. Afgesproken was dat Nederland een meteorologisch-geomagnetisch station zou opzetten te Port Dickson, aan de mond van de Jenisseï in Siberië. Een 10 man sterke expeditie onder leiding van M. Snellen (een functionaris van het K.N.M.I.) vertrok in 1882 met het poolschip "Varna" naar het noorden. Voordat de eindbestemming was bereikt, raakte het schip vast in het pakijs van de Karazee en werd lek. De expeditie overwinterde op het ijs en kon door de beweeglijkheid van de ijsvloer geen magnetische observaties verrichten. Wel werd het meteorologische program afgewerkt. Ook werd aandacht besteed aan het noorderlicht. Men was geheel onzeker over de hoogte waarop dit lichtverschijnsel zich vertoont. Daarom werd geprobeerd hoogtemetingen te doen door middel van waarnemingen op twee plaatsen die op een flinke onderlinge afstand lagen. Gedacht werd dat enkele km voldoende zou zijn, omdat men meende dat althans sommige poollichten op wolkhoogte verschenen. Er was daarom een telefoonkabel van 5 km lengte meegenomen met twee telefoontoestellen, zodat de waarnemingen in overleg en gelijktijdig konden worden gedaan. Het verslag van de expeditie, dat werd geschreven door Snellen en Ekama (1910), zegt niets over de resultaten van de parallactische metingen. Zij zijn stellig niet gelukt.

In het algemeen kan men zeggen dat een van de resultaten van het eerste Pooljaar is geweest dat het verband tussen het noorderlicht en de aardmagnetische stormen duidelijk werd vastgesteld.

Vijftig jaar later werd voor de tweede maal een Internationaal Pooljaar georganiseerd (1932-1933). Een Nederlandse expeditie van vier studenten (J. van Zuylen, J.A. de Bruïne, H.P.Th. van Lohuyzen en K.L. van Schouwenburg) overwinterde in Angmagssalik (Oost-Groenland) en werkte een uitgebreid programma af, bestaande uit waarnemingen van de meteorologie en van het aardmagnetisme, het maken van poollichtfoto's en het peilen van de ionosfeer. Het plan, de hoogte van het poollicht te bepalen uit foto's die gelijktijdig in verschillende stations zouden worden genomen, heeft weinig succes gehad. De veranderingen in de pool-



De staf van de Nederlandse Noordpool-expeditie 1882-1883. Links zittend M. Snellen (chef van de expeditie) en rechts L.A.H. Lamie (practische leiding en astronomische observaties). Staande van links naar rechts H.J. Kremer (arts), J.M. Ruijs (natuurfilosoof), H. Ekama (fysicus) en F. Rust (belast met het aanknopen van handelsbetrekkingen). Het personeel van de expeditie bestond uit 5 man (stuurman, timmerman, stoker, kok en machinist).



Het Nederlandse Comité voor het 2e Internationale Pooljaar 1932-1933 en de vier expeditieleden (zittend, v.l.n.r. H.P.Th. van Lohuizen, J. van Zuylen, J.A. de Bruijne en K.L. van Schouwenburg). Foto N.V. Polygoon.

lichten waren meestal zo snel, dat gelijktijdig fotograferen een illusie bleek; de radiocontacten tussen Angmagssalik en andere stations op Groenland waren daarvoor onvoldoende.

Toch werd, dankzij de vestiging van een groot aantal waarnemingsstations in het poolgebied, een beter inzicht verkregen in de locatie van de poollichten: zij kwamen vooral voor in een vrij smalle poollichtgordel rondom de magnetische as van de aarde. Het ionosfeeronderzoek bewees de invloed van elektrisch geladen deeltjes, van de zon afkomstig, op de ionosfeer in het poolgebied. De vorming zo nu en dan van een speciale intense ionisatie (Es) op het niveau van de normale E-laag, en de "polar black out", dit is een ongewoon sterke absorptie van radiogolven in het poolgebied, waren ontdekkingen van het tweede Pooljaar. Het verslag van de Groenland-expeditie en het resultaat van de magnetische waarnemingen te Angmagssalik zijn beschreven in een K.N.M.I.-publicatie (K.N.M.I., 1940).

Van Nederlandse zijde werd in dit Pooljaar nog een tweede expeditie uitgezonden, naar IJsland, voor het onderzoek van de troposfeer. Onder leiding van H.G. Cannegieter werden door Nederlandse militaire vliegers bij Reykjavik, wanneer het weer het toeliet, dagelijks aerologische hoogtevvluchten uitgevoerd (Cannegieter, 1932 en 1934). Zo mogelijk werd tweemaal per dag een hoogtevvlucht met een meteorograaf voor metingen van de temperatuur boven IJsland ondernomen. Dit gelukte 330 maal op 260 dagen; dikwijls kwam het vliegtuig tot boven 6000 m. Ook werden bij Reykjavik loodsballons en radiosondes opgelaten, die vaak tot in de stratosfeer opstegen.

2. Geofysische Jaren

Na de Pooljaren kwam, 25 jaar later, het Internationaal Geofysisch Jaar (I.G.J.) 1957-1958. Nu waren niet uitsluitend de poolgebieden werkterrein voor geofysische expedities, maar kreeg het onderzoek een wereldomvattend karakter. In Nederland was tijdens het I.G.J. de belangstelling niet gericht op het poolgebied, maar op het eigen land en op de overzeese Rijksdelen. Het K.N.M.I. liet de radiosonde-ballons opstijgen tot abnormaal grote hoogte. De ionosfeer werd vrijwel continu gepeild, en op internationale dagen werd de drift in de ionosfeer boven Nederland door middel van radiosignalen gevolgd. De aardmagnetische variaties werden in het Magnetisch Station te Witteveen geregistreerd. De Sterrewacht te Utrecht maakte studie van iedere zonnevlam die kon worden waargenomen. De Nederlandse weerschepen waren ingeschakeld voor de uitvoering van het oceanografisch program (metingen van temperatuur en zoutgehalte). Het Nederlandse program, waaraan behalve door het K.N.M.I. en de Sterrewacht te Utrecht ook werd meegewerkt door de Ned. P.T.T. (bewaking van de zon, metingen van radiostraling van de zon), door het Natuurkundig Laboratorium van de Universiteit van Amsterdam (registratie van de kosmische straling) en door het Laboratorium voor Geodesie van de T.H. te Delft (metingen van onregelmatigheden in de aardrotatie en schommelingen van het aardlichaam ten opzichte van de

draaiingsas), werd in een publicatie van het K.N.M.I. vastgelegd (K.N.M.I., 1957).

In Paramaribo (Suriname) en in Hollandia (Nederlands Nieuw Guinea) werd begonnen met geofysisch onderzoek. In beide plaatsen werd een geomagnetisch station gesticht, er werd een ionosfeer-peilstation ingericht en er werd een radiospiegel opgesteld die de radiostraling van de zon registreerde. In Suriname werden ook na het I.G.J. deze geofysische waarnemingen voortgezet; in Hollandia werden echter na de soevereiniteitsoverdracht aan Indonesië de waarnemingen gestaakt.

De waarnemingen van het aardmagnetisme bij Paramaribo en Hollandia zijn vastgelegd in Jaarboeken die door het K.N.M.I. werden uitgegeven. De geomagnetische Jaarboeken voor Paramaribo zijn verschenen in de jaarreeks 1957-1967 (Paramaribo, 1957-1967). Het ligt in de bedoeling dat deze reeks zal doorlopen tot 1981 (eind 1981 werden de registraties gestaakt). De geomagnetische Jaarboeken van Hollandia zijn uitgegeven voor de jaren 1957-1962 (Hollandia, 1957-1962). De andere waarnemingen, de peilingen van de ionosfeer, werden voor wat betreft Paramaribo en Hollandia gepubliceerd in een reeks van maandelijksse bulletins, die door het K.N.M.I. werden uitgegeven (Paramaribo, 1957-1970 en Hollandia, 1958-1959).

De afdeling Geodesie van de T.H. te Delft organiseerde een station voor astronomisch-geodetische waarnemingen op Curaçao. Gedurende het I.G.J. werd dit station door twee geodetische ingenieurs verzorgd. De waarnemingsresultaten gaven aanleiding tot een proefschrift (Scheepmaker, 1963).

Een van de resultaten van het I.G.J. was de ontdekking van de magnetosfeer en de Van Allen-gordel. Na een uitbarsting op de zon kunnen geladen deeltjes in de magnetosfeer binnendringen. Zij raken in de Van Allen-gordel gevangen, en vliegen spiraliserend rond de magnetische veldlijnen tussen het noordelijk en het zuidelijk halfrond heen en weer. Daardoor verschijnt het poollicht vrijwel altijd gelijktijdig in de beide poollichtgordels.

De grote geofysische activiteit die door het I.G.J. 1957-1958 op gang was gekomen, werd na afloop voor een deel gekanaliseerd in permanente banen: veel nieuw opgerichte waarnemingsposten bleven ook na die tijd in actie. Het I.G.J. was opzettelijk zo gekozen, dat het samenviel met een periode van buitengewoon grote activiteit van de zon. In de jaren daarna rijpte het inzicht dat de resultaten van het onderzoek nog meer betekenis zouden krijgen als zij konden worden vergeleken met de verschijnselen tijdens een zonnevlekkenminimum. Vandaar het plan voor een nieuwe intensivering van het onderzoek tijdens de Internationale Jaren van de Rustige Zon (International Quiet Sun Years, I.Q.S.Y., 1964-1965).

Het program van actie leek veel op dat van het I.G.J., maar was minder uitvoerig. Veel aandacht werd besteed aan trillingen van het aardmagnetisch veld die worden toegeschreven aan het heen en weer flitsen van geladen deeltjes langs de magnetische krachtlijnen. Voorts kwamen de metingen van windsnelheden in de ionosfeer in de belangstelling, en ook de waarnemingen van de "whistlers", de langgolvige radiosignalen die samenhangen met bliksemontladingen.

Het Nederlandse program voor het I.Q.S.Y. werd aangepast aan de internationaal vastgestelde lijst van wensen. Evenals tijdens het I.G.J. werden de meteorologische, astronomische en geofysische stations in Nederland ingeschakeld, en ook het geofysisch station te Paramaribo. De resultaten van het onderzoek tijdens het I.Q.S.Y. hebben geleid tot een nadere detaillering van de vondsten die tijdens het I.G.J. waren gedaan; in het bijzonder geldt dit voor de magnetosfeer en de Van Allen-gordels.

3. Belgisch-Nederlandse Zuidpoolexpedities

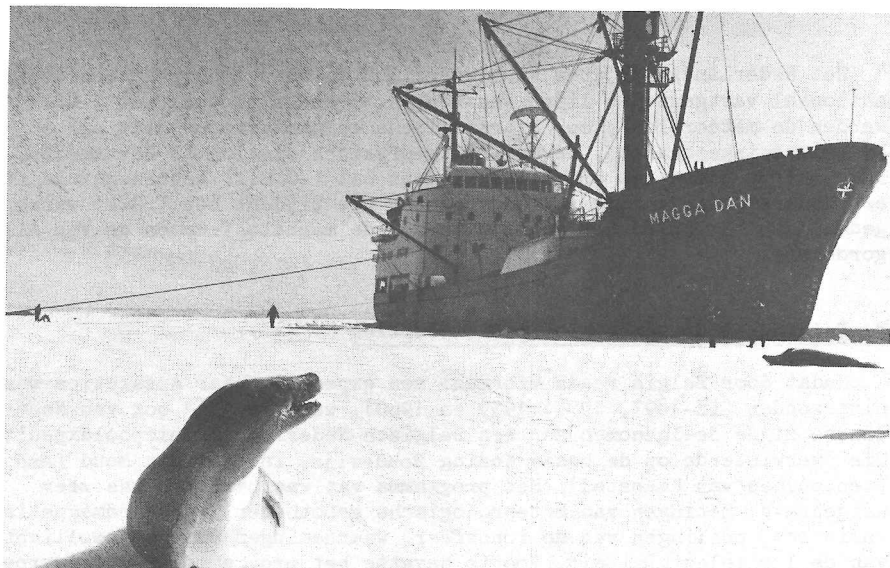
Nadat door België reeds viermaal een expeditie naar Antarctica was uitgezonden (in 1897, 1958, 1959 en 1960), werd in 1964 ook van Nederlandse zijde deelgenomen aan een Belgisch-Nederlandse zuidpoolexpeditie, die overwinterde op de basis Koning Boudewijn, in Koningin Maud Land (ten zuiden van Kaapstad). Het programma van waarnemingen was zeer uitgebreid: metingen van meteorologische grootheden, van aardmagnetische variaties, peilingen van de ionosfeer, waarnemingen van het poollicht en van de luchtelectriciteit. Voorts bevatte het programma de onderwerpen geodesie, topografie, gravimetrie, glaciologie, biologie en fysiologie. De Nederlandse deelnemers aan de expeditie-1964 (J. Rietman, P.M. Buis, J. van Ameyde en P. Verschoor) hebben zich speciaal ingezet voor de meteorologie. Daarnaast waren ook de echopeilingen van de ionosfeer en de luchtelectrische metingen aan hen toevertrouwd.

Het Antarctisch onderzoek was een voortzetting van de geofysische activiteit die in het I.G.J. was begonnen. Het werd gecoördineerd door het Scientific Committee for Antarctic Research (S.C.A.R.), dit is een comité van de I.C.S.U. (International Council of Scientific Unions).

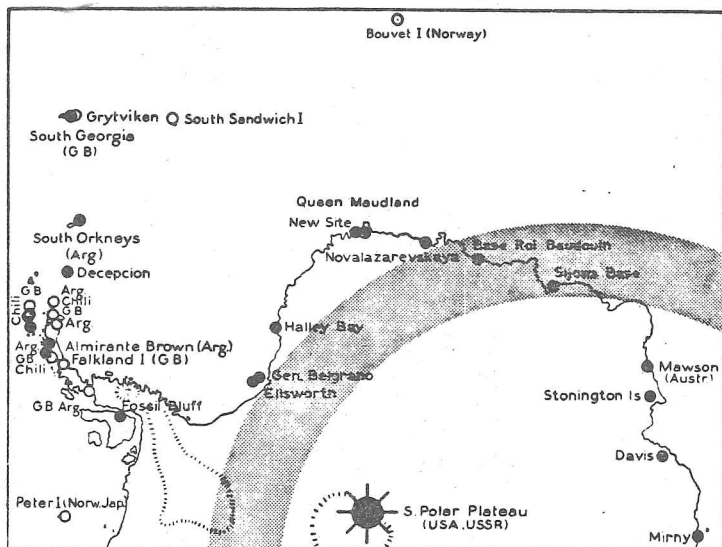
Het Belgisch-Nederlandse program paste ook in het kader van de I.Q.S.Y., waarin extra nadruk werd gelegd op metingen van het atmosferische ozon en van de radioactiviteit in de lucht, als hulpmiddelen voor de bestudering van bewegingen in de atmosfeer. Speciaal boven de poolgebieden zou dit kunnen leiden tot een inzicht in de merkwaardige overgang van de winter naar de zomer, die bekend staat onder de naam van "stratospheric warming".

Nog tweemaal (gedurende 1965 en 1966) heeft een Belgisch-Nederlandse expeditie telkens voor een jaar de basis Koning Boudewijn bezet, en een internationaal vastgesteld programma uitgevoerd. Ook bij deze expedities verzorgden de Nederlanders de meteorologische en de ionosferische waarnemingen. Van Nederlandse zijde waren de deelnemers aan de expeditie-1965: J. Wisse, K. van der Veen, H. Noback en J. Roest. Aan de derde expeditie (1966) werd deelgenomen door A.J. Meerburg, C. Kraan, C. van Vliet en C. Stelling.

Tenslotte werd de basis in februari 1967 gesloten, en daarmee kwam een einde aan een interessante samenwerking op wetenschappelijk gebied tussen België en Nederland. De resultaten van de expedities, die onder de algemene leiding stonden van Baron Gaston de Gerlache de Gomery, werden gepubliceerd in een reeks Jaarboeken, waarin de meteorologische,



Ontscheping van de Belgisch-Nederlandse Zuidpoolexpeditie 1964-1965 bij de basis Koning Boudewijn (foto Dr. de Breuck).



De Belgisch-Nederlandse Antarctische Expedities hebben in 1964, 1965 en 1966 de basis Koning Boudewijn in Koningin Maud Land bezet. De grijze ring is de zuidelijke poollichtgordel.



Leden van de Belgisch-Nederlandse Zuidpoolexpeditie 1964-1965 laten bij de Basis Koning Boudewijn een meteorologische radiosonde opstijgen. Foto Ir. J. Rietman.

geomagnetische en ionosferische grootheden zijn samengebracht. Deze Jaarboeken werden voor een belangrijk deel door het K.N.M.I. verzorgd; zij zijn in de Bibliotheek aldaar aanwezig.

Uit de combinatie van de onderzoeken van de deelnemende landen kon het volgende worden afgeleid. De meteorologische waarnemingen hebben tot resultaat gehad dat inzicht werd verkregen in de warmtehuishouding van de Antarctische dampkring. De sterke uitstraling van de ijskap wordt gecompenseerd door een meridionale aanvoer van warmere lucht via de troposfeer. Dit proces gaat gepaard met dalende lucht-bewegingen boven Antarctica. De rand van het continent wordt gekenmerkt door een stormachtig klimaat, als gevolg van de valwinden en van een sterke depressie-activiteit rondom de ijskap. Voor de meteorologische evenals voor de andere geofysische waarnemingen (ionosfeer, aardmagnetisme, poollicht, luchtelectriciteit) geldt dat alleen door een synoptische bestudering van het waarnemingsmateriaal van alle Antarctische stations een goed inzicht in de processen kan worden verkregen. Het waarnemingsmateriaal zal nog voor decennia stof tot bestudering leveren.

Een algemeen verslag van het werk, dat tijdens een overwintering in Antarctica werd verricht, werd door Van der Veen en Wisse geschreven (van der Veen en Wisse, 1967).

4. Het Upper Mantle Project (U.M.P.)

Na afloop van het I.G.J. werd voor het onderzoek van de vaste aarde in 1960 een speciale organisatie opgezet: het Upper Mantle Project (U.M.P.). Doel van dit project was het onderzoek van de buitenmantel en van de invloed die de buitenmantel uitoefent op de aardkorst. Van Nederlandse zijde werd hieraan deelgenomen door werkgroepen die de volgende onderwerpen onderzochten.

a. Haardmechanismen van aardbevingen. Aardbevingen werden bestudeerd waarvan de epicentra lagen in Indonesië, Japan, Europa, Hindu-Kush, het Middellandse Zeegebied en de Midden-Atlantische Rug.

b. Geomagnetisme (Noord-Atlantische Oceaan, Nederlandse Antillen, Suriname).

c. Paleomagnetisme. Gesteenten werden onderzocht uit Zweden, Duitsland, Spanje, Sardinië, Alpen, India, IJsland.

d. Zwaartekracht. Metingen in de Noord-Atlantische Oceaan, de Noordzee, op de Antillen en in Suriname.

e. Aardkorstbewegingen in Nederland. Controle door geodetische metingen.

f. Aardwarmtestroom door de bodem van de Noord-Atlantische Oceaan.

g. Geochemie en radiometrische dateringen (Suriname, Scandinavië, Iberisch schiereiland).

h. Geotektoniek (Middellandse Zeegebied, Scandinavië).

Geen van deze onderzoeken werd speciaal door de Nederlandse Commissie voor het U.M.P. opgezet; zij werden door de instellingen, die daarbij belang hadden, georganiseerd. Wel heeft het U.M.P. een stimulerende werking gehad, niet in het minst door de contacten die tussen de onder-

zoekers tot stand kwamen. De onderzoeken onder a, b, c, d, en f, werden reeds in de Hoofdstukken I, II en III besproken.

Het U.M.P. werd in 1971 afgesloten. Het Nederlandse aandeel werd vastgelegd in het "Final Report of the Netherlands Commission for the Upper Mantle Project, May 1971", (K.N.A.W., 1971).

5. Het Geodynamica Project (G.P.)

In 1970 werd de doelstelling van het U.M.P. nader gepreciseerd als het onderzoek naar de dynamische processen in en onder de aardkorst. Dit bracht een naamsverandering met zich mee; het U.M.P. werd omgezet in het "Geodynamics Project" (G.P.). Men wilde in het G.P. de bewegingen bestuderen van de platen of schollen, waarin de lithosfeer is verdeeld, via gegevens van de seismologie alsook van het paleomagnetisme. Voorts zouden dieptegesteenten in speciale laboratoria worden onderzocht om de geodynamische eigenschappen van de gesteenten in de buitenmantel beter te kunnen begrijpen.

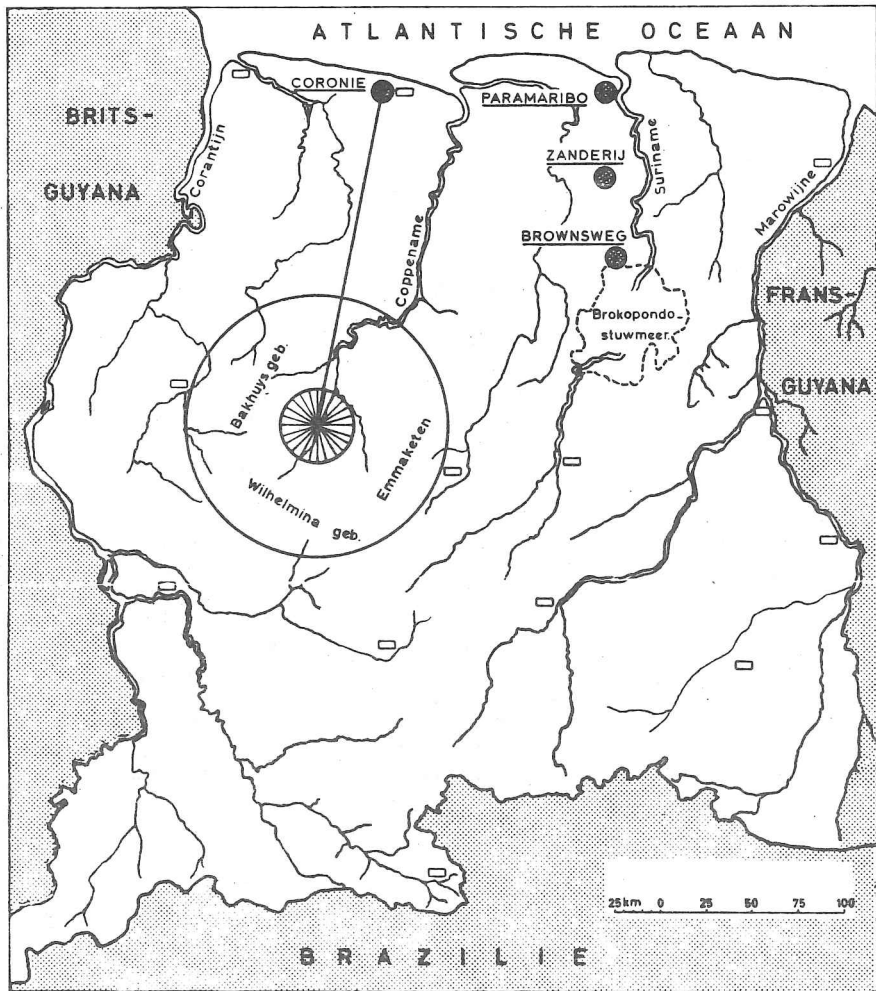
Een voorlopige rapportage van de Nederlandse onderzoeken vindt men in de publicatie "Progress in Geodynamics" (K.N.A.W., 1975). Dit is een bundel artikelen waarvan de volgende van geofysische aard zijn: geomagnetische gordels (As), satelliet-geodesie (Aardoom), aardkorstbewegingen (Baarda, van Mierlo), dislocatie-theorie en aardbevingsmechanismen (Steketee), model van een aardbevingshaard met een discontinu spanningsveld (Csikós), seismiteit en aardbevingsmechanismen in het Middellandse Zeegebied (Ritsema), rotatie van Italië volgens paleomagnetische gegevens (van den Berg et al.), anisotropie van de magnetische susceptibiliteit (van den Ende), structurele geschiedenis van het India-Pakistan subcontinent (Wensink), breukzones in de Centraal-Atlantische Oceaan (Collette), bewegingsmechanisme van de platen tektoniek (Vlaar). Het merendeel van deze onderzoeken werd al in de vorige hoofdstukken genoemd.

6. Windmetingen in de ionosfeer boven Suriname

In Hoofdstuk I werd onder paragraaf 3 vermeld dat windbewegingen in de ionosfeer kunnen worden afgeleid uit het fadingpatroon van in de ionosfeer teruggekaatste radiogolven (zie: Vesseur, 1970), en dat een fading-ontvanger onder meer heeft gewerkt in Paramaribo (Suriname).

Omdat de interpretatie van de fadingregistraties afhangt van enkele veronderstellingen, werd besloten de fading-methode te toetsen door middel van natriumsporen die door raketten in de ionosfeer zouden worden geproduceerd. Het bleek mogelijk dit experiment in Suriname uit te voeren. Een overeenkomst met N.A.S.A. kwam tot stand, de goedkeuring van de Surinaamse regering werd verkregen, en een subsidie werd toegezegd door de Nederlandse Organisatie voor Z.W.O.

Vier raketten (Nike-Apache) werden gratis door N.A.S.A. beschikbaar gesteld. De Kon. Ned. Marine vervoerde ze naar Curaçao, en het verdere



Windmetingen in de ionosfeer boven Suriname (1965). Raketten met ingebouwde natriumovens werden op het vliegveld van Coronie in zuidelijke richting gelanceerd. De natriumsporen waren tot meer dan 100 km hoogte zichtbaar. Waarnemingsposten waren gevestigd in Paramaribo, Zanderij en Brownsweg.



Een Nike-Apache raket staat klaar om te worden gelanceerd voor het onderzoek van de wind in de ionosfeer boven Suriname (foto R.V.D., Paramaribo).

transport geschiedde per vrachtboot naar Paramaribo. De natriumovens werden door de "Service d'Aéronomie" van het "Centre d'Etudes Spatiales" te Parijs in de neuskegels van de raketten ingebouwd. De Troepenmacht in Suriname zorgde voor transport van de raketonderdelen en van de lanceerinrichting van Paramaribo naar Coronie, en ook voor de radioverbindingen tussen de lanceerbasis en de waarnemingsposten. De raketten werden gelanceerd op het vliegveld van Coronie, en de waarnemingsposten waar de natriumsporen werden gefotografeerd, stonden in Paramaribo, Zanderij en Brownsweg. Medewerkers van de Sterrewacht te Utrecht en van het K.N.M.I. te De Bilt zorgden voor de lanceringen en voor de fotografische waarnemingen. Een groep Franse waarnemers van het Centre National d'Etudes Spatiales had een speciale interesse voor eventuele turbulentieverschijnselen in de ionosfeer, en stelde waarnemingsapparatuur op bij Paramaribo. Vier deskundigen van N.A.S.A. waren bij de eerste lancering aanwezig.

De verdeling van de Nederlandse waarnemers was als volgt. Op het lanceerterrein waren van Gils, Maseland, Mulder en Vesseur verantwoordelijk voor de raketten. De waarnemingspost in het Militair Kampement te Brownsweg werd verzorgd door van der Laan en Smit, en die op het vliegveld Zanderij door Lantwaard, Mej. Burger en Sevensma. In Paramaribo werden de waarnemingen verricht met hulp van de Meteorologische Dienst van Suriname. De ionosferische driftmetingen waren toevertrouwd aan een deskundige van de Surinaamse Lands Telegraaf- en Telefoondienst. De leiding van de expeditie berustte bij C. de Jager (directeur van de Sterrewacht en van het Laboratorium voor Ruimte-onderzoek te Utrecht) en J. Veldkamp (directeur Geofysische Afdeling van het K.N.M.I.).

In september 1965 werden de lanceringen uitgevoerd. Tweemaal werd een raket afgevuurd tijdens de avondschemering, en tweemaal even voor zonsopkomst. Het spoor van natriumdamp werd door de zon beschenen en de rood-gele resonantiekleur stak duidelijk af tegen de donkere hemel. Een verslag van de lanceringen verscheen in het tijdschrift Hemel en Dampkring (J.N. van Gils, C. de Jager, L.J. Lantwaard, A. Smit en J. Veldkamp, 1966).

Het is uit de opnamen duidelijk geworden dat de ionosfeer boven Suriname 's avonds veel sterker in beweging verkeert dan 's ochtends. Grote windscheringen doen zich voor in een gebied tussen 90 en 110 km hoogte, afgewisseld door turbulente lagen. Er was tijdens de experimenten in september 1965 geen nauw verband tussen de drift en de wind in de ionosfeer. De drift van onregelmatigheden in de ionisatie was blijkbaar samengesteld uit chaotische bewegingen (als gevolg van akoestische z.g. zwaartekrachtsgolven), gecombineerd met een reële windbeweging. De gemiddelde driftbeweging kan daarentegen wel met de wind gecorrigeerd worden. De waarnemingen werden uitgewerkt door H.W.N. Sevensma (1968), en gepubliceerd door het Sterrekundig Instituut van de Rijksuniversiteit te Utrecht.

REFERENTIES BIJ HOOFDSTUK IV

- Cannegieter, H.G. (1932 en 1934) - Het Nederlandsche aerologisch station te Reykjavik tijdens het Internationale Pooljaar. Hemel en Dampkring, 30, 1932 en 32, 1934.
- Gils, J.N. van, C. de Jager, L.J. Lantwaard, A. Smit en J. Veldkamp (1966) - Raketlanceringen in Suriname. Hemel en Dampkring, 64, 225-246, 1966.
- Hollandia (1957-1962) - Yearbook Geomagnetism, Hollandia, Netherlands New Guinea. K.N.M.I., De Bilt.
- Hollandia (1958-1959) - Monthly Bulletin on Ionospheric etc. Data, Hollandia, Netherlands New Guinea. K.N.M.I., De Bilt.
- K.N.A.W. (1971) - Upper Mantle Project, Final Report of the Netherlands Commission. Kon. Ned. Akad. van Wetensch., 1971.
- K.N.A.W. (1975) - Progress in Geodynamics, Geodynamics Project, Scientific Report no. 13 by A.R. Ritsema ed., Kon. Ned. Akad. van Wetensch., 1975.
- K.N.M.I. (1940) - Magnetische waarnemingen te Angmagssalik gedurende het Internationaal Pooljaar 1932-1933. K.N.M.I. publicatie no. 98, De Bilt, 1940.
- K.N.M.I. (1957) - Het Internationaal Geofysisch Jaar 1957-1958. Verspreide Opstellen no. 4, K.N.M.I., De Bilt.
- Paramaribo (1957-1967) - Yearbook Geomagnetism, Paramaribo, Surinam. K.N.M.I., De Bilt.
- Paramaribo (1957-1970) - Monthly Bulletin on Ionospheric etc. Data, Paramaribo. K.N.M.I., De Bilt.
- Scheepmaker, A.C. (1963) - Analyse van de waarnemingsresultaten verkregen op het Geodetisch Astronomisch Station op Curaçao tijdens het Internationaal Geofysisch Jaar 1957-1958. Proefschrift Delft, 1963.
- Sevensma, H.W.N. (1968) - Metingen aan de ionosferische wind boven Suriname in september 1965 met behulp van natriumsporen. Publicatie van het Sterrekundig Instituut der Rijksuniversiteit te Utrecht, nr. 1968/2.
- Snellen, M. en H. Ekama (1910) - Rapport sur l'expédition polaire néerlandaise. Utrecht, 1910.

Veen, K. van der, en J.A. Wisse (1967) - De Belgisch-Nederlandse
Antarctische Expedities. Diligentia voordracht. K.N.M.I.,
De Bilt, 1967.

Vesseur, H.J.A. (1970) - A correlation apparatus for the measurement
of the drift in the ionosphere by the spaced receiver method.
Journ. Atm. Terr. Physics, 32, 829-835, 1970.

HOOFDSTUK V

EXPLORATIE-GEOFYSICA

1. Inleiding

Bij het geofysisch onderzoek ter opsporing van delfstoffen wordt gebruik gemaakt van elektrische, seismische, magnetische en gravimetrische methoden. Daarvan zijn de magnetische en gravimetrische methoden het oudst; zij zijn echter in de laatste decennia in betekenis overvleugeld door de elektrische weerstandsmethoden (voor het opsporen van ertslichamen en voor de verkenning van het ondiepe grondwater) en, voor zover het de opsporing van aardolie en aardgas betreft, vooral door de seismische methoden.

Geofysische methoden zijn in ons land waarschijnlijk het eerst toegepast in Zuid-Limburg voor de opsporing van ertsen. P.J.C. de Wijkerslooth de Weerdesteyn, die reeds vóór zijn afstuderen als mijnbouwkundig ingenieur belangstelling had voor mogelijke ertsvoorkomens in Nederland, vermoedde de aanwezigheid van grote hoeveelheden lood- en zinkertsen in de Limburgse bodem, en paste elektrische methoden toe voor de opsporing van de ertsafzettingen. De resultaten van de metingen zouden worden gecontroleerd door boringen op gunstige plaatsen. De Wijkerslooth richtte voor dit onderzoek een N.V. op onder de naam "Cavando Acquiro" (ik verwerf door boren). W. Nieuwenkamp (later hoogleraar petrografie en mineralogie aan de R.U. te Utrecht) was als geoloog-geofysicus (en tevens als aandeelhouder) betrokken bij het onderzoek. Er werd gewerkt met gelijkstroom (voor metingen van de apparente bodemweerstand en voor aequipotentiaalmetingen) alsook met wisselstroom (voor metingen van de impedantie bij verschillende akoestische frekwenties). De aanwezigheid van ertsaders zou moeten blijken uit vervormingen van het elektrische veld. De veldmetingen en boringen werden in de jaren 1935 en 1936 en ook nog daarna uitgevoerd. De meetapparatuur was gekocht van de "Geologische Landesanstalt" in Duitsland. Een van de commissarissen van de N.V. Cavando Acquiro was F. Zernike (hoogleraar in de theoretische fysica te Groningen, later Nobelprijswinnaar). Verslagen van het geo-electrisch onderzoek werden gepubliceerd door De Wijkerslooth (1937) en door Nieuwenkamp (1937). Helaas bleken de vermoede rijke ertsafzettingen in Zuid-Limburg niet aanwezig.

2. Geofysisch onderzoek in Ned. Oost-Indië

Vóór de oorlog werd door medewerkers van de Bataafsche Petroleum Maatschappij (Koninklijke/Shell groep) veel onderzoek uitgevoerd in het voormalig Nederlands Indië. Het doel was geologische structuren te vinden die gunstig waren voor het boren naar aardolie. In de eerste plaats deed men zwaartekrachtsonderzoek met behulp van torsiebalansen en (omgekeerde) Thyssen-slingers, dit in aansluiting aan het netwerk van zwaartekrachtmetingen dat Vening Meinesz had gelegd. Met de torsiebalans kon de horizontale gradiënt van de zwaartekrachtsversnelling worden bepaald; de metingen waren echter moeilijk en tijdrovend. Na 1935 werd het onderzoek uitsluitend met veergravimeters uitgeoefend, die minder kwetsbaar, sneller en ook nauwkeuriger waren.

Daarnaast werden boringen verricht voor geologisch-geofysisch onderzoek. Metingen van de elektrische weerstand en van de spontane elektrische potentiaal in boorgaten, volgens de methoden van de Gebr. Schlumberger, gaven inlichtingen over de doorboorde gesteenten (zie voor het geofysisch onderzoek in Nederlands Nieuw Guinea: W.A. Visser en J.J. Hermes, 1962).

In 1936 begon de Koninklijke/Shell, naast of ook in samenwerking met andere exploratie-maatschappijen, een seismisch refractie- en reflectie-onderzoek op Sumatra en Borneo, met wisselend succes. Omstreeks 1940 deed men de eerste experimenten met "off-shore" seismische technieken; dit gebeurde in de Staat Malakka en in de Java Zee (nabij Cheribon). Door de oorlog werd het geofysisch onderzoek in dit gebied uiteraard afgebroken. Na de oorlog werd de exploratie hervat tot aan de soevereiniteitsoverdracht.

3. Gravimetrisch onderzoek in Z.O.-Nederland

Tijdens de oorlogsjaren 1941-1944 is door de Geofysische Dienst van de Staatsmijnen een uitvoerig gravimetrisch onderzoek verricht in Zuid-Limburg en in het oostelijk deel van Noord-Brabant. Leider van dit onderzoek was L.U. de Sitter, doel was het zo mogelijk vastleggen van de posities van de grote breuken en ook van kleinere begeleidende breuken in de ondergrond, dit met het oog op de mijnbouw in het steenkolengebied (tevens werd door dit onderzoek een aantal personen beschermd tegen de "Arbeitseinsatz"). De instrumenten die voor het gravimetrisch onderzoek werden gebruikt waren Askania-torsiebalansen en Thyssen-gravimeters, beschikbaar gesteld door de B.P.M. (Bataafsche Petroleum Maatschappij). De waarnemingen werden verricht door de geologen A. Maaskant en G. Zijlstra, met medewerking van W.J. van Riel, J.A.M. Schmedding en F. Winkelaar)op in totaal 3634 torsiebalansstations en 214 Thyssenstations.

Aan het onderzoek in Z.O.-Nederland werd gedurende de oorlogsjaren ook meegewerkt door de Rijkscommissie voor Geodesie. Onder leiding van W. Nieuwenkamp werd van 1942 tot 1944 in Noord-Brabant en Noord-Limburg een tamelijk dicht net van Thyssen-gravimeterstations gelegd. De resultaten van deze metingen werden gecombineerd met het bovengenoemd

onderzoek van de Geofysische Dienst der Staatsmijnen.

Dat voor het gravimetrisch onderzoek zo intensief gebruik werd gemaakt van torsiebalansen heeft de volgende reden. De torsiebalans geeft de horizontale gradiënt van de zwaartekrachtsversnelling, en reageert daardoor sterk op de aanwezigheid van de min of meer verticale breukverschuivingen die veel in de ondergrond van Nederland voorkomen.

Een eenduidige interpretatie van het gradiëntenprofiel is strikt genomen alleen mogelijk in eenvoudige gevallen, als slechts één discontinuïteitsvlak aanwezig is. Omdat in Z.O.-Nederland de breukstructuur ingewikkeld is en bovendien de soortelijke gewichten van de gesteenten in de diepte niet voldoende bekend zijn, was de kwantitatieve analyse van de meetresultaten niet altijd mogelijk, al bleek in veel gevallen het model van één discontinuïteitsvlak toelaatbaar.

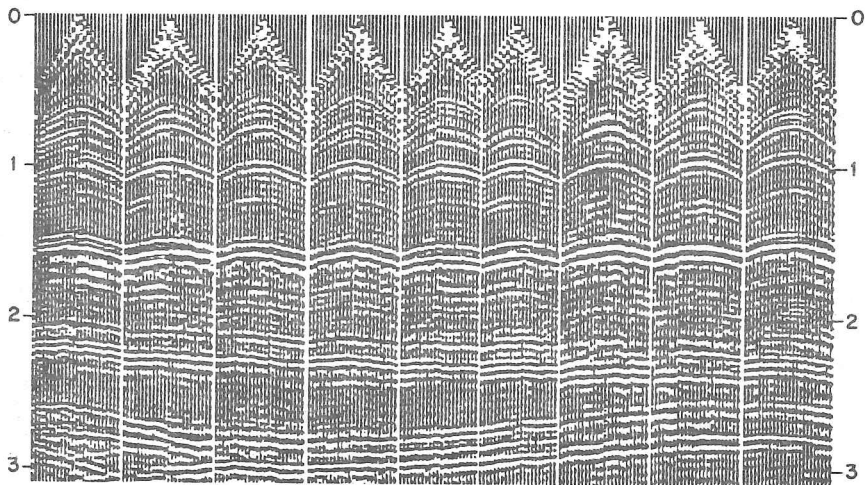
Het eindverslag van het onderzoek verscheen in de serie Mededelingen van de Geologische Stichting (Anonymus, 1949).

4. Exploratie-onderzoek in Nederland na 1945

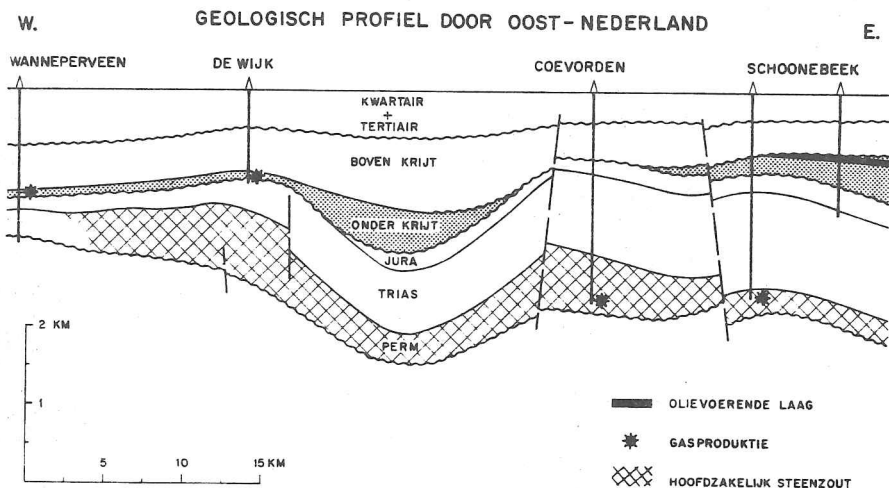
Hoewel ook vóór de oorlog geofysisch onderzoek in de bodem van Nederland werd verricht, nl. zwaartekrachtmetingen door de B.P.M. (zie: zwaartekracht) en geomagnetische metingen door het K.N.M.I. (zie: aardmagnetisme), zijn gedetailleerde kaarten van de anomalieën van deze grootheden later gepubliceerd, nl. van het aardmagnetisme door Veldkamp (1951) en van de zwaartekracht door Van Weelden (1957).

Het seismisch onderzoek van de Nederlandse bodem is pas na de oorlog goed op gang gekomen, gestimuleerd door de olievondsten (in 1944) bij Schoonebeek (Drente). Het systematisch seismisch onderzoek werd in 1947 begonnen door de N.A.M. (Nederlandse Aardolie Maatschappij), zie: W.A. Visser (1953). In West-Nederland had dit onderzoek aanvankelijk weinig succes als gevolg van de aanwezigheid van ongeconsolideerde lagen met geringe seismische snelheid. Nog steeds is West-Nederland daardoor een seismisch moeilijk gebied. Tch heeft dit onderzoek in 1954 en 1955 geleid tot de ontdekking van kleine olie- en gasvelden in Zuid-Holland. Pas na de ontwikkeling van multipele seismometer- en "shot hole"-technieken werden de moeilijkheden overwonnen. In Oost-Nederland gaf de aanwezigheid van steenzout in de bodem complicaties. Het bleek moeilijk gegevens van onder het steenzout te krijgen, door de lage snelheid in het zout, gepaard aan een sterke absorptie van de seismische energie.

Verschillende geofysici van de N.A.M. en van het K.S.E.P.L. (Koninklijke/Shell Exploratie en Productie Laboratorium) hebben een bijdrage aan de onderzoeksmethoden gepubliceerd. De verbetering van de signaal/ruis verhouding door bundeling van seismometers, door een optimale plaatsing van de schietgaten en door filtering van de signalen, werd beschreven door G.H.F. Sniijders (1958). J.Ph. Poley (1964) onderzocht zowel theoretisch als experimenteel de invloed van de kritieke refractiehoek op de amplitudo van de gereflecteerde seismische golven. H. van Deemter en A.W.H. van der Kallen (1978) toonden aan dat een zeer ingewikkelde



Seismische dieptebeplating met behulp van een verplaatsbare rij van seismografen. Duidelijke reflecties op diepten, corresponderend met looptijden van 1,5 en 2 tot 3 seconden. De discontinuïteit bij 1,5 sec is waarschijnlijk de overgang van het Tertiair naar het Krijt. De reflecties bij 3 sec zijn mogelijk toe te schrijven aan de overgang van het Krijt naar het Perm. Seismogrammen van de Nederlandse Aardolie Maatschappij.



Geologisch profiel door Oost-Nederland, gebaseerd op reflectie-seismiek en boringen (Nederlandse Aardolie Maatschappij).

structuur van oliehoudende lagen kan worden opgelost met behulp van drie-dimensionale seismiek. J.K. Huysinga en A.R. Biddle (1978) beschreven een methode om een drie-dimensionaal beeld van de Noordzeebodem te krijgen met behulp van boringen en ondiepe seismiek. Er blijken in de Noordzee over kleine afstanden grote verschillen in vastheid van het sediment voor te komen bijv. omdat in de zeebodem oude gletsjerdalen gevuld met slap sediment aanwezig zijn. Voor een voldoende indringing van het seismische signaal in de bodem, bij een optimaal oplossend vermogen, is een juiste keuze van de frekwentie die de geluidsbron (air-gun) uitstraalt essentieel.

Na de ontdekking van het gasveld Groningen werd de Noordzee in het geofysisch onderzoek opgenomen. Dit begon in 1961 met een door de oliemaatschappijen gemeenschappelijk uitgevoerde aardmagnetische kaartering. Voor het gravimetrisch onderzoek werden in diep water duikerklokken gebruikt. Deze maakten spoedig plaats voor op afstand bediende gravimeters op de zeebodem. Voor regionaal onderzoek werd geëxperimenteerd met gravimeters op oppervlakteschepen (Graf- en Lacoste-gravimeters). Na de verdeling van het Noordzee-plat onder de oeverstaten werd de exploratie grootscheeps aangepakt met seismisch onderzoek en boringen.

Dankzij de ontwikkeling van steeds selectievere mathematische filters en het gebruik van digitale technieken werd het oplossend vermogen van de seismische reflectiemethode tot ongekende hoogte opgevoerd. In gunstige gevallen werd het mogelijk te zien of de onderzochte structuur water, olie of gas bevat, en kon men de vloeistof/gas contacten vaststellen. Door de snelle ontwikkeling van de waarnemingsmethoden en verwerkingstechnieken worden momenteel slechts de resultaten die na 1970 werden verkregen, als volwaardig beschouwd.

De vondst van het aardgasveld in Groningen gaf aanleiding tot het onderzoek van de permeabiliteit van de gashoudende zandsteenformaties door het K.S.E.P.L. (Rijswijk, Zuid-Holland). J.J. Staal en J.D. Robinson (1977) slaagden er in permeabiliteitsprofielen te construeren door middel van metingen van de demping van seismische golven; deze demping is afhankelijk van de permeabiliteit van het gesteente. E.C.A. Gevers en S.W. Watson (1978) maakten gebruik van de akoestische impedantie voor de identificatie van de lithologische eenheden en voor een schatting van de poriënvulling van een reservoirgesteente. G.T.F.R. Maureau en D.H. van Wijhe (1979 en 1980) ontwikkelden eveneens een methode om de ligging en de porositeit van Permische carbonaatafzettingen in Oost-Nederland af te leiden met behulp van de akoestische impedantie van seismische golven.

De resultaten van het seismisch onderzoek en van de boringen door de B.P.M./Shell zijn verwerkt in de tektonische kaarten van Nederland (Heybroek, 1974) en ook gepubliceerd in de Wetenschappelijke Atlas van Nederland (Anonymus, 1963-1977).

5. Hydro-geologisch onderzoek in Nederland

Bij de voorbereiding van de droogmaking van het IJsselmeer bleek het nodig het zoutgehalte van het diepere grondwater in het zandpakket onder het IJsselmeer te onderzoeken. De kennis van dit zoutgehalte was van belang met het oog op de kwel die na de drooglegging in de toekomstige polders zou kunnen optreden, en ook in verband met het winnen van zoet grondwater voor de drinkwatervoorziening. Onder leiding van A. Volker (Dienst der Zuiderzeewerken) werd het zoutgehalte in de IJsselmeerbodem door middel van een geo-electrische methode tot een diepte van 250 à 350 m onderzocht. Nog voordat de nieuwe polders waren leeg gemalen, kon de verdeling van zoet en zout (brak) water in de bodem worden vastgesteld. Dit gebeurde door de specifieke weerstand van de meerbodem volgens de methode van Schlumberger te bepalen door middel van een verplaatsbare kabel, die de contacten voor de in- en uitvoer van de stroom en ook de elektroden voor het meten van de bodemweerstand bevatte. Hoewel de kabel ook contact had met het daarboven gelegen (zoete) IJsselmeerwater, kon Volker aantonen dat de invloed daarvan op de apparente weerstand van de gelaagde meerbodem verwaarloosbaar was. Het onderzoek van het IJsselmeer werd in de jaren 1951 tot 1955 uitgevoerd en in 1957 door Volker en Dijkstra gepubliceerd (J. Dijkstra en A. Volker, 1957). De meetresultaten werden geïnterpreteerd met behulp van weerstandsfuncties, die voor een groot aantal modellen waren berekend volgens de methoden van O. Koefoed (zie paragraaf 6). De diepte van de grens tussen zoet en zout grondwater die uit het de weerstandsmetingen werd berekend, stemde goed overeen met de resultaten van controleboringen. Behalve in het IJsselmeer werd ook geo-electrisch onderzoek uitgevoerd in de Lauwerszee en in de Groninger Wadden.

Het grote succes van de geo-electrische methode bij het onderzoek van de IJsselmeerbodem leidde in 1954 tot de oprichting van de Werkgroep Geo-electrisch Onderzoek van de Centrale Organisatie T.N.O. (Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek). In 1967 werden de activiteiten van deze werkgroep gecombineerd met de geo-hydrologische kaartering van geheel Nederland, die door T.N.O. in opdracht van Rijkswaterstaat was begonnen. Het geologisch, hydrologisch en geofysisch onderzoek werd verenigd in de Dienst Grondwaterverkenning (D.G.W.V.) van T.N.O., met W.A. Visser als eerste directeur. De doelstelling van de D.G.W.V. is niet alleen de studie van het grondwater, maar ook van de aardwarmte, en de inventarisatie van de steenkolen in de Nederlandse bodem, door middel van boorgat-onderzoek. Hierbij wordt onder meer de elektrische weerstand en de natuurlijke elektrische potentiaal van het doorboorde gesteente gemeten, de natuurlijke γ -straling (als lithologisch kenmerk), en ook de geluidsnelheid in het gesteente als maat voor de porositeit (door middel van de "sonic log").

In het kader van de ontwikkelingssamenwerking werd door de D.G.W.V. ook geo-electrisch onderzoek verricht in Pakistan, in Afrika en in Midden-Amerika (o.a. in Soedan, Kenia, Colombia en Jamaica). De bedoeling is het verbeteren van de irrigatie en van de drinkwatervoorziening. Daarbij wordt het geo-electrisch onderzoek gecompleteerd door een gravi-

metrische verkenning en door seismische refractie-metingen (Jaarverslag D.G.W.V., 1980).

Als resultaat van het uitvoerig seismisch onderzoek van de olie-maatschappijen is de ondergrond van Nederland tot 3 à 4 km diepte goed bekend. De aanwezigheid van poreuze zandsteen op grote diepte, waar een vrij hoge temperatuur heerst, maakte het denkbeeld van een geothermische energiewinning aantrekkelijk. In 1974 vormde de Centrale Organisatie T.N.O. een Commissie Aardwarmte die als taak kreeg een rapport op te stellen over de mogelijkheid van de winning van geothermische energie uit de bodem van Nederland. Omdat hierbij zowel de geologie als de hydrologie en de geofysica betrokken zijn, werd de uitvoering van het program toevertrouwd aan verschillende instanties: de Dienst Grondwaterverkenning T.N.O., de Rijks Geologische Dienst en het Vening Meinesz Laboratorium voor Geofysica en Geochemie (Visser, 1978 en 1979). Door W. van Dalftsen (Dienst Grondwaterverkenning) werd een uitvoerig onderzoek door middel van een groot aantal ondiepe boringen ingesteld naar het temperatuurveld in de bodem van Nederland, in verband met het aardwarmte-project (Van Dalftsen, 1980). Als proefobject denkt men aan een boring bij Delfland (N.W. van Rotterdam) waar op 3000 m diepte in de bontzandsteen zout water van circa 100°C aanwezig is. Het hoge zoutgehalte zal een warmtewisselaar noodzakelijk maken. De opslag van overtollige warmte zou in Eocene zandsteen op 750 m diepte kunnen gebeuren. Het warme water zou bijv. kunnen worden gebruikt voor kasverwarming in het Westland.

6. Exploratie-geofysica aan de Technische Hogeschool te Delft

Het geofysisch onderzoek aan de T.H. te Delft ten behoeve van de opsporing van delfstoffen werd het eerst aangepakt door J.A.A. Mekel, die aldaar van 1929 tot 1940 hoogleraar was in de geologie (hij werd in 1942 geëxecuteerd wegens activiteiten tegen de bezettende macht). Mekel was in 1928 gepromoveerd op een proefschrift waarin het gravimetrisch onderzoek werd toegepast op tektonische problemen (Mekel, 1928). Bij praktische toepassingen van de gravimetrie werd door hem vooral gebruik gemaakt van de torsiebalans, als middel voor de bestudering van breukzones.

Na Mekel werd de exploratie-geofysica aan de Technische Hogeschool te Delft verzorgd door O. Koefoed. Hij was van 1951 tot 1958 buitengewoon, en van 1958 tot 1980 gewoon hoogleraar aan de T.H. te Delft. Koefoed heeft zich met zijn leerlingen vooral toegelegd op de ontwikkeling van de geo-electrische en geo-electromagnetische sonderingsmethoden. De artikelen die hij publiceerde, alleen of met medewerkers, en die verschenen in de tijdschriften Geophysical Prospecting en Geoexploration, werden gebundeld in de uitgave "Collected Papers, 1952-1980" (Koefoed, 1980). In 1965 werd hem de Conrad Schlumberger-prijs toegekend door de European Association of Exploration Geophysicists, voor "outstanding contributions to applied geophysics". Onder zijn leiding kwamen 9 dissertaties tot stand.

6a. Electricische sonderingen

De meeste publicaties van Koefoed en medewerkers zijn gewijd aan de geo-electrische sonderingsmethoden. Het oudst is de methode waarbij een gelijkstroom in de grond wordt geleid, terwijl het spanningsverschil tussen twee punten in het aardoppervlak wordt gemeten. Door de afstand van de punten van stroominvoer en -uitvoer te variëren wordt de diepte-afhankelijkheid van het geleidend vermogen in het meetresultaat opgenomen. De apparente (d.i. schijnbare) elektrische weerstand van het lagenpakket wordt vergeleken met weerstandskrommen die voor allerlei modellen van aardlagenstructuur zijn berekend. Aanvankelijk heeft Koefoed gewerkt volgens deze indirecte methode (Koefoed, 1955). Dit werk gaf aanleiding tot de proefschriften van J.C. van Dam (1964) en van F.G. van der Hoeven (1964).

Volgens een door Koefoed en anderen ontwikkelde directe methode wordt de apparente weerstand uitgedrukt in een integraalvergelijking, waarvan de integrand een kernfunctie bevat, bepaald door de gelaagdheid en het geleidend vermogen van de grond. Het probleem is nu de berekening van de kern, en daarmee van het gelaagde geleidend vermogen. Voor de interpretatie van het gemeten apparente geleidend vermogen van de grond wordt de uit de weerstandsmetingen afgeleide kern vergeleken met kernfuncties die zijn berekend voor verschillende modellen. Na de invoering van een semi-directe methode (Koefoed, 1965a) die werd uitgewerkt zowel voor de Schlumberger-opstelling van de elektroden alsook voor de Wenner-methode (Koefoed, 1965b en 1966), vond hij een snelle methode om de gelaagdheid van de grond te onderzoeken, nl. via een transformatie van de kernfunctie (Koefoed, 1969 en 1970).

Een grote verbetering in de methodiek werd bereikt door D.P. Ghosh, die in zijn dissertatie (Ghosh, 1970) de theorie van de lineaire filtering toepaste op het probleem van de weerstandsbepaling van een gelaagde ondergrond (Ghosh, 1971). Deze verbetering berust op het feit dat het spectrum van de kernfunctie in de integraalvergelijking voor de apparente weerstand geen hoge frequenties bevat. De berekening kan daardoor sterk vereenvoudigd worden. Koefoed ontwikkelde daarna een zeer snelle interpretatiemethode voor de weerstandsmetingen, zij het met opoffering van de maximale nauwkeurigheid (Koefoed, 1976a en 1976b).

In zijn boek "The application of the Kernel Function in interpreting geoelectrical resistivity measurements" (Koefoed, 1968) heeft hij uiteengezet hoe men via een praktische procedure de kernfunctie kan afleiden uit de weerstandsmetingen, en hoe de kernfunctie kan worden geïnterpreteerd in een verdeling van weerstandslagen in de ondergrond. Een compleet overzicht van de theorie en de methodiek van de elektrische weerstandsmetingen, en van de methoden om uit de apparente weerstand de laagparameters af te leiden, vindt men in het boek "Geosounding Principles, 1. Resistivity Sounding Measurements" (Koefoed, 1979).

6b. Electromagnetische sonderingen

Bij de electromagnetische sonderingen wordt stroom in de grond ge-

Induceerd door een (meestal verticaal) wisselend magneetveld. De inductievelden worden geregistreerd door sondes. Daarbij kunnen de afstanden van de inductiespoel tot de zendspoel en tot het aardoppervlak, en ook de frequentie van het wisselveld worden gevarieerd. Koefoed en medewerkers hebben eerst hun aandacht gevestigd op de inductie opgewekt door een wisselend magneetveld in een half-oneindige plaat, als model van een gesteentegang, zowel als theoretisch probleem (Koefoed en Kegge, 1968) alsook als object voor modelproeven (Koefoed en Struyk, 1969).

Ook de electromagnetische methode gaf aanleiding tot publicaties en tot enkele proefschriften. Het proefschrift van R.A. Bosschart (1964) behandelt metingen waarbij de bron van het electromagnetische wisselveld hetzij een vaste positie inneemt, hetzij zich verplaatst. De veldstoring wordt bepaald door de structuur van de ondergrond, door de weerstand en de dikte van de lagen en door de veldfrequentie. De metingen worden geïnterpreteerd met behulp van berekende modellen. P.J.M. Thomeer vereenvoudigde de interpretatiemethode door de elektrische eigenschappen van de grond te karakteriseren door een golfgetal (Thomeer, 1970).

Een belangrijke vooruitgang in de methodiek kwam tot stand door de toepassing van de lineaire filter-theorie op een kernfunctie, die ook in de theorie van de electromagnetische sondering voor de dag komt. De kern van een integraalvergelijking voor de veldsterkte bevat de gezochte informatie omtrent de gelaagdheid van de bodem en de specifieke weerstand als functie van de diepte (Koefoed, Ghosh and Polman, 1972; Verma and Koefoed, 1973). In zijn proefschrift geeft R.K. Verma een overzicht van de electromagnetische methoden. Het veld wordt berekend rondom een oscillerende magnetische dipool die op de gelaagde aarde is geplaatst. De kernfunctie wordt onderworpen aan een transformatie door middel van een digitaal lineair filter, wat een grote versnelling betekent in de interpretatie van de metingen (Verma, 1973). Door de filtering kan uit de weerstandsmetingen een transformfunctie worden afgeleid, als eerste stap in de directe interpretatie van de meetgegevens (Das, Ghosh and Biewinga, 1974).

Door de electromagnetische methode te combineren met de elektrische kan de equivalentie van de modellen van het geleidend vermogen opgeheven of althans verkleind worden. Koefoed en medewerkers hebben deze methoden in 1973 en 1974 toegepast bij een onderzoek naar het grondwater in de droge gebieden van Zuid-Tunesië (Koefoed and Biewinga, 1976). Van de hand van D.T. Biewinga verscheen een verslag van deze experimenten (Biewinga, 1977a en 1977b). Dit werk gaf ook aanleiding tot een proefschrift (Biewinga, 1979). De gemeten responsie werd vergeleken met de voor allerlei modellen berekende waarden. Het oplossend vermogen van de electromagnetische sonderingen bleek vrij klein.

6c. Seismisch onderzoek aan de T.H. te Delft

Van de onderzoekingen op het gebied van de seismologie, door Koefoed en medewerkers verricht, kunnen worden genoemd de model-experimenten betreffende weerkaatste en gebroken golven in plexiglas-modellen (Koefoed, van Ewijk en Bakker, 1958). Wat de reflectie-seismiek betreft, heeft Koefoed onder meer de amplitudo's berekend van de gereflecteerde en van de doorgaande trillingen die ontstaan bij de inval van een longitudinale golf tegen een scheidingsvlak tussen twee media met allerlei elastische parameters en dichtheden (Koefoed, 1962). Samen met zijn leerlingen heeft hij ook gewerkt op het gebied van de digitale registratie van seismische golven, en de deconvolutie daarvan (dit is een filtering van de trillingen zodat de storende signalen zo goed mogelijk verdwijnen; tevens wordt de uitwerking van het seismogram sterk versneld). De mogelijkheid het oplossend vermogen van de seismiek te vergroten door filtering van de signalen, werd door N. de Voogd uitgewerkt in zijn dissertatie (de Voogd, 1976). Van zijn hand verschenen nog enkele artikelen over dit probleem (de Voogd, 1974 en 1978). De vergroting van het oplossend vermogen wordt verkregen door deconvolutie van de gereflecteerde signalen door middel van digitale filters. In een toepassing hiervan heeft Koefoed tesamen met de Voogd de seismische respons berekend van een serie dunne koollaagjes (Koefoed and de Voogd, 1980).

6d. Bewerking van zwaartekrachtsgegevens aan de T.H. te Delft

Digitale filtering is ook nuttig voor de analyse van zwaartekrachts-anomalieën. Dit bleek uit een onderzoek van B.A.N.C. Apell, die filters construeerde voor de scheiding van locale en regionale anomalieën (Apell, 1974). De filtering komt neer op aftrekken van het verschuivend gemiddelde. Het probleem van de bewerking van zwaartekrachtsgegevens werd uitvoerig behandeld in een dissertatie (Apell, 1979). Behalve de bovengenoemde werden ook filters beschouwd voor de berekening van de afgeleiden van de zwaartekracht naar de diepte. Deze bewerking komt neer op een transformatie van de anomalieën van het meetvlak naar een lager niveau. Ook langs deze weg kunnen locale en regionale anomalieën worden gescheiden.

7. Exploratie-geofysica aan de Rijksuniversiteit te Leiden

Aan de Rijksuniversiteit te Leiden werd het geofysisch onderwijs en onderzoek verzorgd door J.G. Hagedoorn, die daar van 1958 tot 1977 als buitengewoon hoogleraar werkzaam was. Hij heeft zich vooral bezig gehouden met seismisch onderzoek en met de interpretatie van door explosies opgewekte gereflecteerde en gebroken seismische golven. De belangrijkste resultaten zijn verzameld in het boek "The collected work of J.G. Hagedoorn", uitgegeven door G. Diephuis (1977).

Zijn proefschrift (Hagedoorn, 1954) was gebaseerd op de idee dat seismogrammen van explosies beter kunnen worden geanalyseerd met behulp van de theorie van de golffronten dan met golfstralen (vanwege de grote golflengte van de seismische golven, vergeleken met de afstanden die bij het exploratie-onderzoek in het spel zijn). Deze gedachte werd verder uitgewerkt in enkele artikelen (Hagedoorn, 1955 en 1959), waarin praktische hulpmiddelen worden gepresenteerd voor het afleiden van seismische snelheden uit refractie- en reflectiegegevens. Ook heeft hij nagegaan hoe een seismische golf verandert in een gelaagde ondergrond (Hagedoorn, 1962). Na 1977 werd het geofysische onderwijs en onderzoek uit Leiden overgebracht naar het Instituut voor Aardwetenschappen te Utrecht.

8. Exploratie-geofysica in Utrecht en Amsterdam

Aan de Rijksuniversiteit te Utrecht werd na de oorlog begonnen met het onderwijs in de geofysische exploratie-methoden voor studenten in de geologie/geofysica. Dit gebeurde dank zij de medewerking van B.P.M./Shell, die enkele malen een geofysicus voor het onderwijs beschikbaar stelde. In het kader van deze samenwerking was O. Koefoed in de jaren 1947 tot 1958 door een leeropdracht aan de geologen-opleiding te Utrecht verbonden. Na de benoeming van Koefoed tot hoogleraar aan de T.H. te Delft werd de leeropdracht van 1959 tot 1962 verstrekt aan D.M.W. te Groen, en daarna aan J. Hospers (van 1962 tot 1963). De leeropdracht werd daarop vervangen door een hoogleraarschap, dat van 1965 tot 1976 werd vervuld door J.C. d'Arnaud Gerkens, en van 1977 tot heden door K. Helbig. Behalve op de exploratie-methoden (seismisch, elektrisch, magnetisch, gravimetrisch) werd door de docenten uiteraard veel nadruk gelegd op de moderne methoden voor de bewerking van het waarnemingsmateriaal. Door Helbig werden diverse artikelen op het gebied van het seismisch onderzoek geproduceerd. Hiervan verscheen in de verslagperiode (tot 1980) een artikel over de benadering van transversaal isotrope media door een systeem van dunne laagjes, en over de bepaling van de elastische constanten daarvan (Helbig, 1980).

Aan de Gemeentelijke Universiteit van Amsterdam werden in de jaren vóór 1965 enkele hoofdstukken van de geofysica gedoceerd door J. Westerveld en ook door L.P.G. Koning. Daarna trad J. Hospers op als hoogleraar in de geofysica (van 1965 tot 1975). Als gevolg van de concentratie van de geologie en geofysica in Utrecht werd het onderwijs en onderzoek grotendeels daarheen overgebracht. Voor het bijvak onderwijs in de geofysica bleef echter een docent noodzakelijk. Daarom werd Helbig in 1978 eveneens aan de Gemeentelijke Universiteit te Amsterdam benoemd ten behoeve van het onderwijs in de exploratie-geofysica.

REFERENTIES BIJ HOOFDSTUK V

- Anonymus (1949) - Eindverslag van het geofysische onderzoek in Z.O.-Nederland (in opdracht van de Geofysische Dienst der Staatsmijnen). Mededelingen Geologische Stichting, Serie C-I-3, No. 1.
- Anonymus (1963-1977) - Wetenschappelijke Atlas van Nederland. Staatsdrukkerij en Uitgeversbedrijf, Den Haag.
- Apell, B.A.N.C. (1974) - The quality of some two-dimensional filters in separating regional and local gravity anomalies. Geophys. Prospect. 22, 601-609.
- Apell, B.A.N.C. (1979) - Examination of gravity data filters constructed by the least squares method. Proefschrift, Delft.
- Biewinga, D.T. (1977a) - Electromagnetic depth sounding experiment. Geophys. Prospect. 25, 13-28.
- Biewinga, D.T. (1977b) - A short note about a field test with an electromagnetic frequency sounding instrument. Geoploitation 15, 57-64.
- Biewinga, D.T. (1979) - An experimental study of electromagnetic frequency sounding. Proefschrift, Delft.
- Boschart, R.A. (1964) - Analytical interpretation of fixed source electromagnetic prospecting data. Proefschrift, Delft.
- Dalfsen, W. van (1980) - The shallow subsurface temperature field in the Netherlands. Proc. Second Intern. Seminar on the results of EC Geothermal Energy Research, Strassbourg, 1980. D. Reidel Publ. Comp., Dordrecht.
- Dam, J.C. van (1964) - A simple method for the calculation of standard-graphs to be used in geo-electrical prospecting. Proefschrift, Delft.
- Das, U.C., D.P. Ghosh and D.T. Biewinga (1974) - Transformation of dipole resistivity sounding measurements over layered earth by linear digital filtering. Geophys. Prospect. 22, 476-489.
- Deemter, H. van, and A.W.H. van der Kallen (1978) - Solution of a complex structural problem by 3D-seismic. 53rd Annual SPE of AIME Fall conf. preprint no. SPE-7441.
- Diephuis, G. (ed. 1977) - The collected works of J.G. Hagedoorn.
- Dijkstra, J. en A. Volker (1957) - Geo-elektrisch onderzoek op het IJsselmeer. Rapporten en Mededelingen betreffende de Zuiderzeewerken, No. 6, Dienst der Zuiderzeewerken.
- Gevers, E.C.A. and S.W. Watson (1978) - Quantitative interpretation of seismic data using well logs. 53rd Annual SPE of AIME Fall conf. preprint no. SPE-7439.

- Ghosh, D.P. (1970) - The application of linear filter theory to the direct interpretation of geoelectric resistivity sounding measurements. Proefschrift, Delft. Tevens in Geophys. Prospect. 19, 192-217.
- Ghosh, D.P. (1971) - Inverse filter coefficients for the computation of apparent resistivity standard curves for a horizontally stratified earth. Geophys. Prosp. 19, 769-775.
- Hagedoorn, J.G. (1954) - A process of seismic reflection interpretation. Proefschrift, Utrecht. Ook in Geophys. Prospect. 2, 86-128, 1954.
- Hagedoorn, J.G. (1955) - Templates for fitting smooth velocity functions to seismic refraction and reflection data. Geophys. Prospect. 3, 324-338.
- Hagedoorn, J.G. (1959) - The plus-minus method of interpreting seismic refraction sections. Geophys. Prospect. 7, 158-182.
- Hagedoorn, J.G. (1962) - In pursuit of the errant seismic pulse. Geophys. Prospect. 10, 148-165.
- Helbig, K. (1980) - Modeling transversely isotropic media by thin isotropic layers. Prakla-Seismos GMBH.
- Heybroek, P. (1974) - Tektonische kaart van Nederland. Geol. Mijnbouw 53, 43-50.
- Hoeven, F.G. van der (1964) - Interpretation of geoelectric resistivity curves. Proefschrift, Delft.
- Huysinga, J.K. and A.R. Biddle (1978) - Shallow seismic as an aid to locating offshore installations. SPE (UK) Ltd. Europe Offshore Petrol Conf. Proc. Vol. 2, 425-432.
- Jaarverslag (1980) - Dienst Grondwaterverkenning T.N.O.
- Koefoed, O. (1955) - Resistivity curves for a conducting layer of finite thickness embedded in an otherwise homogeneous and less conducting earth. Geophys. Prospect. 3, 258-267.
- Koefoed, O., J.G. van Ewijk and W.T. Bakker (1958) - Seismic model experiments concerning reflected refractions. Geophys. Prospect. 6, 382-393.
- Koefoed, O. (1962) - Reflection and transmission coefficients for plane longitudinal waves (compressional). Geophys. Prospect. 10, 304-351.
- Koefoed, O. (1965a) - A semi-direct method of interpreting resistivity observations. Geophys. Prospect. 13, 259-282.
- Koefoed, O. (1965b) - Direct method of interpreting resistivity observations. Geophys. Prospect. 13, 568-591.
- Koefoed, O. (1966) - The direct interpretation of resistivity observations made with a Wenner electrode configuration. Geophys. Prospect. 14, 71-79.

- Koefoed, O. and G. Kegge (1968) - The electrical current pattern induced by an oscillating magnetic dipole in a semi-infinite thin plate of infinitesimal resistivity. *Geophys. Prospect.* 16, 144-158.
- Koefoed, O. (1968) - The application of the Kernel function in interpreting geoelectrical resistivity measurements. *Borntraeger, Berlin.*
- Koefoed, O. and A.P. Struyk - The electrical current pattern induced by an oscillating magnetic dipole in a semi-infinite thin plate. *Geophys. Prospect.* 17, 182-195.
- Koefoed, O. (1969) - An analysis of equivalence in resistivity sounding. *Geophys. Prospect.* 17, 327-335.
- Koefoed, O. (1970) - A fast method for determining the layer distribution from the raised kernel function in geoelectrical sounding. *Geophys. Prospect.* 18, 564-570.
- Koefoed, O., D.P. Ghosh and G.J. Polman (1972) - Computation of type curves for electromagnetic depth sounding with a horizontal transmitting coil by means of a digital linear filter. *Geophys. Prospect.* 20, 406-420.
- Koefoed, O. (1976a) - Progress in the direct interpretation of resistivity soundings: an algorithm. *Geophys. Prospect.* 24, 233-240.
- Koefoed, O. (1976b) - An approximate method of resistivity sounding interpretation. *Geophys. Prospect.* 24, 617-632.
- Koefoed, O. and D.T. Biewinga (1976) - The application of electromagnetic frequency sounding to groundwater problems. *Geoexploration* 14, 229-241.
- Koefoed, O. (1979) - *Geosounding Principles 1. Resistivity Sounding Measurements.* Elsevier, Amsterdam.
- Koefoed, O and N. de Voogd (1980) - The linear properties of thin layers, with an application to synthetic seismograms over coal seams. *Geophysics* 45, 1254-1268.
- Koefoed, O. (1980) - *Collected Papers (1952-1980).* University Press, Delft.
- Maureau, G.T.F.R. and D.H. van Wijhe (1979) - The prediction of porosity in the Permian (Zechstein 2) carbonate of eastern Netherlands using seismic data. *Geophysics* 44, 1502-1517.
- Maureau, G.T.F.R. and D.H. van Wijhe (1980) - The use of advanced seismic techniques to study carbonate reservoirs. 10th World Petroleum Congress, Proc. 3, 205-211.
- Mekel, J.A.A. (1928) - *Theorie van het tektonisch-gravimetrisch onderzoek.* Proefschrift, Delft.
- Nieuwenkamp, W. (1937) - *Electrische opsporing van ertsen in Zuid-Limburg.* Handelingen 26ste Natuur- en Geneeskundig Congres, Utrecht, 1937.

- Poley, J.Ph. (1964) - Critical-angle effects in seismic exploration. Geophys. Prospect. 12, 397-421.
- Poley, J.Ph. and J.J. Nootenboom (1966) - Seismic refraction and screening by high-velocity layers. Geophys. Prospect. 14, 184-203.
- Snijders, G.H.F. (1958) - Reflection shooting techniques in the Netherlands. Geophys. Prospecting 6, 167-193.
- Staal, J.J. and J.D. Robinson (1977) - Permeability profiles from acoustic logging. 52nd Annual SPE of Fall Tech. Conf. Preprint no. SPE-6821.
- Thomeer, P.J.M. (1970) - Analysis of electromagnetic prospecting data by means of apparent wave numbers. Proefschrift, Delft.
- Veldkamp, J. (1951) - Geomagnetic anomalies in the Netherlands. Geologie en Mijnbouw, 13, 218-223.
- Verma, R.K. and O. Koefoed (1973) - A note on the linear filter method of computing electromagnetic soundings curves. Geophys. Prospect. 21, 70-76.
- Verma, R.K. (1973) - A feasibility study of electromagnetic depth sounding methods. Proefschrift, Delft.
- Visser, W.A. (1953) - Olie- en gasexploratie in Nederland. De Ingenieur 65, No. 33.
- Visser, W.A. (1978) - Early subsurface temperature measurements in the Netherlands. Geol. Mijnbouw, 57, 1-10.
- Visser, W.A. (1979) - De mogelijkheden van aardwarmte in Nederland. De Ingenieur, 91, 804-810.
- Visser, W.A. and J.J. Hermes (1962) - Geological results of the exploration for oil in Netherlands New Guinea. Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen., Deel XX.
- Voogd, N. de (1974) - Wavelet shaping and noise reduction. Geophys. Prospect. 22, 354-369.
- Voogd, N. de (1976) - An algorithm for digital Wiener filters and its application to seismic wavelets in noise. Proefschrift, Delft.
- Voogd, N. de (1978) - The phase property of a finite realization of random noise and its influence on deconvolution. Geophys. Prospect. 26, 509-524.
- Weelden, A. van (1957) - History of gravity observations in the Netherlands. Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen., 18, 305-309.
- Wijkerslooth de Weerdesteyn, P.J.C. de (1937) - Geophysikalische Untersuchungen nach Erzlagerstätten in Süd-Limburg (Holland). Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie, Band. 22.

